

---

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΑΛΙΚΗ ΑΛΕΞΟΥΛΗ – ΛΕΙΒΑΔΙΤΗ  
ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Ε.Μ.Π.

# ΓΕΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΑΘΗΝΑ 2008

## Περιεχόμενα

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Απόψεις σχετικά με τις μεταβολές του γήινου αναγλύφου από την αρχαιότητα .....	2
1.2. Απόψεις σχετικά με τις μεταβολές του γήινου αναγλύφου και των δυνάμεων που τις προκαλούν.....	3
1.3. Θερμοκρασία της γης και γεωθερμική βαθμίδα.....	6
1.3.1. Υπολογισμός της θερμοκρασίας του εσωτερικού της Γης.....	7
1.3.2. Ροή θερμότητας .....	8
<b>2. ΓΕΩΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ .....</b>	<b>10</b>
<b>3. Η ΟΨΗ ΤΗΣ ΓΗΣ .....</b>	<b>13</b>
3.1. Κατανομή ξηράς και θάλασσας .....	13
3.2. Το γήινο ανάγλυφο .....	13
3.2.1. Ηπειρωτικά τμήματα.....	14
3.2.2. Ωκεάνιες λεκάνες.....	17
3.3. Γενικές αρχές της τεκτονικής των πλακών.....	22
3.3.1. Λιθόσφαιρα και ασθενόσφαιρα.....	22
3.3.2. Όρια των λιθοσφαιρικών πλακών. ....	23
3.4. Στοιχεία και ενδείξεις για τις μετακινήσεις των ηπείρων .....	23
3.4.1. Η τοπογραφία του πυθμένα των ωκεανών. ....	23
3.4.2. Μαγνητισμός στα πετρώματα.....	25
3.4.3. Ο παλαιομαγνητισμός και η διεύρυνση του ωκεάνιου πυθμένα.....	27
3.4.4. Ηλικία του ωκεάνιου πυθμένα .....	28
3.4.5. Μετακίνηση των μαγνητικών πόλων .....	29
3.4.6. Κλιματικά στοιχεία .....	30
<b>4. ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΠΛΑΚΕΣ .....</b>	<b>33</b>
4.1. Κινήσεις και όρια των λιθοσφαιρικών πλακών .....	34
4.2. Διεργασίες στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών.....	36
4.2.1. Απόκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών και τα γεωδυναμικά φαινόμενα που τις συνοδεύουν. ....	37
4.2.2. Ρήγματα μετασχηματισμού και τα γεωδυναμικά φαινόμενα που τα συνοδεύουν.....	38
4.2.3. Σύγκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών και τα γεωδυναμικά φαινόμενα που τις συνοδεύουν .....	39
4.3. Ταχύτητα κίνησης των πλακών.....	45

4.3.1. Φυσιογραφικά χαρακτηριστικά ωκεάνιων τόξων και ενεργών περιθωρίων .....	46
4.3.2. Ορογενές .....	47
4.3.3. Δυνάμεις που προκαλούν την κίνηση των τεκτονικών πλακών. ....	47
4.4. Η σημασία της τεκτονικής των πλακών .....	50
4.5. Ο ρόλος της τεκτονικής των πλακών στον πετρολογικό κύκλο .....	54
4.5.1. Τεκτονική των πλακών και τα ραδιενεργά απόβλητα -Νέες λύσεις .....	54
<b>5. ΜΑΓΜΑ-ΜΑΓΜΑΤΙΣΜΟΣ.....</b>	<b>56</b>
5.1. Ηφαιστεια-Ηφαιστειότητα.....	57
5.1.1. Ηφαιστειακά προϊόντα.....	58
5.1.2. Μορφές ηφαιστειών.....	60
<b>6. ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ.....</b>	<b>64</b>
6.1. Διακλάσεις, ρήγματα και πτυχές.....	64
6.1.1. Διακλάσεις.....	64
6.1.2. Ρήγματα .....	67
6.1.3. Σχιστότητα.....	73
6.1.4. Πτυχές.....	74
6.2. Επιφάνειες ασυνέχειας.....	79
6.2.1. Επιφάνειες ολικής ασυνέχειας.....	80
6.2.2. Επιφάνειες μερικής ασυνέχειας.....	80
<b>7. ΣΕΙΣΜΟΙ .....</b>	<b>81</b>
7.1. Είδη σεισμών.....	85
7.2. Μετρήσεις των σεισμών .....	85
7.3. Προσδιορισμός επικεντρικής απόστασης και εστιακού βάθους .....	87
7.4. Μέγεθος και ένταση των σεισμών .....	88
7.5. Διάδοση των σεισμικών κυμάτων. Οι εσωτερικές ζώνες της Γης .....	92
7.6. Σεισμοσκιά.....	95
7.7. Αποτελέσματα των σεισμών.....	96
7.8. Τσουνάμι (Tsunamis) .....	98
7.9. Πρόγνωση των σεισμών.....	100
<b>8. ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΟΣ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ .....</b>	<b>102</b>
8.1. Κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών στην ελληνική χερσόνησο .....	103
8.2. Γεωτεκτονικές ζώνες ή ενότητες του ελληνικού χώρου .....	105
8.3. Εξωτερικές ζώνες .....	105

8.4. Εσωτερικές ζώνες .....	107
8.5. Η εξέλιξη του Ελληνικού Χώρου στα πλαίσια της θεωρίας των λιθοσφαιρικών πλακών.....	108
8.5.1. Το γεωδυναμικό καθεστώς στον ελληνικό χώρο και την ανατολική μεσόγειο.....	110
8.5.2. Οι μορφοτεκτονικές δομές και ο σχηματισμός του Αιγαίου .....	112
<b>9. ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΙ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ.....</b>	<b>116</b>
9.1. ΟΡΥΚΤΑ.....	116
9.1.1. Πυριτικά ορυκτά .....	118
9.1.2. Αργιλικά ορυκτά .....	119
9.1.3. Θειικά Ορυκτά: .....	121
9.1.4. Ανθρακικά Ορυκτά Στην ομάδα αυτή ανήκουν ο ασβεστίτης, ο αραγωνίτης, ο δολομίτης και ο μαγνησίτης. ....	122
9.1.5. Θειούχα ορυκτά του σιδήρου .....	123
9.2. Πετρώματα .....	123
9.2.1. Εκρηξιγενή ή μαγματικά πετρώματα .....	124
9.2.2. Ιζηματογενή πετρώματα.....	127
9.2.3. Μεταμορφωσιγενή πετρώματα.....	130
9.3. Λιθολογικοί σχηματισμοί.....	132
9.4. Αποθέσεις.....	133
<b>10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>135</b>

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

Η επιφάνεια της Γης παρουσιάζει μια μεγάλη ποικιλία μορφών αναγλύφου και πετρωμάτων. Αυτά δεν δημιουργήθηκαν στιγμιαία αλλά έχουν μια πολύ μακρόχρονη ιστορία που άρχισε από την εποχή που δημιουργήθηκε ο πρώτος στερεός φλοιός. Η μεταβολές οφείλονται στην επίδραση τόσο ενδογενών όσο και εξωγενών δυνάμεων που δρουν συνεχώς στη Γη. Οι ενδογενείς και εξωγενείς δυνάμεις, κατά τη διάρκεια της ιστορίας της Γης, δεν είχαν συνεχώς την ίδια ένταση και διάρκεια και επίσης δεν είχαν την ίδια κατανομή στο χώρο και στο χρόνο. Αυτό που παραμένει σταθερό είναι ότι οι μεταβολές ελέγχονται από φυσικούς νόμους. Οι μεταβολές στην ένταση, στο είδος και στην κατανομή των διεργασιών αποτυπώνονται στα πετρώματα και στη μορφή του αναγλύφου.

Η γεωλογία μελετά την ιστορία της Γης, τον τρόπο γένεσης, την κατασκευή και την εξέλιξή της και γενικά τα διάφορα στάδια που πέρασε, από την εποχή που δημιουργήθηκε ο πρώτος στερεός φλοιός έως σήμερα. Έχει ένα πολύ πλατύ πεδίο έρευνας και όπως είναι φυσικό αποτελείται από πολλούς ειδικούς κλάδους, τα πορίσματα των οποίων συνεκτιμώνται προκειμένου να έχουμε καλύτερη εικόνα και γνώση των διεργασιών που επιτελούνται.

Η Γενική Γεωλογία χωρίζεται:

- α) Σε Δυναμική Γεωλογία που εξετάζει τις ενδογενείς και εξωγενείς δυνάμεις που επέδρασαν στις μεταβολές του στερεού φλοιού και
- β) Σε Τεκτονική Γεωλογία που εξετάζει τις κινήσεις του φλοιού και τις διάφορες παραμορφώσεις των πετρωμάτων, όπως πτυχώσεις και διαρρήξεις, που δημιουργούνται από τη δράση των ενδογενών δυνάμεων.

Οι ενδογενείς και εξωγενείς δυνάμεις δρουν συνεχώς ανταγωνιστικά μεταξύ τους, αλλά προκειμένου να κατανοήσουμε καλύτερα και να ταξινομήσουμε τα αποτελέσματα που επιφέρουν, εξετάζουμε χωριστά τις εξωγενείς δυνάμεις και τις γεωμορφές που δημιουργούν στην **Γεωμορφολογία** και τις ενδογενείς δυνάμεις και τις τεκτονικές παραμορφώσεις στην **Ενδογενή Δυναμική -Τεκτονική Γεωλογία**.

Η **τεκτονική** μελετά τη μορφή, το σχήμα, και την εξέλιξη των γήινων σημαντικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων όπως είναι οι οροσειρές, τα τόξα, τα πλατό και τα νησιά. Ο

όρος **δομή** χρησιμοποιείται για να περιγράψει μικρότερου μεγέθους χαρακτηριστικά γνωρίσματα, όπως είναι οι πτυχές, τα ρήγματα και οι διακλάσεις. Στα επόμενα κεφάλαια θα περιγράψουμε κατ' αρχήν τα μεγάλα τεκτονικά χαρακτηριστικά των ηπείρων και τις μεταβολές τους κατά τη διάρκεια του χρόνου και θα συνεχίσουμε με τα μικρότερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που είναι οι τεκτονικές δομές .

Προκειμένου να μελετήσουμε και να κατανοήσουμε τις διεργασίες που συντελούνται τόσο στο εσωτερικό της Γης από την επίδραση των ενδογενών δυνάμεων, όσο και στην επιφάνειά της από την επίδραση των εξωγενών δυνάμεων, πρέπει να την θεωρούμε και να την εξετάζουμε σαν μέρος του αστρικού μας συστήματος, γιατί μετά από όσα πιο πάνω αναφέραμε, αντιλαμβανόμαστε ότι οι λειτουργίες και οι ισορροπίες, που συμβαίνουν στη Γη, βασίζονται σε λεπτές αλληλεξαρτήσεις μεταξύ πολλών παραγόντων που δρουν και επηρεάζουν τις λειτουργίες που λαβαίνουν χώρα. Πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη τις κινήσεις της Γης και ιδιαίτερα την περιστροφή γύρω από τον άξονά της και τις φυγόκεντρες δυνάμεις που αναπτύσσονται από την περιστροφή, το μαγνητικό πεδίο και το πεδίο βαρύτητας.

## **1.1. Απόψεις σχετικά με τις μεταβολές του γήινου αναγλύφου από την αρχαιότητα**

Οι άνθρωποι από την αρχαιότητα παρατήρησαν ότι στη Γη συνέβαιναν συνεχώς μεταβολές οι οποίες δεν ήταν ορατές από τους ανθρώπους γιατί συντελούνταν σε μεγάλα χρονικά διαστήματα. Διάφορα όστρακα θαλάσσιων οργανισμών βρίσκονται εγκλεισμένα μέσα στα πετρώματα και που τα συναντάμε στις κορυφές των βουνών, μαρτυρούν ότι αυτά σχηματίστηκαν μέσα στη θάλασσα και στη συνέχεια ανυψώθηκαν στη θέση που τα βρίσκουμε με τη δράση τεράστιων δυνάμεων. Για να ερμηνεύσουν αυτές τις παρατηρήσεις τις περιέβαλαν με μύθους ή τις συνέδεαν με διάφορα καταστροφικά φαινόμενα. Μεγάλα ρήγματα δημιούργησαν διόδους διαφυγής των νερών που λίμναζαν. Ο Στράβων (54π.Χ.-25μ.Χ.) αναφέρει ως αίτιο δημιουργίας της κοιλάδας των Τεμπών ένα σεισμό. Πατέρας όμως της γεωλογίας είναι αναμφισβήτητα ο Αριστοτέλης (384-322π.Χ.) ο οποίος εκτός από τη δική του πρωτότυπη συνεισφορά στην επιστήμη, διέσωσε και έδωσε παραπομπές σε γραπτά προηγούμενων φιλοσόφων που ασχολήθηκαν με θέματα σχετικά με τη Γη, τα οποία θα μπορούσαμε να τα κατατάξουμε σε τρεις κατηγορίες: α) Διεργασίες στο υπέδαφος, β) Διεργασίες στην επιφάνεια της Γης και γ) Αποδείξεις γεωλογικών αλλαγών στο παρελθόν. Η σημαντικότερη όμως συνεισφορά του Αριστοτέλη σχετίζεται με το σχήμα της Γης. Απέδειξε

τη σφαιρικότητά της από τη στρογγυλή σκιά που αφήνει στη σελήνη κατά τη διάρκεια των σεληνιακών εκλείψεων.

## 1.2. Απόψεις σχετικά με τις μεταβολές του γήινου αναγλύφου και των δυνάμεων που τις προκαλούν

Έχουν διατυπωθεί πολλές θεωρίες για την ερμηνεία των μεταβολών του γήινου αναγλύφου και για την προέλευση των δυνάμεων που προκαλούν αυτές τις αλλαγές. Πιο κάτω θα αναφερθούμε σε μερικές απ' αυτές.

Τον 18<sup>ο</sup> αιώνα υποστηρίχθηκε από τους Werner και Lehmann η θεωρία του «**Νεπτονισμού**». Οι υποστηρικτές της θεωρούσαν ότι τα πετρώματα της Γης είχαν καθιζήσει χημικά σε μια παγκόσμια θάλασσα και οι ηφαιστειακές εκρήξεις είχαν πολύ μικρή σημασία για την εξέλιξη της Γης.

Τον 17<sup>ο</sup> αιώνα διατυπώθηκε η θεωρία του «**καταστροφισμού**». Οι επιστήμονες θεωρούσαν ότι η Γη είχε δημιουργηθεί πριν λίγες χιλιάδες χρόνια και η επιφάνεια είχε διαμορφωθεί από αιφνίδια επεισόδια με βίαιες καταστροφές και δυνάμεις που διαρκούσαν για πολύ μικρά διαστήματα, «στιγμιαία» μάλλον, παρά «βαθμιαία»

Το 1778 ο James Hutton διατύπωσε τη θεωρία του «**ομοιομορφισμού**» την οποία υποστήριξε και διέδωσε ο Lyell. Κατά τη θεωρία αυτή οι γεωλογικές διεργασίες γίνονται με την ίδια περίπου ένταση στο παρελθόν όπως και στο παρόν. Αυτό αποτελούσε μια υπεραπλούστευση στην ερμηνεία των μεταβολών που γίνονται, γιατί πολλές ενδείξεις και αποδείξεις δείχνουν ότι οι διεργασίες που συμβαίνουν δεν δρουν με τον ίδιο ρυθμό ούτε σήμερα ούτε κατά το παρελθόν. Αυτές οι αποδείξεις είναι ο ρυθμός ιζηματογένεσης, η ηφαιστειακή δραστηριότητα, οι παγετώνες, κλπ.

**Θεωρία της συστολής.** Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή η Γη αποβάλλει συνεχώς θερμότητα και ψύχεται, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο όγκος της και να συρρικνώνεται. Ο στερεός φλοιός για να προσαρμοστεί στη συρρικνούμενη Γη πτυχώνεται, ανυψώνονται οροσειρές, θραύεται και δημιουργούνται ρήγματα. Κατά άλλους ερευνητές η συρρίκνωση του εξωτερικού τμήματος της Γης οφείλεται στη συμπίκνωση των υλικών που βρίσκονται το εσωτερικό της λόγω της βαρύτητας, ενώ άλλοι πάλι θεωρούν ότι είναι συνδυασμός και των δύο. Για να στηρίξουν τη θεωρία αυτή οι υποστηρικτές της παρομοίωσαν τη συρρικνωμένη επιφάνεια της Γης με την αφυδατωμένη επιφάνεια ενός μήλου. Ακριβώς σε αυτή την παρομοίωση στηρίχτηκαν και όσοι αμφισβήτησαν τη θεωρία αυτή, γιατί η συρρικνωμένη

επιφάνεια ενός μήλου παρουσιάζει μια ομοιομορφία, ενώ η επιφάνεια της γης παρουσιάζει έντονες διαφορές, όπως είναι οι οροσειρές και οι διαρρήξεις που εντοπίζονται σε συγκεκριμένες ζώνες και δημιουργήθηκαν σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Σημαντική αντίρρηση στη θεωρία αυτή αποτελεί επίσης και η ύπαρξη ραδιενεργών στοιχείων στο εσωτερικό της Γης, που με τη διάσπασή τους εκλύουν θερμότητα.

Νεώτερες απόψεις τροποποιούν τη θεωρία αυτή και θεωρούν ότι ο πυρήνας και ο κατώτερος μανδύας θερμαίνονται και διαστέλλονται, ενώ ο φλοιός ψύχεται και συρρικνώνεται. Οι απόψεις αυτές εξηγούν τα θλιπτικά φαινόμενα που αναπτύσσονται στις ορογενετικές ζώνες.

**Θεωρία της διαστολής.** Η θεωρία αυτή δέχεται ότι η θερμότητα που παράγεται από τη διάσπαση των ραδιενεργών στοιχείων προκαλεί διαστολή του φλοιού και παραμόρφωση των πετρωμάτων.

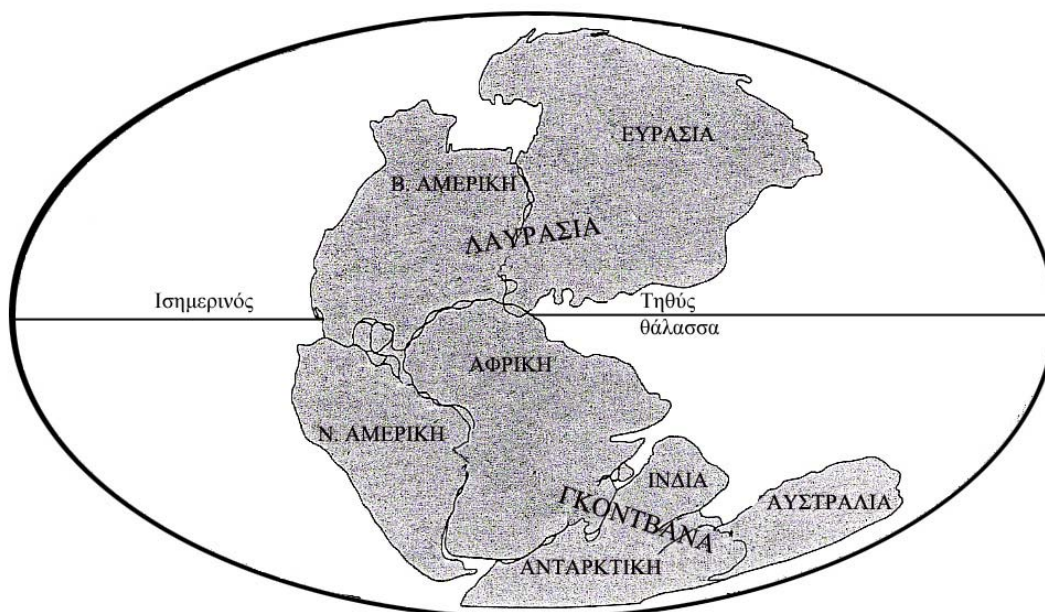
**Θεωρία των θερμικών κύκλων.** Η διάσπαση των ραδιενεργών στοιχείων παράγει θερμότητα που πολλές φορές φθάνει σε θερμοκρασίες που προκαλούν ρευστοποίηση των κατωτέρων τμημάτων του φλοιού. Η ρευστοποίηση προκαλεί αύξηση της ταχύτητας ροής των υπόγειων ρευμάτων εξαιτίας των διαφορών θερμοκρασίας καθώς και ηφαιστειακή δραστηριότητα. Οι διεργασίες αυτές επιφέρουν γρήγορη πτώση της θερμοκρασίας και συρρίκνωση και πτύχωση του εξωτερικού φλοιού. Πολλοί τέτοιοι θερμικοί κύκλοι διαμόρφωσαν το σημερινό ανάγλυφο της Γης.

**Θεωρία των υπόγειων ρευμάτων.** Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή οι ήπειροι, που είναι τα παχύτερα τμήματα του φλοιού, αποτελούνται από γρανιτικά πετρώματα που είναι πλουσιότερα σε ραδιενεργά στοιχεία, ενώ οι ωκεάνιες λεκάνες αποτελούνται από βασαλτικό φλοιό που είναι και λεπτότερος. Στα ηπειρωτικά τμήματα παράγονται αφ' ενός μεγαλύτερα ποσά θερμότητας από τα ραδιενεργά στοιχεία και αφ' ετέρου λόγω του μεγάλου πάχους, εμποδίζεται η αποβολή θερμότητας, σε αντίθεση με τους ωκεανούς. Κάτω από το φλοιό στις ηπείρους εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών το υπέρθερμο μαγματικό υλικό ανέρχεται και κατευθύνεται προς τις σχετικά ψυχρότερες ωκεάνιες περιοχές παράλληλα προς το φλοιό, όπου ψύχεται και βυθίζεται. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται και δημιουργούνται υπόγεια ρεύματα μεταφοράς υλικού και θερμότητας. Εκεί όπου το υλικό ανέρχεται ο φλοιός καμπυλώνεται και σχηματίζεται θόλος και στα ανώτερα τμήματα αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις. Στις ωκεάνιες περιοχές δε που τα υπόγεια ρεύματα κατέρχονται, ο φλοιός συμπιέζεται και πτυχώνεται



Η θεωρία της μετατόπισης των ηπείρων. Πριν τον 18<sup>ο</sup> αιώνα οι γεωλογική έρευνα περιοριζόταν σε περιγραφές και παρατηρήσεις πετρωμάτων σε διάφορες θέσεις χωρίς καμιά προσπάθεια συσχετισμού των παρατηρήσεων. Στα τέλη του 18<sup>ου</sup> αιώνα ο Smith, άγγλος επόπτης τεχνικών έργων, παρατήρησε ότι κάθε στρωματογραφικό επίπεδο περιείχε συγκεκριμένα απολιθώματα με ευδιάκριτη αλληλουχία. Οι στρωματογραφικές παρατηρήσεις με τη διαδοχή των απολιθωμάτων απέδειξαν τη διαδοχική εξέλιξη των στρωμάτων.

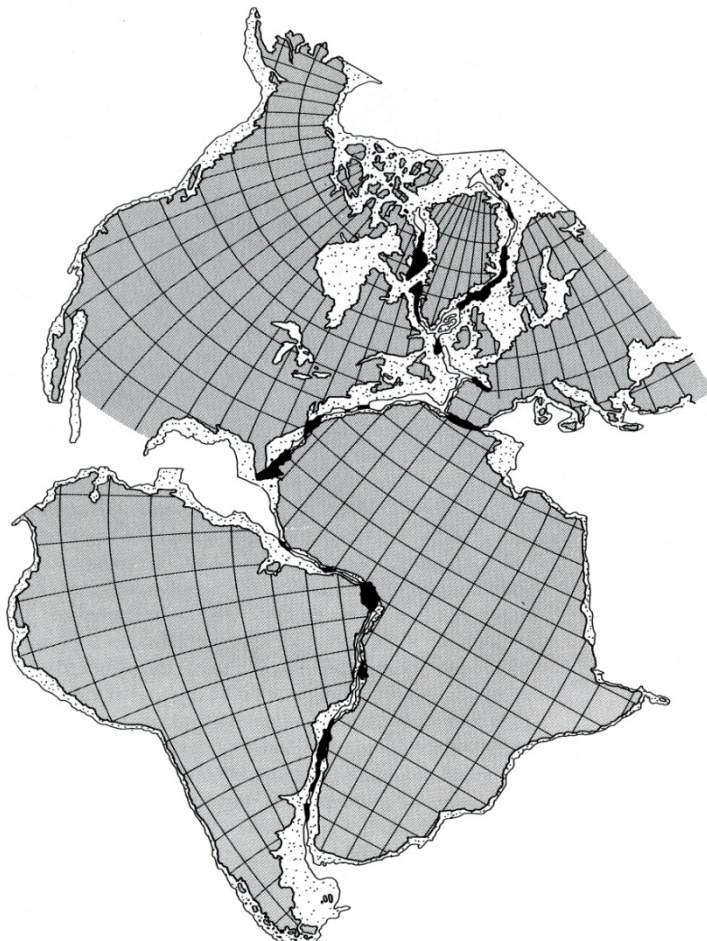
Στη συνέχεια ήρθε η χρήση και η κατασκευή γεωλογικών χαρτών και τομών που έδωσαν ώθηση στις γεωλογικές έρευνες. Οι χάρτες απεικόνισαν ένα περίεργο ταίριασμα των ακτών της Νότιας Αμερικής με την Αφρική. Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα (1915) ο Wegener, ένας Γερμανός μετεωρολόγος, εντυπωσιάστηκε από αυτή την ομοιότητα των ακτών και διατύπωσε τη θεωρία του, ότι οι σημερινές ήπειροι ήταν κάποτε ενωμένες και αποτελούσαν μια μεγάλη ήπειρο την Παγγαία. (Σχ 1, 2).



Σχ. 1. Η Παγγαία κατά τον Wegener όπως ήταν πριν 200-250 εκατ. Χρόνια.

Η Παγγαία, σύμφωνα με τον Wegener, κατά τη διάρκεια του Μεσοζωικού άρχισε να κόβεται και οι ήπειροι άρχισαν να μετακινούνται στις σημερινές τους θέσεις. Είχε επίσης αποδείξεις και για τη μετακίνηση των πόλων περιστροφής της Γης, Σήμερα δεχόμαστε ότι συμβαίνουν και τα δύο, δηλ. και μετακίνηση των ηπείρων και σχετική μετακίνηση του φλοιού ως προς τους πόλους. Η μετακίνηση γίνεται με την επίδραση της φυγοπόλου δύναμης, όσο και της παλιρροϊκής τριβής. Κατά τη θεωρία αυτή οι ήπειροι αποτελούνται από σιαλικό υλικό, που είναι σχετικά ελαφρύ και επιπλέουν πάνω στο βαρύτερο και πυκνόρρευστο Sima, όπως τα παγόβουνα στο νερό της θάλασσας. Η μετακίνηση των ηπείρων αποδείχτηκε ότι

είναι γεγονός, αλλά δεν μετακινούνται σαν παγόβουνα στο νερό όπως πίστευε ο Wegener, αλλά μαζί με το υπόβαθρό τους, όπως δέχεται η θεωρία των τεκτονικών πλακών την οποία δεχόμαστε σήμερα και θα αναπτύξουμε εκτενέστερα σε άλλο κεφάλαιο πιο κάτω.



Σχ. 2. Η γεωμετρική ανασύσταση της Παγγαίας όπως προκύπτει από τη συνένωση των ηπείρων σε βάθος 1000 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και κλείσιμο του Ατλαντικού (κατά Bullard et al., 1965).

### 1.3. Θερμοκρασία της γης και γεωθερμική βαθμίδα.

Η ύπαρξη των ηφαισטיών αποδεικνύει ότι στο εσωτερικό της Γης επικρατούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Το ίδιο προκύπτει και από τις θερμές πηγές, από τις οποίες αναβλύζει νερό που προέρχεται από στρώματα της Γης που βρίσκονται σε μεγάλο βάθος. Η θερμοκρασία του εσωτερικού της Γης καλείται **γηγενής θερμοκρασία**.

Μέχρι του βάθους των 20-25m η θερμοκρασία υπόκειται στις μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά πέρα από το βάθος αυτό αυξάνει, καθώς κατεβαίνουμε στο εσωτερικό της

γήινης σφαίρας. Αυτό έχει διαπιστωθεί από τα μεταλλευτικά φρέατα, τις σήραγγες και τις βαθιές γεωτρήσεις.

Από τις διάφορες μετρήσεις βρέθηκε, ότι κατά μέσο όρο η θερμοκρασία αυξάνει κάτω από το βάθος των 20-25m κατά  $1^{\circ}\text{C}$  ανά 33 m. Αυτός ο μέσος όρος καλείται **γεωθερμική βαθμίδα**. Η τιμή αυτή βέβαια, είναι δυνατό να μεταβάλλεται από τόπο σε τόπο λόγω διάφορων αιτίων. Π.χ. διαδραματίζει ρόλο η φύση, η διάταξη ή και η σχιστότητα των πετρωμάτων. Επίσης οι χημικές αντιδράσεις στα πετρώματα, όπως η οξειδωση ή η παρουσία ραδιενεργών στοιχείων ελαττώνουν την τιμή της γεωθερμικής βαθμίδας. Στις περιοχές των ηφαιστειών η αύξηση κατά  $1^{\circ}\text{C}$  παράγεται ανά 10-15m. Το ίδιο παρατηρείται και σε πετρελαιοφόρες περιοχές, όπου η γεωθερμική βαθμίδα είναι πάντοτε κατώτερη των 20m. Αντίστροφα η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη σε γρανιτικές μάζες και σε μεταμορφωσιγενείς περιοχές, όπου φθάνει τα 60 έως 80m. Το μέγιστο έχει παρατηρηθεί στα χρυσοφόρα προκάμβρια κροκαλοπαγή του Τράνσβααλ (Ν. Αφρικής) με τιμή γεωθερμικής βαθμίδας 120m.

Έρευνες μέσα στις σήραγγες έδειξαν επίσης, ότι οι επιφάνειες των ίσων θερμοκρασιών δεν είναι παράλληλες προς το γήινο ελλειψοειδές, αλλά ακολουθούν χονδροειδώς το σχήμα των ανωμαλιών του εδάφους. Εάν ενώσουμε όλα τα σημεία ίσης θερμοκρασίας θα έχουμε τις λεγόμενες **γεωισόθερμες επιφάνειες**, του φλοιού της Γης. Με αυτές μπορούμε να υπολογίσουμε κατά προσέγγιση τη θερμοκρασία μιας σήραγγας πριν κατασκευασθεί, έχοντας υπόψη το βάθος που θα περάσει και τα πετρώματα που θα διατρήσει. Κατά την διάνοιξη της σήραγγας του Simplon, παρουσιάστηκε στο 8° km θερμοκρασία  $55^{\circ}\text{C}$  αντί των  $42^{\circ}\text{C}$  που είχε προβλεφθεί. Η ανωμαλία αυτή αποδόθηκε στις σημαντικές φλέβες θερμών υδάτων και στην ραδιενέργεια των διατρηθέντων πετρωμάτων.

### 1.3.1. Υπολογισμός της θερμοκρασίας του εσωτερικού της Γης.

Ο πυρήνας μερικών ισοτόπων είναι ασταθής. Μεταβολές στον πυρήνα των ατόμων αυτών παράγουν ραδιενέργεια και δίνουν σταθερά στοιχεία. Η γνώση της συμπεριφοράς των ισοτόπων αυτών έχει δύο σπουδαίες εφαρμογές. α) Ο υπολογισμός του χρόνου ημιζωής είναι πολύ χρήσιμη μέθοδος για την απόλυτη χρονολόγηση αρχαίων υλικών, οργανικών ή ανόργανων, β) Οι διεργασίες αυτές παράγουν θερμότητα που προσδιορίζεται από τον υπολογισμό του ποσοστού των στοιχείων μετάπτωσης ως προς τα αρχικά και μελετώνται οι πηγές που παράγουν την εσωτερική θερμότητα της Γης, οι δυναμικές διεργασίες, και τα αποτελέσματά τους. Η μετάπτωση των ραδιενεργών στοιχείων κάτω από το φλοιό είναι μόνιμες πηγές, θερμότητας του μανδύα. Η θερμότητα αυτή στη συνέχεια έρχεται προς την

επιφάνεια. Τα τυπικά πετρώματα του μανδύα περιέχουν ραδιενεργά στοιχεία που ανεβάζουν τη θερμότητα των πετρωμάτων 20° C σε 100 εκατ. χρόνια.

Κατά τη διάρκεια της γήινης ιστορίας η συγκέντρωση αυτών των ραδιενεργών στοιχείων ελαττωνόταν σταθερά. Οι συνεχείς μεταπτώσεις των ραδιενεργών πυρήνων μείωναν τα αποθέματα σε ραδιενεργά άτομα. Τέσσερα δισεκατομμύρια χρόνια πριν, όταν σχηματίστηκαν τα αρχαιότερα πετρώματα με τη ραδιενεργό μετάπτωση, παραγόταν 3 ½ φορές περισσότερη θερμότητα απ' ό τι σήμερα. Αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας ανέβασε τη θερμοκρασία των πετρωμάτων σε 1.200° C, δηλαδή κοντά στο σημείο τήξης, τουλάχιστον για 1 δισεκ. Χρόνια. Έτσι είναι δύσκολο να απαριθμήσουμε τα πολυάριθμα γεωλογικά περιστατικά τήξης και ηφαιστειότητας. Στην πραγματικότητα πολλά νέα υλικά προστέθηκαν στο φλοιό ως εκρηξιγενή πετρώματα, καθώς το μάγμα ανέβαινε από τον ανώτερο μανδύα.

Ο πυρήνας μερικών ισοτόπων είναι ασταθής. Μεταβολές στον πυρήνα των ατόμων αυτών παράγουν ραδιενέργεια και δίνουν σταθερά στοιχεία. Η γνώση της συμπεριφοράς των ισοτόπων αυτών έχει δύο σπουδαίες εφαρμογές. Την απόλυτη χρονολόγηση αρχαίων υλικών, οργανικών ή ανόργανων α) με τον υπολογισμό του χρόνου ημιζωής, που είναι μια πολύ χρήσιμη μέθοδος και β) οι διεργασίες αυτές παράγουν θερμότητα που προσδιορίζεται από τον υπολογισμό του ποσοστού των στοιχείων μετάπτωσης ως προς τα αρχικά. Ο ρυθμός μετάπτωσης των ραδιενεργών στοιχείων είναι σταθερός και γνωστός από ακριβείς εργαστηριακές μετρήσεις καθαρών δειγμάτων

### 1.3.2. Ροή θερμότητας

Τι συμβαίνει όμως με τη γήινη θερμότητα; Αν δεν άλλαζε τίποτα στη Γη, τότε τα πετρώματα θα συνέχιζαν να θερμαίνονται. Αν όμως, όπως συμβαίνει στην πραγματικότητα, η εσωτερική θερμότητα ρέει προς την επιφάνεια και απ' εκεί χάνεται στο διάστημα, η κατανομή θερμότητας μέσα στη Γη φθάνει σε ισορροπία. Μετρήσεις της ροής θερμότητας στην επιφάνεια έχουν γίνει σε πολλές θέσεις αλλά υπολείπονται ακόμη πολλές. Υπάρχει έλλειψη στοιχείων για ηπειρωτικές περιοχές της Αφρικής, της Ασίας και της Νοτίου Αμερικής. Οι μετρήσεις, που καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος του συνόλου της Γης, απέδειξαν ότι δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές ανάμεσα στη ροή θερμότητας στους ωκεανούς και στις ηπείρους.

Από τη φυσική ξέρουμε ότι η θερμότητα ρέει από το θερμότερο προς το ψυχρότερο μέσο. Αυτό σημαίνει ότι η γηγενής θερμότητα ρέει από το εσωτερικό της γης προς την επιφάνεια. Η θερμοκρασία κατεβαίνει σταθερά όσο πλησιάζουμε προς την επιφάνεια. Αντίστροφα αυξάνει σταθερά περίπου 20° C/km προς το εσωτερικό. Αυτό το παρατηρούμε σε βαθιά ορυχεία, όπου η θερμοκρασία φθάνει κοντά στο σημείο βρασμού του νερού.

Στην πράξη τα εξωτερικά 75 Km της γης είναι ένα μονωτικό στρώμα που εξισορροπεί τις απότομες διαφορές θερμοκρασίας ανάμεσα στο μανδύα και την επιφάνεια. Στη λιθόσφαιρα η θερμοκρασία είναι κάτω από 1.000° C και η θερμότητα μεταδίδεται με επαφή. Μια απότομη αύξηση της θερμοκρασίας κοντά στο σημείο τήξης γίνεται σε βάθος περίπου 75 Km. Στο βάθος των 75-175km τα πετρώματα έχουν συμπεριφορά ρευστού, μειωμένη μηχανική αντοχή και ρέουν εύκολα, όπως η δύσκαμπτη μολάσα. Η περιοχή αυτή είναι η ασθενόσφαιρα.

Η λιθόσφαιρα αποτελείται από ένα αριθμό πλακών που φαίνονται να μετακινούνται πάνω σε ένα λίγο-πολύ άκαμπτο κέλυφος, την ασθενόσφαιρα. Κάτω από εκεί μέχρι 175Km η θερμοκρασία φαίνεται να ανεβαίνει, αλλά είναι κάτω από το σημείο τήξης, γιατί το σημείο τήξης αυξάνει γρήγορα καθώς αυξάνει η πίεση. Στην περιοχή αυτή η θερμότητα μεταδίδεται σαν υπέρυθρη και ραδιενεργός ακτινοβολία.

Η θερμοκρασία στο κέντρο της γης, στον στερεό πυρήνα, υπολογίζεται ότι φθάνει τους 6.000° C.

## 2. ΓΕΩΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

Η ηλικία της Γης είναι περίπου 4,6 δισεκατομμύρια χρόνια, αλλά τα παλιότερα πετρώματα έχουν ηλικία περίπου 3,96 δισεκατομμύρια χρόνια. Για τη χρονολόγηση των πετρωμάτων, των διαφόρων σχηματισμών και των γεωλογικών γεγονότων οι γεωλόγοι έχουν δημιουργήσει μια **γεωχρονολογική κλίμακα** που υποδιαιρείται σε **αιώνες, περιόδους και εποχές**. Κάθε υποδιαίρεση έχει μια ορισμένη χρονική διάρκεια και αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα της γεωλογικής ιστορίας. Η ονομασία των διαφόρων περιόδων δίνεται από το όνομα της περιοχής, στην οποία πρωτομελετήθηκαν οι σχηματισμοί. Π.χ. Ιουρασική περίοδος πήρε το όνομα από την οροσειρά Jura, που βρίσκεται στα σύνορα Γαλλίας-Ελβετίας.

Η γεωχρονολογική κλίμακα βασίζεται σε μεθόδους απόλυτης χρονολόγησης όπως είναι η ραδιομετρική χρονολόγηση ή ραδιοχρονολόγηση, που προσδιορίζει την απόλυτη ηλικία κάθε διάπλασης. Για τη χρονολόγηση των εκρηξιγενών πετρωμάτων ηλικίας μεγαλύτερης των 10 εκατ. χρόνων λαμβάνονται κρύσταλλοι βιοτίτη ή ζirkονίου τα οποία περιέχουν ουράνιο-238 το οποίο μεταπίπτει σε μόλυβδο-207 και -206 αντίστοιχα, ενώ για νεότερα πετρώματα χρησιμοποιείται η σειρά  $^{40}\text{K}$ :  $^{40}\text{Ar}$ .

Για τον προσδιορισμό της ηλικίας των διαφόρων διαπλάσεων εκτός της μεθόδου της ραδιοχρονολόγησης χρησιμοποιούνται και άλλες μέθοδοι όπως μέθοδος ισοτόπων οξυγόνου  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  σε αναλογία 1/500, άνθρακα-14 ( $^{14}\text{C}$ ), κλπ.

Τα γεωλογικά στρώματα εγκλείουν πολλές φορές απολιθώματα, πολλά από τα οποία είναι χαρακτηριστικά, δηλαδή οι οργανισμοί αυτοί είχαν ζήσει σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, που αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη βαθμίδα της γεωλογικής κλίμακας. Με βάση λοιπόν την ύπαρξη χαρακτηριστικών απολιθωμάτων, οι γεωλόγοι μπορούν να προσδιορίσουν την ηλικία τους. Τέλος χρησιμοποιείται η σχετική χρονολόγηση των στρωμάτων.

Για τα αρχαιότερα πετρώματα της Γης ηλικίας από 3,96-3,8 δισεκ. χρόνια πριν από σήμερα, δεν υπάρχει γεωλογική μαρτυρία. Το χρονικό αυτό διάστημα ονομάστηκε μεγααιώνας Hadean. Η πρώτη μαρτυρία για ζωή χρονολογήθηκε σε 3,77 δισεκ χρόνια. Από την εποχή αυτή έως τα 600 εκ. χρόνια διαπιστώθηκαν πρωτόγονοι οργανισμοί και οι αιώνες αυτοί ονομάστηκαν Αρχαϊκός και Προτεροζωικός στους οποίους έχει διαπιστωθεί ύπαρξη ζωής. Οι τρεις αυτοί Μεγααιώνες χαρακτηρίζονται και ως Προκάμβριο, που περιλαμβάνει το χρονικό διάστημα το παλιότερο των 570 εκατομμυρίων χρόνων και ακολουθεί ο Φανεροζωικός αιώνας. Μικρότερες χρονικές υποδιαιρέσεις αποτελούν οι **Αιώνες**, οι **Περίοδοι** και οι **Εποχές**. Η διάρκεια των χρονικών υποδιαιρέσεων διαφέρει σημαντικά μεταξύ τους. Παραθέτουμε στον επόμενο πίνακα μια συνοπτική γεωλογική κλίμακα.

ΚΛΙΜΑΚΑ ΤΟΥ ΓΕΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ						
Αιώνες	Περίοδοι	Εποχές	Διάρκεια Εκατομ. χρόνια.	Ηλικία Εκατομ. χρόνια.	Κυριότερα γεγονότα	
ΚΑΙΝΟΖΩΙΚΟΣ		Ολόκαινο	(10,000 yr)		Homo sapiens	
	Τεταρτογενές	Πλειστόκαινο	2	2	Homo neanderthalensis Homo erectus Αυστραλοπίθηκοι	
			3		Κρίση αλμυρότητας	
	Νεογενές	Μειόκαινο	19	5	Hipparion Σχηματισμός Ερυθράς θάλασσας	
				24	Νεοαλπικές πτυχώσεις Καταβύθιση Ινδικής κάτω της Ασιατικής	
ΜΕΣΟΖΩΙΚΟΣ	Παλαιογενές	Ολιγόκαινο	13	37	Ανθρωποειδή	
		Ηώκαινο	21		Διαχωρισμός Αυστραλίας - Ανταρκτικής	
		Παλαιόκαινο	8	58	Μεσοαλπικές πτυχώσεις Ανάπτυξη θυλαστικών	
	Κρητιδικό	Ανωτ. Κρητιδικό			66	Τέλος Δεινοσύρων
		Κατ. Κρητιδικό	78			Άνθη-φυτά Παλαιοαλπικές πτυχώσεις
	Ιουρασικό		64	144	Σχηματισμός Νότιου Ατλαντικού Πτηνά	
	Τριαδικό		37	208 245	Θηλαστικά Δεινόσαυροι Τέλος της Παγγαίας	
ΠΑΛΑΙΟΖΩΙΚΟΣ	Πέρμιο		41		Κωνοφόρα	
	Λιθανθρακοφόρο	Πενσυλβάνιο	34	286	Ερκύνιες πτυχώσεις	
		Μισσισίπιο	40	320	Ερπετά Έντομα	
	Δεβόνιο		48	360	Τελεόστειοι ιχθύες, αμφίβια	
	Σιλούριο		30	408	Καληδόνιες Πτυχώσεις	
					438	Χερσαία φυτά
	Ορδοβίσιο		67	505	Πλακόδερμοι ιχθύες	
Κάμβριο		65	570	Κωνόδοντα-οστρακοφόρα		
ΠΡΟΚΑΜΒΡΙΑ ΕΠΟΧΗ	Ανώτερο Προκάμβριο		0.3-0.4			
	Μέσο Προκάμβριο		0.6-0.8	0.9-1.0		
			0.7-0.9	1.6-1.7		
	Κατώτερο Προκάμβριο		0.9-1.0	2.4-2.5	Πρώτα ιζηματογενή πετρώματα	
Τα παλιότερα χρονολογημένα πετρώματα				3.6-3.8		
Δημιουργία της Γης				4.6-4.7		
Ηλικία του σύμπαντος				17-18		



## 3. Η ΟΨΗ ΤΗΣ ΓΗΣ

---

### 3.1. Κατανομή ξηράς και θάλασσας

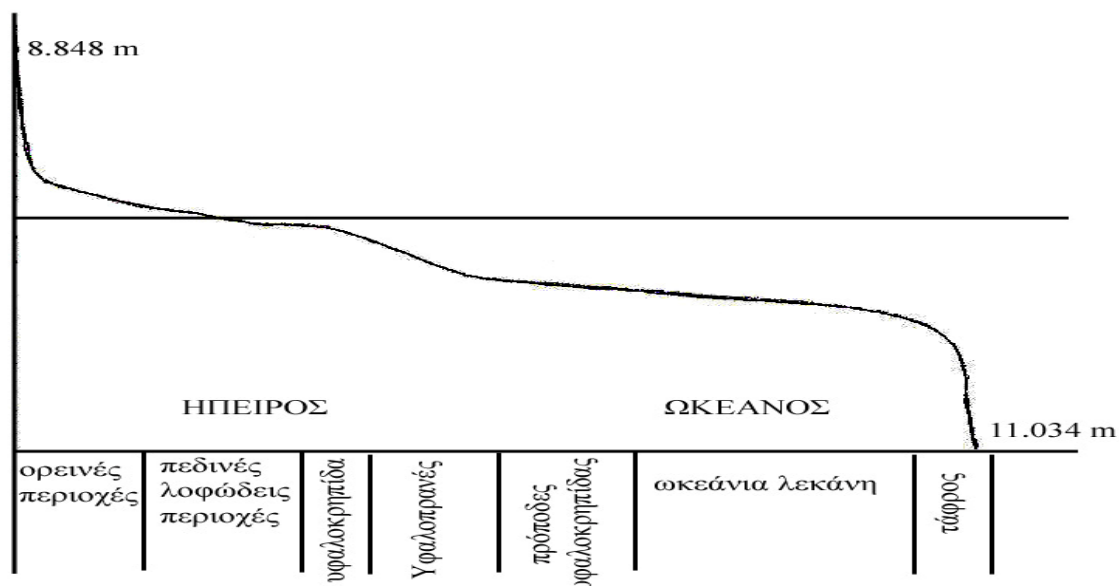
Το ανάγλυφο της επιφάνειας της Γη είναι ποικίλο. Υψηλά όρη, πεδιάδες, λίμνες και ωκεανοί συνθέτουν της μορφές του αναγλύφου. Παρατηρούμε ότι οι ωκεανοί και οι ήπειροι δεν είναι ομοιογενώς κατανεμημένοι στη Γη και επίσης η έκτασης που καταλαμβάνουν οι ωκεανοί είναι πολύ μεγαλύτερη απ' αυτή των ηπείρων. Από στατιστικά στοιχεία που σχετίζονται με την κατανομή ξηράς και θάλασσας, προέκυψε ότι η ξηρά έχει έκταση περίπου  $150 \cdot 10^6 \text{ km}^2$  και η θάλασσα  $360 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ , δηλαδή σε αναλογία 30/70. Παρατηρούμε επίσης ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της ξηράς βρίσκεται στο βόρειο ημισφαίριο και γι αυτό χαρακτηρίζεται ημισφαίριο ξηράς (σε αναλογία 1/2), ενώ στο νότιο επικρατεί η θάλασσα (αναλογία ξηράς/θάλασσας=1/4) και χαρακτηρίζεται ημισφαίριο θάλασσας. Η στεριά είναι διασπαρμένη σε έξι μεγάλα τμήματα διαφόρου μεγέθους **τις ηπείρους**, που διαχωρίζονται από τους ωκεανούς ή μικρότερες θάλασσες, καθώς και από κλειστές θάλασσες, όπως είναι η Μεσόγειος που χωρίζει την Ευρώπη από την Αφρική και την Ασία. Απ' όσα είπαμε μπορούμε να διακρίνουμε δυο κύριες γεωμορφές, **τις ηπειρωτικές μάζες και τους υποθαλάσσιους χώρους**. Οι ξηρά διαχωρίζεται από τη θάλασσα από μια γραμμή που αποτελεί την ακτογραμμή.

### 3.2. Το γήινο ανάγλυφο

Η ανάγλυφη επιφάνεια της Γης χαρακτηρίζεται από μεγάλες υψομετρικές διαφορές τόσο θετικές (πάνω από τη στάθμη της θάλασσας), που παρατηρούνται στις ηπείρους, όσο και αρνητικές κάτω από τη στάθμη της θάλασσας), που χαρακτηρίζουν τους θαλάσσιους πυθμένες. Η κατακόρυφη ταξινόμηση της επιφάνειας της Γης αποδίδεται από την

**υπογραφική καμπύλη** (Σχ 3). Το θετικό άκρο της καμπύλης αντιστοιχεί στο ύψος της κορυφής των Ιμαλαΐων (8.848m) και το αρνητικό στο μεγαλύτερο βάθος των ωκεανών (στον Ειρηνικό ωκεανό στις Μαριάνες νήσους, 11.034m).

Το μέσο υψόμετρο των ηπείρων είναι 840m πάνω από τη στάθμη της θάλασσας και το μέσο βάθος των ωκεανών 3800m. Κάθε ήπειρος έχει διαφορετικό μέσο υψόμετρο, όπως η Ευρώπη 300m., Ασία 1000 m. και Βόρειος Αμερική 800 m.



Σχ.3. Σχηματική τομή του τοπογραφικού αναγλύφου της Γης.

### 3.2.1. Ηπειρωτικά τμήματα

Στις ηπείρους παρατηρούνται περιοχές με μικρό υψόμετρο και άλλες με μεγάλες οροσειρές. Η κατανομή των οροσειρών δεν είναι τυχαία, αλλά συγκροτούν ζώνες με γεωγραφική και ηλικιακή σχέση ως εξής:

I) Τις νεότερες οροσειρές που αποτελούν δύο ζώνες:

- α) τη ζώνη του περι-ειρηνικού δακτυλίου, που περιλαμβάνει αυτές της Δ. Αμερικής, τα ηφαιστειακά τόξα των Αλεούτιων νησιών, της Ιαπωνίας, των Φιλιππίνων και της Νέας Γουινέας.
- β) τη ζώνη των οροσειρών των Άλπεων, των Δειναρίδων, των Ταυρίδων, των Ιμαλαΐων και της Ινδονησίας.

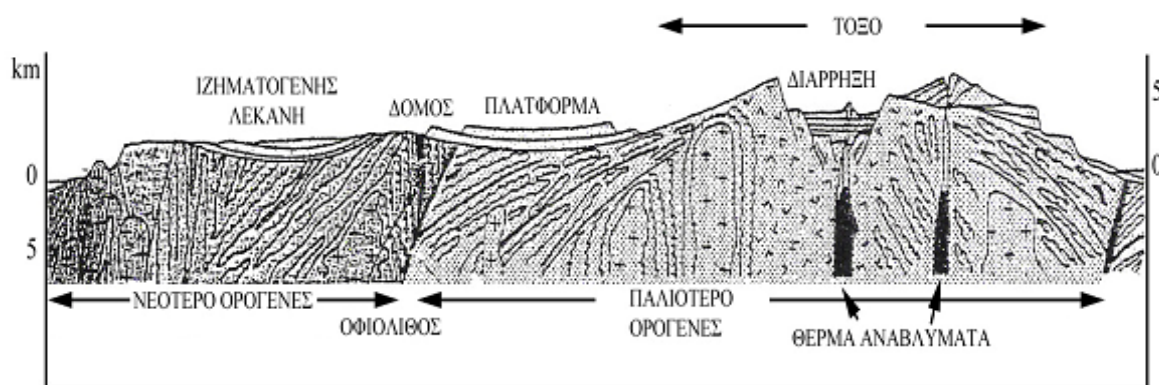
II) Τις παλιές οροσειρές, όπως αυτές των Απαλαχίων και των Ουραλίων και τις λοφοσειρές της Κεντρικής Ευρώπης (των οποίων η ηλικία είναι της τάξης των 400-300 εκατομμυρίων ετών).



Σχ 4. Στο σχήμα διακρίνονται με σκούρο χρώμα τα αρχαιότερα τμήματα των ηπείρων Προκάμβριας ηλικίας και με τις γραμμώσεις οι διευθύνσεις των νεότερων οροσειρών. (W. Ernst, 2000)

Στο εσωτερικό των ηπείρων εκτείνονται σχεδόν επίπεδες περιοχές, όπως η Ρωσική πεδιάδα. Οι περιοχές αυτές είναι τα παλιότερα τμήματα της Γης, που τα πετρώματά τους είναι ηλικίας 4 δισεκατομμυρίων ετών. Οι ήπειροι έχουν έναν σταθερό ηπειρωτικό πυρήνα, που αποτελείται εξολοκλήρου ή εν μέρει από προκάμβρια πετρώματα του φλοιού, με σύνθετες δομές. Τέτοια τμήματα του ηπειρωτικού φλοιού καλούνται «κρατόν». Στα κρατόν εμφανίζονται δύο κύριοι τύποι επιφανειών (Σχ. 5):

- (I) Οι **ασπίδες**, που είναι οι σταθεροί πυρήνες, είναι περιοχές πέρα από τις οποίες εκτείνονται τα αρχαία εκρηξιγενή και μεταμορφωσιγενή πετρώματα. Το ανάγλυφο έχει διαμορφωθεί γενικά από διαφορεική διάβρωση κατά μήκος ασθενών γραμμών, διακλάσεων και πτυχών. Στις **ασπίδες** παρατηρείται πολύ αργή ανύψωση.
- (II) Οι **πλατφόρμες**, είναι τμήματα των κρατόν, όπου μη παραμορφωμένα ιζηματογενή πετρώματα κείνται επάνω σε εκρηξιγενή και μεταμορφωσιγενή πετρώματα. Στις **πλατφόρμες**, συμβαίνει πολύ αργή βύθιση.



Σχ. 5. Χαρακτηριστική τομή των κρατών.

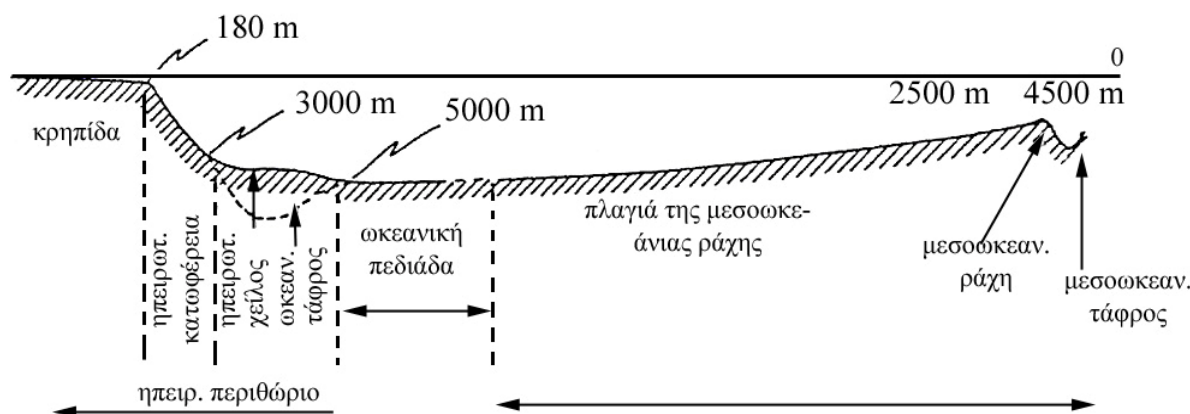
Τα παλαιότερα μέρη των κρατών έχουν πυρήνα από πετρώματα ηλικίας μεγαλύτερης των 2,5 δις. ετών. Αυτοί οι πυρήνες περιβάλλονται από ζώνες νεότερων πετρωμάτων. Τα κρατόν άρχισαν ως σχετικά μικρές μονάδες και αυξήθηκαν με την προσθήκη νεότερων μονάδων. Τα παλαιότερα πετρώματα είναι μεταμορφωμένες λάβες και χονδρόκοκκα ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία θεωρούνται ως υπόλοιπα των αρχαίων ηφαιστειακών νησιωτικών τόξων και ιζήματα τάφρων, στα οποία έχουν προστεθεί επιπλέον ζώνες, ως αποτέλεσμα της σύγκρουσης ωκεάνιας- ηπειρώτικης και ηπειρώτικης- ηπειρώτικης λιθόσφαιρας. Οι ζώνες επαφής χαρακτηρίζονται από **οφιολιθικές ζώνες** με υπερβασικά πετρώματα, που καλούνται **συρραφές**. Ενδείξεις επαναλαμβανόμενων παλιότερων συγκρούσεων των λιθόσφαιρικών πλακών αναγνωρίζονται από τις συρραφές και από τη χρονολόγηση των πετρωμάτων.

Η προοδευτική διάβρωση ενός μεγάλου μέρους στρωμάτων ηλικίας Ανωτ. Προκάμβριου έχει αποκόψει τα ανώτερα τμήματα των πετρωμάτων κατά τις συγκρούσεις και απέμειναν εκείνα τα πετρώματα που μεταμορφώθηκαν στο βάθος σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης.

**Ηπειρογενετικές** θεωρούνται οι ευρείες κατακόρυφες μετακινήσεις του ηπειρωτικού φλοιού οι οποίες δεν προκαλούν έντονη παραμόρφωση των πετρωμάτων αλλά μόνο τοπική κλίση. Οι ηπειρογενετικές κινήσεις μπορούν να προκαλέσουν τη βύθιση τμήματος των κρατόν σε βάθος 4000 m, όπως φαίνεται από το πάχος των ιζηματογενών στρωμάτων. Τέτοιες περίοδοι απόθεσης μπορεί να διαρκέσουν μέχρι και 150 εκατ. χρόνια. Η καταβύθιση μιας περιοχής συνοδεύεται από συσσώρευση ιζημάτων, που προέρχονται από τις γύρω περιοχές και το πάχος των ιζημάτων εκφράζει το μέγεθος της κίνησης, ενώ αντίθετα η ανύψωση συνοδεύεται από αποσάθρωση και διάβρωση.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι η απόθεση ή η διάβρωση ιζημάτων δεν οφείλεται πάντοτε σε τεκτονικά αίτια αλλά μπορεί να οφείλεται σε ευστατικά αίτια τα οποία έχουν κλιματική αιτία.

**Ορογενετικές** θεωρούνται οι κατακόρυφες μετακινήσεις του ηπειρωτικού φλοιού οι οποίες προκαλούν έντονη παραμόρφωση των πετρωμάτων με πτυχώσεις, ρήγματα και έντονη μεταμόρφωση.



Σχ. 6 Τομή του Ατλαντικού ωκεανού από δυτικά προς τη μεσοωκεάνια ράχη, στην οποία διακρίνονται οι κύριες μορφολογικές ενότητες.

### 3.2.2. Ωκεάνιες λεκάνες

Σε μια τομή στους ωκεάνιους πυθμένες πρέπει να σημειώσουμε τις κύριες μορφολογικές ενότητες που έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. (Σχ. 6) Στο ηπειρωτικό τμήμα διακρίνουμε, την **ηπειρωτική τράπεζα** και στο ωκεάνιο τμήμα, την **ωκεάνια τράπεζα**. Η κλίση του ηπειρωτικού τμήματος είναι ομαλή και σταθερή μέχρι το βάθος των 200 m κάτω από τη στάθμη της θάλασσας. Το τμήμα που περιλαμβάνεται μεταξύ της στάθμης της θάλασσας και του βάθους των 200 m λέγεται **ηπειρωτική κρηπίδα** και αποτελεί

προέκταση της ξηράς που καλύπτεται από λεπτό πάχος σύγχρονων ιζημάτων. Η ηπειρωτική κρηπίδα περιβάλλει όλες τις ηπείρους και έχει παρόμοια μορφολογία, αλλά έχει διαφορετικό πλάτος. Το μέσο πλάτος είναι 70-80 km και σε μερικές περιπτώσεις φθάνει σε πολλές εκατοντάδες χιλιόμετρα. Από το βάθος των 200m η κλίση της καμπύλης αλλάζει και αυξάνεται σε  $1^{\circ}$ - $6^{\circ}$  και ονομάζεται ηπειρωτική κατωφέρεια, η οποία φθάνει μέχρι το βάθος των 5.000m. Από το βάθος αυτό η κλίση της καμπύλης σχεδόν μηδενίζεται και το τμήμα αυτό χαρακτηρίζεται ως **αβυσσικό πεδίο**. Οι πρόποδες της ηπειρωτικής κατωφέρειας έχουν πολύ μικρή κλίση (1%-1,5%) και πολλές φορές ονομάζονται **ηπειρωτικά χείλη**. Τα ηπειρωτικά χείλη έχουν μορφή ριπιδίου και σχηματίζονται πάνω σε ηπειρωτικό ή ωκεάνιο φλοιό.

Στην ανάλυση της υπογραφικής καμπύλης είναι απαραίτητο να σημειώσουμε ότι τα μέγιστα υψόμετρα δεν βρίσκονται στο κέντρο των ηπείρων και τα μεγαλύτερα βάθη

στο κέντρο των ωκεανών. Τόσο οι ήπειροι όσο και οι ωκεάνιοι πυθμένες δεν είναι επίπεδοι αλλά παρουσιάζουν ανάγλυφο. Οι ωκεανοί δεν έχουν ένα ομοιόμορφο βάθος, αλλά στα κεντρικά τμήματά τους παρατηρείται μια προοδευτική ανύψωση, **η ωκεάνια ράχη**, στην οποία το βάθος από 5.000 m που έφθανε στα βαθύτερα σημεία, μειώνεται σε 2.500 m. Κατά μήκος της ωκεάνιας ράχης, παρατηρείται συχνά μια κεντρική κοιλάδα (rift) πλάτους περίπου 30 km. Οι ωκεάνιες ράχες κόβονται από εγκάρσια ρήγματα γνωστά ως **ρήγματα μετασχηματισμού**. Τα ρήγματα αυτά είναι σεισμικά ενεργά και οι ωκεάνιες ράχες χαρακτηρίζονται ως ενεργές. Η μεσοατλαντική ράχη (Σχ.7α.) ενώνεται με τις άλλες ράχες που βρίσκονται σε άλλους ωκεανούς, και αποτελούν μια υποθαλάσσια οροσειρά συνολικού μήκους περίπου 70.000 km.

Στους ωκεάνιους πυθμένες διακρίνονται στενές επιμήκεις αύλακες, που το βάθος τους είναι πολύ μεγάλο και σε ακραίες περιπτώσεις, όπως στον Ειρηνικό ωκεανό, στις Μαριάνες νήσους, φθάνει σε βάθος 11km, και λέγονται **ωκεάνιες αύλακες**. Είναι γνωστή η ελληνική ωκεάνια αύλακα, που περιβάλλει τοξοειδώς την ελληνική χερσόνησο και εκτείνεται δυτικά των Ιονίων νήσων και της Πελοποννήσου και διέρχεται νότια της Κρήτης και της Κω. Το μεγαλύτερο βάθος σημειώνεται δυτικά της Μεσσηνίας και είναι 5.121m και είναι και το μεγαλύτερο της Μεσογείου.

Η δημιουργία των γεωμορφών που αναφέραμε είναι προϊόν γεωδυναμικών ανακατατάξεων.

Τα **ηπειρωτικά περιθώρια** είναι τα ηπειρωτικά τμήματα που περιβάλλουν τους ωκεανούς και θεωρούνται ζώνες μετάβασης από τις ηπείρους στους ωκεανούς. Τα ηπειρωτικά περιθώρια που περιβάλλουν τον Ατλαντικό, τον Ινδικό και τον Ανταρκτικό ωκεανό παρουσιάζουν σχετική σεισμική ηρεμία, με πολύ λίγους σεισμούς και οι γειτονικές ήπειροι και οι ωκεάνιες λεκάνες δεν παρουσιάζουν ουσιώδη παραμόρφωση. Τα περιθώρια αυτά χαρακτηρίζονται ως **παθητικά περιθώρια**. Αντίθετα τα περιθώρια που περιβάλλουν τον Ειρηνικό ωκεανό, παρουσιάζουν έντονη σεισμική και ηφαιστειακή δραστηριότητα και χαρακτηρίζονται από υψηλές οροσειρές και βαθιές υποθαλάσσιες αύλακες και λέγονται **ενεργά ηπειρωτικά περιθώρια**. Ζώνες με σεισμική δραστηριότητα, που συνοδεύεται από ηφαίστεια και ωκεάνιες αύλακες και βρίσκονται μακριά από τις ηπείρους, λέγονται **ωκεάνια τόξα**. Οι ζώνες αυτές αποτελούν ενεργά περιθώρια και δείχνουν ότι είναι δεν είναι απαραίτητη η παρουσία μιας γειτονικής ηπείρου για τον σχηματισμό ενός ενεργού περιθωρίου.(Σχ. 8).



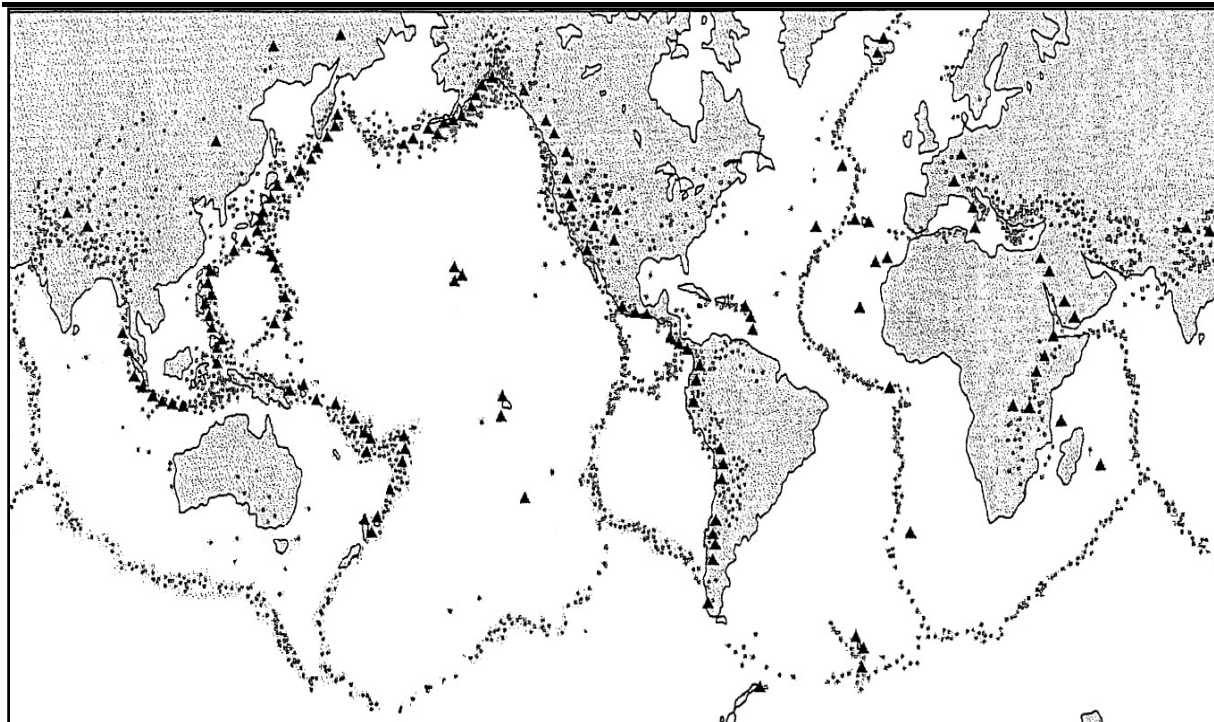
Σχ. 7 α.



Σχ. 7 β

Σχ. 7 α και 7 β. Απεικονίζεται ανάγλυφα η μορφολογία των ηπείρων και των ωκεανών. Διακρίνεται οι μεσοωκεάνιες ράχες που αποτελούν υποθαλάσσιες οροσειρές ανάμεσα στις ηπείρους οι κεντρικές κοιλάδες (rift) και τα ρήγματα μετασχηματισμού.





**Σχ. 8.** Χάρτης των ηπείρων στον οποίο σημειώνονται τα επίκεντρα των σεισμών με τελείες και τα ηφαίστεια με μαύρα τρίγωνα. Τα ηπειρωτικά περιθώρια γύρω από τον Ειρηνικό ωκεανό που συγκεντρώνονται τα σεισμικά επίκεντρα και τα ηφαίστεια είναι ενεργά ηπειρωτικά περιθώρια, ενώ αυτά που περιβάλλουν τον Ατλαντικό είναι παθητικά.

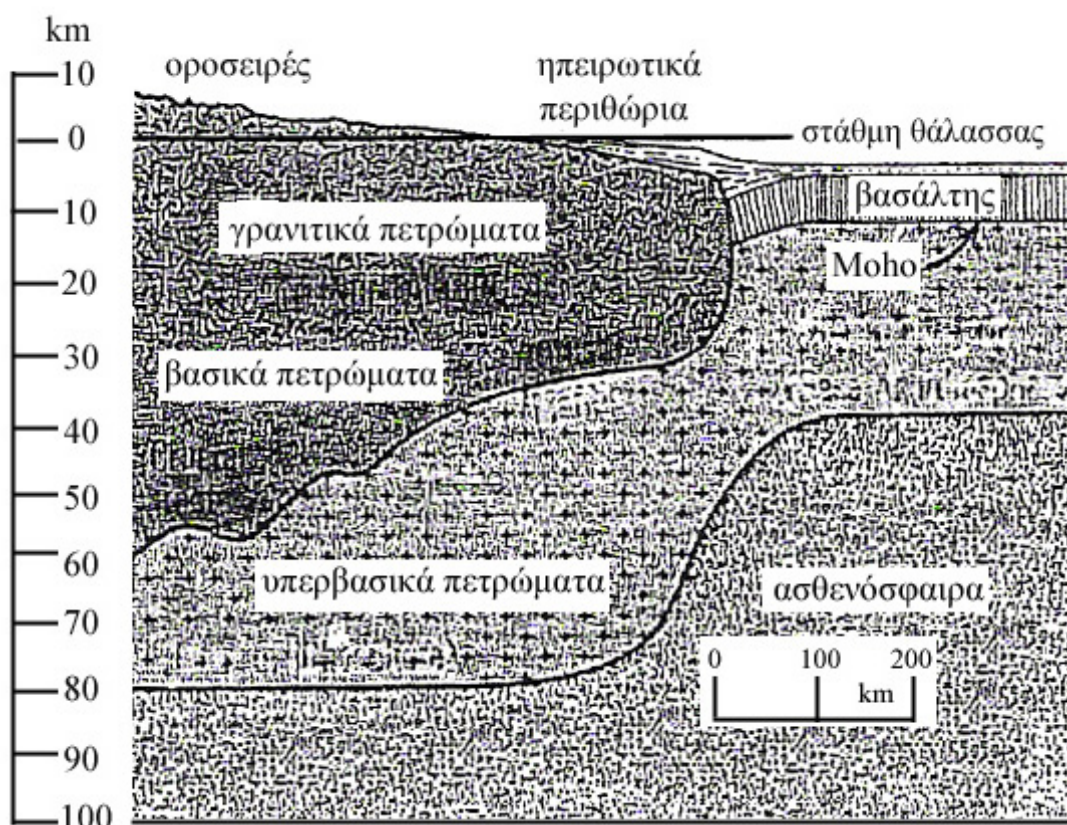
Τα περιθώρια εκατέρωθεν των **ρηγμάτων μετασχηματισμού**, που δημιουργούνται στις μεσοωκεάνιες ράχες λέγονται **συντηρητικά περιθώρια**. Η δημιουργία των ρηγμάτων μετασχηματισμού φανερώνει οριζόντιες μετατοπίσεις, κατά μήκος των οποίων η επιφανειακή εμφάνιση του φλοιού δεν αλλάζει, δηλαδή ούτε δημιουργείται νέος φλοιός αλλά ούτε καταστρέφεται.

Οι **ωκεάνιες λεκάνες** δεν έχουν ενιαία μορφολογία, αλλά καθορίζεται από τη θέση και τη φύση των πετρωμάτων που τις αποτελούν. Οι ωκεάνιοι πυθμένες που περιβάλλουν τα ενεργά ηπειρωτικά περιθώρια παρουσιάζουν έντονο ανάγλυφο, ενώ αυτοί που γειτονεύουν με παθητικά ηπειρωτικά περιθώρια αποτελούν ομαλές αβυσσικές πεδιάδες, που καλύπτονται από ιζήματα μεγάλου πάχους, με μερικά υποθαλάσσια βουνά και αυλάκια. Από γεωλογικής πλευράς οι ενεργές ράχες και οι βαθιές ωκεάνιες λεκάνες αποτελούν την ωκεάνια περιοχή, ενώ η κρηπίδα ανήκει στην ήπειρο και τα ηπειρωτικά περιθώρια θεωρούνται ως ζώνη μετάβασης από τις ηπείρους στους ωκεανούς. Όσον αφορά δε στα ηπειρωτικά περιθώρια, στα παθητικά δεν έχουμε καμιά τεκτονική δραστηριότητα, ενώ στα ενεργά είναι η έδρα των γεωδυναμικών φαινομένων.

### 3.3. Γενικές αρχές της τεκτονικής των πλακών

#### 3.3.1. Λιθόσφαιρα και ασθενόσφαιρα.

Ο γήινος φλοιός και ο ανώτατος μανδύας είναι στερεοί. Αυτό το εξωτερικό στερεό στρώμα καλείται **λιθόσφαιρα**, από την ελληνική της λέξης «λίθος». Το πάχος της λιθόσφαιρας ποικίλλει. Είναι λεπτότερη κάτω από τους ωκεανούς, όπου επεκτείνεται σε βάθος που φθάνει τα 50 χιλιόμετρα, ενώ κάτω από τις ηπείρους είναι παχύτερη και φθάνει σε βάθος 150 χιλιομέτρων περίπου (Σχ.9).



Σχ. 9. Τομή της λιθόσφαιρας.

Το στρώμα που βρίσκεται κάτω από τη λιθόσφαιρα είναι η **ασθενόσφαιρα**. Η ασθενόσφαιρα επεκτείνεται στο μανδύα σε ένα μέσο βάθος περίπου 500 χιλιομέτρων. Η έλλειψη δύναμης ή ακαμψίας, μπορεί να οδηγήσει, την ανώτερη ασθενόσφαιρα σε μερική τήξη. Η ζώνη αυτή, βέβαια, δεν είναι όλη λειωμένη, παρά τοπικά μόνο υπάρχει ένα μικρό ποσοστό μάγματος στο κατά τα άλλα στερεό πέτρωμα. Στο μεγαλύτερο μέρος της ασθενόσφαιρας, που δεν περιέχει κανένα λειωμένο μέταλλο, οι θερμοκρασίες είναι κοντά στις θερμοκρασίες τήξης του μανδύα και τα πετρώματα ρέουν πλαστικά, εξ αιτίας των πολύ υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων.

Η ασθενόσφαιρα ανακαλύφθηκε, με τη μελέτη της συμπεριφοράς των σεισμικών κυμάτων. Με την παρουσία της ερμηνεύεται ευκολότερα ο διαχωρισμός των ηπείρων. Οι ήπειροι μετακινούνται γλιστρώντας πάνω σε ένα μαλακό ή ελαφρώς "πολτώδες" στρώμα, που βρίσκεται κάτω από τις λιθοσφαιρικές πλάκες.

### **3.3.2. Όρια των λιθοσφαιρικών πλακών.**

Παρατηρώντας έναν παγκόσμιο χάρτη στον οποίο σημειώνονται τα επίκεντρα των σεισμών και οι θέσεις των ηφαιστειών, βλέπουμε ότι αυτά δεν είναι διεσπαρμένα τυχαία ή δεν κατανέμονται ομοιόμορφα πάνω στη γη, αλλά συγκεντρώνονται, ως επί το πλείστον, σε ζώνες, ή γραμμικές αλυσίδες. (Σχ. 10) Αυτό δείχνει, ότι η άκαμπτη λιθόσφαιρα δεν είναι ενιαία, αλλά είναι χωρισμένη σε κομμάτια, τις λιθοσφαιρικές πλάκες. Τα ηφαιστεια και οι σεισμοί συγκεντρώνονται στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, που μετακινούνται, είτε απομακρύνονται η μια από την άλλη, ή πλησιάζουν μεταξύ τους. Εξαιτίας των κινήσεων αυτών στα άκρα των πλακών συμβαίνουν πολλά γεωλογικά φαινόμενα, ενώ στα κεντρικά τμήματα δεν παρατηρούνται ουσιώδεις μεταβολές. Διακρίνονται έξι μεγάλες λιθοσφαιρικές πλάκες αλλά και πολλές μικρότερες (Σχ.11).

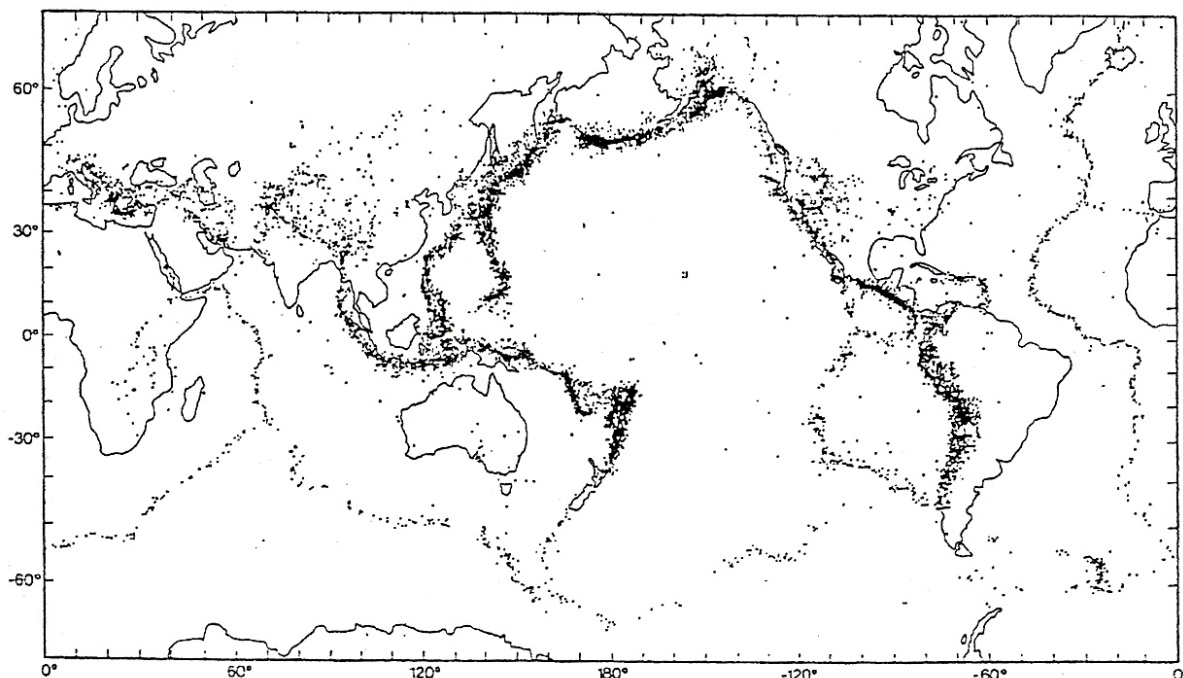
Η διαπίστωση της ύπαρξης της ασθενόσφαιρας, μιας ζώνης με πλαστική συμπεριφορά, αποτέλεσε μια εύλογη εξήγηση για τις κινήσεις των πλακών, αλλά αυτό δεν αποτελούσε απόδειξη και ήταν αναγκαίο να υπάρξουν και άλλες πρόσθετες πληροφορίες και ενδείξεις, π.χ. σχετικά με τις κατευθύνσεις των μετακινήσεων των πλακών, προκειμένου οι επιστήμονες να δεχθούν τη θεωρία των τεκτονικών πλακών. Πιο κάτω θα αναφερθούμε σε αυτά τα στοιχεία.

## **3.4. Στοιχεία και ενδείξεις για τις μετακινήσεις των ηπείρων**

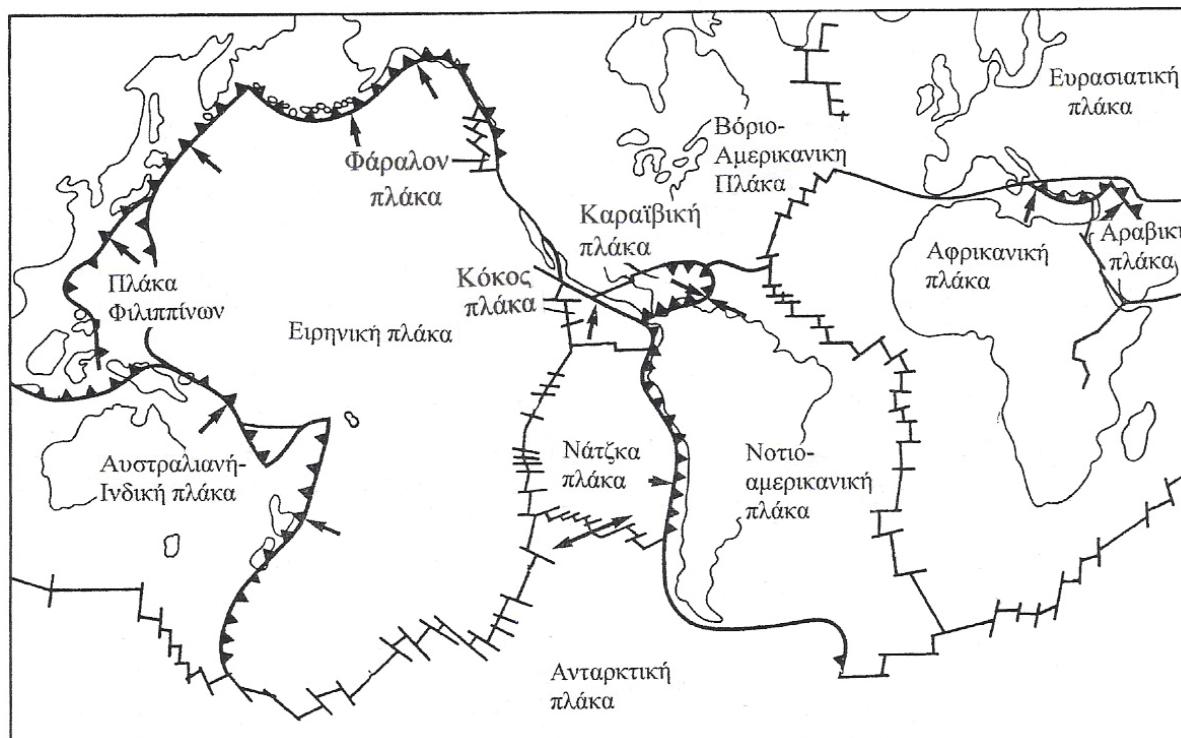
### **3.4.1. Η τοπογραφία του πυθμένα των ωκεανών.**

Εάν πραγματικά η Αμερική και η Αφρική απομακρύνονται μεταξύ τους, θα έπρεπε να υπάρχει κάποια ένδειξη στον ωκεάνιο πυθμένα που να μαρτυρεί την κίνηση αυτή (Σχ. 7 α). Πράγματι, ο τοπογραφικός χάρτης του Ατλαντικού Ωκεανού παρουσιάζει στο κέντρο του πυθμένα του μια εμφανή κορυφογραμμή, που τον διατρέχει από βορά προς νότο, τη μεσοωκεάνια ράχη. Έρευνες που αφορούσαν στη μελέτη της τοπογραφίας των ωκεάνιων

πυθμένων και ιδιαίτερα του Ατλαντικού, διαπίστωσαν μια έντονη εσοχή, στο κέντρο της οροσειράς σε όλο το μήκος της. Αυτή η εσοχή στην κορυφογραμμή, ήταν ένα μεγάλο βαθύ ρήγμα, που διαχώρισε τις δύο ηπείρους και στη συνέχεια απομακρύνθηκαν.



Σχ. 10. Στο χάρτη σημειώνονται τα σεισμικά επίκεντρα.



Σχ. 11. Στο χάρτη διακρίνονται επτά μεγάλες λιθσφαιρικές πλάκες και μερικές μικρότερες.

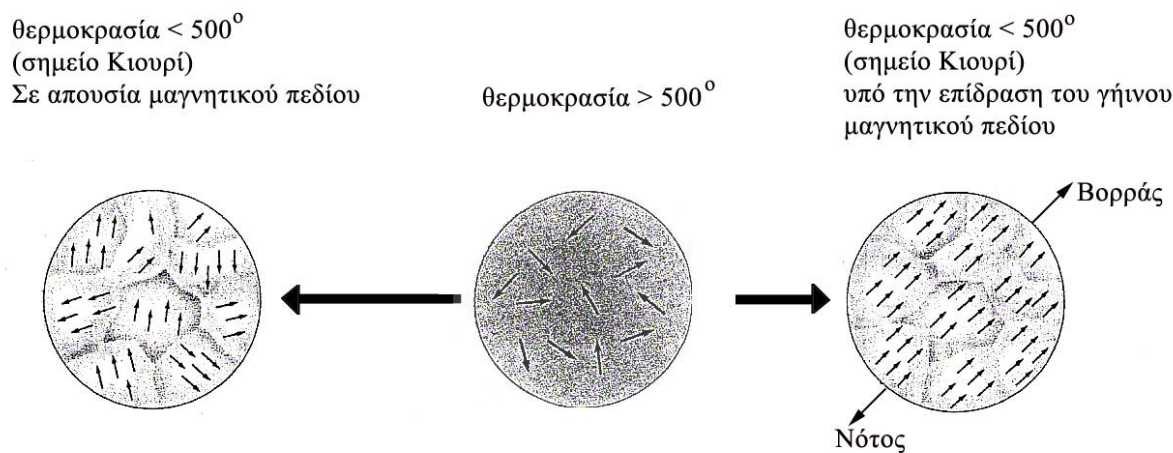
Η εσοχή στο κέντρο της ράχης και ο διαχωρισμός της Νότιας Αμερικής από την Αφρική ερμηνεύεται με τη διάρρηξη του Ατλαντικού. Από τη διάρρηξη αυτή διαπιστώθηκε ότι ανέρχεται μάγμα από το εσωτερικό και στη συνέχεια στερεοποιείται. Συνεχιζόμενες έρευνες αποκάλυψαν την ύπαρξη τέτοιων μεσοωκεάνιων ράχων με βαθιές διαρρήξεις και σε άλλους ωκεανούς εκτός από τον Ατλαντικό ωκεανό. Η μορφολογία των ωκεάνιων ράχων δεν είναι η ίδια σε όλους τους ωκεανούς, αλλά εξαρτάται από την ταχύτητα διάνοιξής τους. Αν η ταχύτητα είναι μεγάλη (μεγαλύτερη από 3 cm το χρόνο), τότε στο κέντρο της ράχης δημιουργείται μια κεντρική κοιλάδα που ονομάζεται **rift**, εάν η ταχύτητα είναι μικρή δημιουργείται μια μεγάλη αποστρογγυλωμένη ανύψωση. Το συνολικό μήκος όλων των ωκεάνιων ράχων, όπως ήδη αναφέρομε, είναι περίπου 70.000km (Σχ. 7α, 7β). Οι έρευνες των ωκεάνιων πυθμένων συνεχίστηκαν και συλλέχθηκαν πολύ σημαντικά στοιχεία, σχετικά με την ηλικία των πετρωμάτων και των μαγνητικών ιδιοτήτων τους, που αποτέλεσαν σημαντικές ενδείξεις για την υποστήριξη της υπόθεσης των λιθοσφαιρικών πλακών.

Εκτός από τις οροσειρές, παρατηρούνται τάφροι με διαφορετικό βάθος, συχνά αρκετών χιλιομέτρων, κατά μήκος των ηπειρωτικών περιθωρίων. Αυτές οι τάφροι μπορούν να εξηγηθούν επίσης από την τεκτονική των πλακών.

### **3.4.2. Μαγνητισμός στα πετρώματα.**

Μια πολύ σημαντική ιδιότητα των πετρωμάτων είναι ο μαγνητισμός. Με τη μελέτη των μαγνητικών τους ιδιοτήτων προκύπτουν πολύ σημαντικά στοιχεία τόσο για την ένταση όσο και για τη φορά του γήινου μαγνητικού πεδίου και αυτό αποτελεί και τη βάση του παλαιομαγνητισμού.

Τα περισσότερα μη σιδηρούχα ορυκτά, δεν είναι μαγνητικά στις θερμοκρασίες επιφάνειας. Κάθε μαγνητικό ορυκτό, έχει μια θερμοκρασία Κιουρί, κάτω από την οποία, παραμένει μαγνητικό, αλλά επάνω από αυτή, χάνει τις μαγνητικές του ιδιότητες. Η θερμοκρασία Κιουρί, ποικίλλει από ορυκτό σε ορυκτό, αλλά είναι πάντα κατώτερη από τη θερμοκρασία τήξης του ορυκτού. Για τα περισσότερα ορυκτά η θερμοκρασία αυτή είναι περίπου 500° C. Το καυτό μάγμα, επομένως δεν είναι μαγνητικό, αλλά καθώς ψύχεται και στερεοποιείται, τα σιδηρομαγνησιούχα πυριτικά άλατα και άλλα σιδηρούχα ορυκτά που κρυσταλλώνονται από αυτό, αποκτούν μαγνήτιση και τείνουν να παραταχθούν κατά την ίδια διεύθυνση, όπως οι μαγνητικές βελόνες των πυξίδων, παράλληλα στις δυναμικές γραμμές του γήινου μαγνητικού πεδίου, με φορά από βορά προς νότο και δείχνουν το μαγνητικό βόρειο πόλο. Τα ορυκτά διατηρούν τον εσωτερικό μαγνητικό προσανατολισμό τους, εκτός αν ξαναθερμανθούν (Σχ 12).



Σχ. 12 Ο προσανατολισμός των μαγνητικών ορυκτών

Στις αρχές των δεκαετιών του 20ου αιώνα, οι επιστήμονες, μελετώντας την ένταση του μαγνητικού πεδίου της Γης και την κατεύθυνση της μαγνήτισης, σε μια ακολουθία ηφαιστειακών πετρωμάτων στη Γαλλία, ανακάλυψαν πεδία που εμφάνιζαν αντίθετη κατεύθυνση μαγνήτισης από τα υπόλοιπα. Τα μαγνητικά ορυκτά έδειχναν το νότο, αντί του βορρά. Η ανακάλυψη, αυτή που επιβεβαιώθηκε σε πολλές περιοχές σε όλο τον κόσμο, οδήγησε στο συμπέρασμα, ότι το γήινο μαγνητικό πεδίο, σε διάφορες φάσεις κατά τη διάρκεια της γεωλογικής ιστορίας της Γης, είχε αναστραφεί και οι πόλοι Βορρά και Νότου είχαν μεταστρέψει τις θέσεις τους.

Με βάση τα στοιχεία που συλλέχθηκαν από τους επιστήμονες, προκύπτει ότι τα πετρώματα που στερεοποιήθηκαν κατά τις περιόδους που το γήινο μαγνητικό πεδίο είχε τον ίδιο προσανατολισμό με σήμερα, θεωρούνται κανονικά μαγνητισμένα, ενώ τα πετρώματα που κρυσταλλώθηκαν όταν το μαγνητικό πεδίο είχε αντίθετη φορά, περιγράφονται ως ανάστροφα μαγνητισμένα.

Κατά τη διάρκεια της ιστορία της γης, το μαγνητικό πεδίο έχει αναστραφεί πολλές φορές. Μερικές φορές, η πολικότητα παρέμεινε σταθερή, για περίπου ένα εκατομμύριο χρόνια πριν αντιστραφεί, ενώ άλλες αναστροφές χωρίζονται από μόνο μερικές δεκάδες χιλιάδες χρόνια. Με τη συνδυασμένη χρήση των μαγνητικών μετρήσεων και του προσδιορισμού της ηλικίας, των μαγνητικών ορυκτών, οι γεωλόγοι μπόρεσαν να αναπαραστήσουν λεπτομερώς την ιστορία αναστροφής του γήινου μαγνητικού πεδίου.

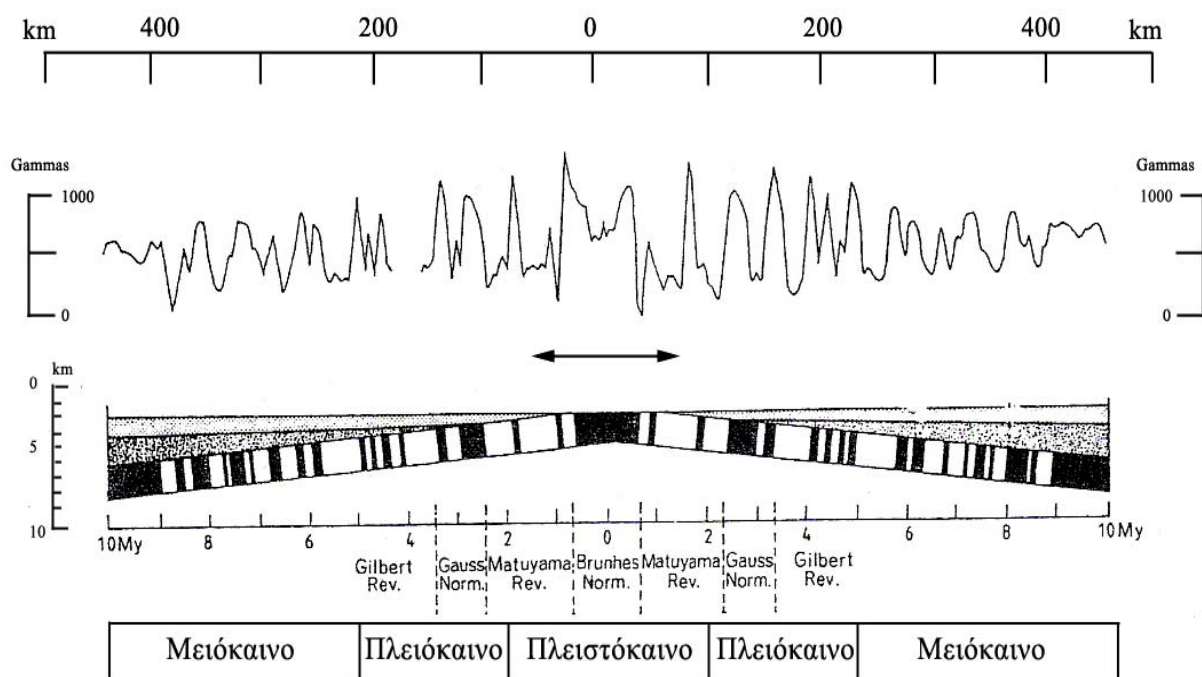
Η εξήγηση για τις μαγνητικές αναστροφές, συνδέεται με την προέλευση του μαγνητικού πεδίου που πιστεύεται ότι οφείλεται στην ύπαρξη του εξωτερικού πυρήνα που είναι σε ρευστή κατάσταση. Οι διαταραχές ή οι αλλαγές στις κινήσεις του ρευστού που

αποτελεί τον εξωτερικό πυρήνα θα μπορούσαν στη συνέχεια να προκαλέσουν τις αντιστροφές του μαγνητικού πεδίου.

### 3.4.3. Ο παλαιομαγνητισμός και η διεύρυνση του ωκεάνιου πυθμένα.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '50, έγιναν οι πρώτες μεγάλης κλίμακας έρευνες, για τις μαγνητικές ιδιότητες του ωκεάνιου πυθμένα, ο οποίος αποτελείται κατά ένα μεγάλο μέρος από το βασάλτη, ένα ηφαιστειακό πέτρωμα πλούσιο σε σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά. Οι έρευνες έδωσαν ένα εντελώς απροσδόκητο αποτέλεσμα. Ο πυθμένας του ωκεανού βρέθηκε ότι αποτελείται από εναλλασσόμενες "λουρίδες" ή ζώνες με πετρώματα κανονικά και ανάστροφα μαγνητισμένα, που ήταν διαταγμένα συμμετρικά ως προς τις ωκεάνιες ράχες (Σχ. 13). Αυτό φάνηκε τόσο απίστευτο ώστε υπέθεσαν ή ότι τα όργανα ήταν ελαττωματικά, ή οι μετρήσεις λάθος. Εντούτοις, και άλλες μελέτες έδωσαν τα ίδια αποτελέσματα. Για αρκετά χρόνια οι γεωλόγοι προσπάθησαν να βρουν μια πειστική εξήγηση, για αυτές τις πολύ περίεργες παρατηρήσεις. Το 1963 προτάθηκε από την ομάδα F. J. Vine και D.C. Matthews, και ανεξάρτητα, από τον L. W. Morley η ακόλουθη εξήγηση.

Οι μαγνητικές λουρίδες θα μπορούσαν να εξηγηθούν ως αποτέλεσμα της διεύρυνσης του ωκεάνιου πυθμένα, εξ αιτίας της απομάκρυνσης των λιθοσφαιρικών πλακών, εκατέρωθεν της ωκεάνιας ράχης. Εάν η ωκεάνια λιθόσφαιρα έσπαζε και οι πλάκες αποχωρίζονταν, στο σημείο αυτό της λιθόσφαιρας θα άρχιζε να ανοίγει μια ρωγμή. Μια τέτοια ρωγμή, βάθους περίπου 50 χιλιομέτρων, έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της πίεσης στο υποκείμενο τμήμα με συνέπεια εκτεταμένη τήξη του μάγματος στην ασθενόσφαιρα. Το μάγμα ανεβαίνει, ψήχεται, και στερεοποιείται, και δίνει το νέο βασαλτικό πέτρωμα, που μαγνητίζεται κατά την επικρατούσα διεύθυνση του γήινου μαγνητικού πεδίου. Εάν οι πλάκες συνεχίσουν να απομακρύνονται, τότε και το νέο πέτρωμα θα χωριστεί και θα δημιουργηθεί μια νέα λουρίδα βασάλτη. Εάν, κατά τη διάρκεια της διεύρυνσης του θαλάσσιου πυθμένα, η πολικότητα του γήινου μαγνητικού πεδίου αντιστραφεί, τα πετρώματα που θα δημιουργηθούν μετά από την αντιστροφή, είναι αντίθετα μαγνητισμένα από εκείνα που διαμορφώθηκαν πριν απ' αυτήν. Ο ωκεάνιος πυθμένας είναι μια συνεχής ακολουθία βασαλτών, που διαμορφώνεται στη διάρκεια δεκάδων ή εκατοντάδων εκατομμυρίων των ετών. Στο διάστημα αυτό εν τω μεταξύ, έχουν υπάρξει δωδεκάδες αναστροφές πολικότητας και οι βασάλτες των ωκεάνιων πυθμένων έχουν λειτουργήσει, ως όργανο καταγραφής μαγνητικών ταινιών κατά τη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου και αποτελεί ένα αρχείο με τις αναστροφές πολικότητας στις εναλλασσόμενες ζώνες από κανονικά και αντίστροφα μαγνητισμένα πετρώματα.



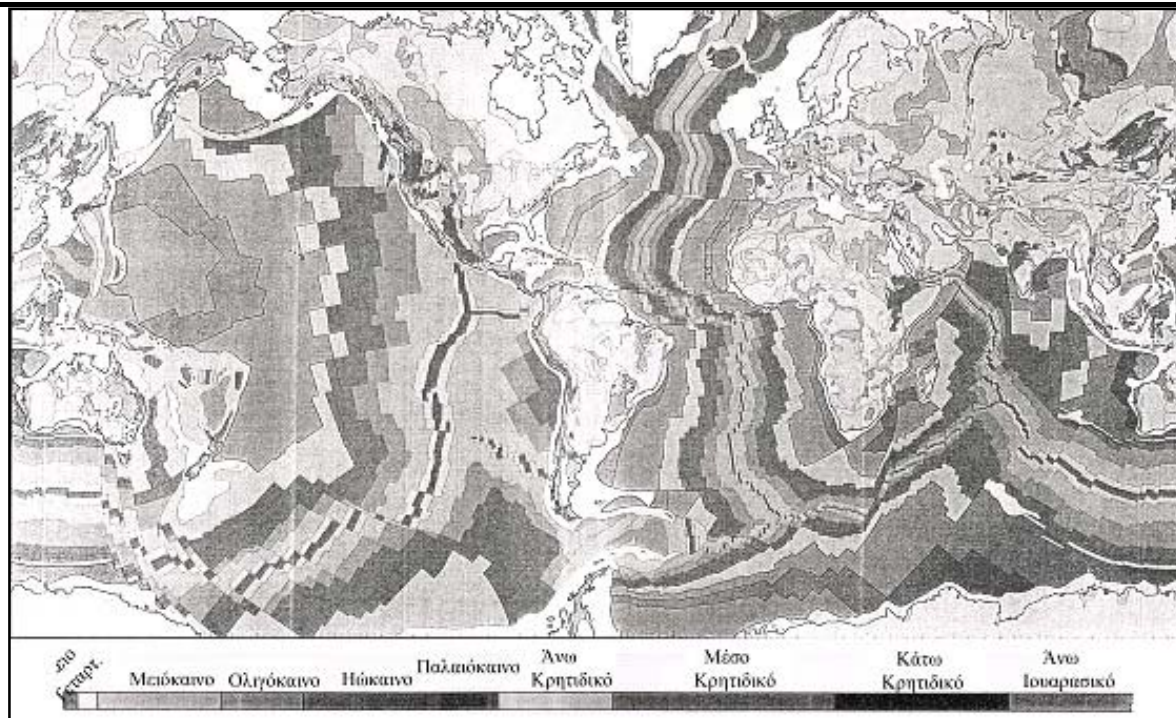
Σχ. 13. Οι μαγνητικές ανωμαλίες σε τομή κατά μήκος του Νότιου Ειρηνικού και της μεσοωκεάνιας ράχης του Ανταρκτικού. (με άσπρο η κανονική πολικότητα και μαύρο η ανάστροφη).

#### 3.4.4. Ηλικία του ωκεάνιου πυθμένα

Οι ηλικίες των βασαλτών των ωκεάνιων πυθμένων αποτελούν άλλο ένα στοιχείο για την υποστήριξη αυτής της θεωρίας, δηλ. της διάνοιξης του ωκεάνιου πυθμένα. Ο χρόνος, στον οποίο ένα εκρηξιγενές πέτρωμα, όπως ο βασάλτης, στερεοποιήθηκε, μπορεί να καθοριστεί με ειδικές μεθόδους. Προσδιορίστηκε η ηλικία πολλών δειγμάτων βασάλτη από τους ωκεάνιους πυθμένες και σε όλες τις περιπτώσεις προέκυψε ότι τα νεότερα πετρώματα του πυθμένα των ωκεανών βρίσκονται κοντά στις ωκεάνιες ράχες και όσο απομακρυνόμαστε από αυτές συναντάμε σταδιακά σε κάθε πλευρά παλιότερα πετρώματα (Σχ. 14), και προκύπτει ένα συμμετρικό σχήμα αντίστοιχο προς αυτό με τις μαγνητικές λουρίδες, δεξιά και αριστερά των μεσοωκεάνιων ράχων.

Έτσι φαίνεται ότι, καθώς προχωρεί η διεύρυνση του ωκεάνιου πυθμένα, τα πετρώματα που σχηματίστηκαν διαρρηγνύονται και απομακρύνονται συνεχώς μεταξύ τους, ενώ νέο μάγμα ανέρχεται από την ασθενόσφαιρα στη λιθόσφαιρα. Τα παλιότερα πετρώματα που βρίσκονται εκατέρωθεν των μεσοωκεάνιων ράχων αλλά μακριά από τις κορυφογραμμές, έχουν ηλικία 200 εκατομμυρίων ετών περίπου.



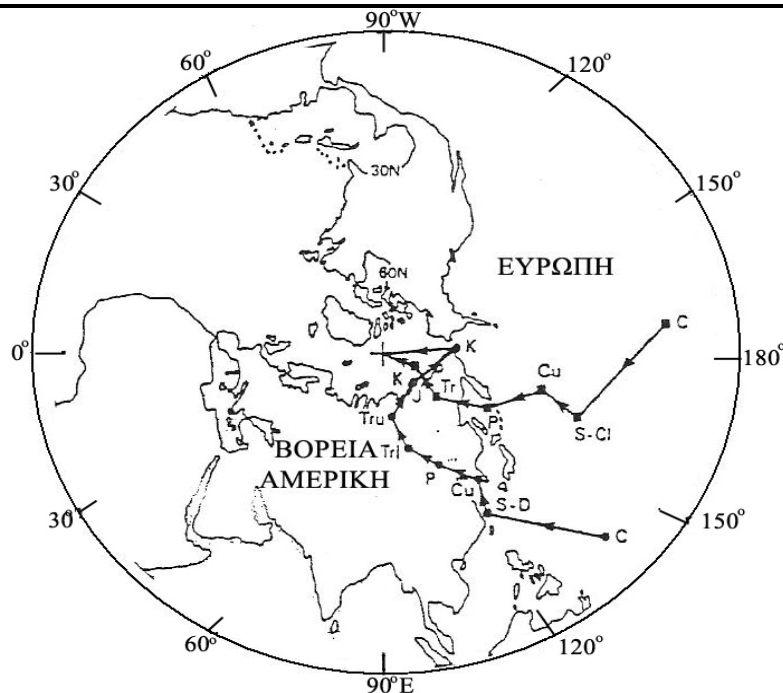


Σχ 14. Η ηλικίες των ωκεάνιων πυθμένων χρονολογημένες με τις παρατηρούμενες μαγνητικές ανωμαλίες. (Κατά R. L. Larson and W. C. Pitman).

### 3.4.5. Μετακίνηση των μαγνητικών πόλων

Τα στοιχεία για τις μετακινήσεις πλακών δεν προέρχονται μόνο από τη μελέτη των ωκεάνιων πυθμένων αλλά και από τη μελέτη των πετρωμάτων των ηπείρων. Στις ηπείρους συναντάμε πολύ παλιότερα πετρώματα απ' ότι στους ωκεανούς. Μερικά ηπειρωτικά πετρώματα έχουν ηλικία περίπου 4 δισεκατομμυρίων ετών. Οι τόσο μεγάλες περιόδους της γήινης ιστορίας μπορούν να διερευνηθούν με τη μελέτη των πετρωμάτων των ηπείρων. Οι μελέτες του μαγνητικού προσανατολισμού των ηπειρωτικών πετρωμάτων μπορούν να επεκταθούν σε πολλές εκατοντάδες εκατομμυρίων ετών και να δώσουν αρκετά σύνθετα στοιχεία. Μαγνητισμένα πετρώματα διαφορετικών ηλικιών από μια ενιαία ήπειρο έδωσαν πολύ διαφορετικές θέσεις των μαγνητικών πόλων (Σχ. 15).

Οι μαγνητικοί πόλοι μπορεί να έχουν αναστραφεί, αλλά επίσης μπορεί να έχουν μετακινηθεί ή και να δίνουν κάποια άλλη θέση διαφορετική από αυτή του σημερινού μαγνητικού βορρά και νότου. Εάν σχεδιαστούν και καθοριστούν σ' ένα χάρτη οι κατευθύνσεις της μαγνήτισης πολλών πετρωμάτων διάφορων ηλικιών μιας ηπείρου, τότε διαπιστώνεται ότι οι μαγνητικοί πόλοι έχουν μετακινηθεί στην επιφάνεια της γης, με την προϋπόθεση βέβαια ότι η θέση της ηπείρου στη γη ήταν σταθερή σε όλο αυτό το χρονικό διάστημα. Εάν ενώσουμε με μια γραμμή τις θέσεις των πόλων, η καμπύλη που προκύπτει, παρουσιάζει προφανή μετακίνηση του μαγνητικού πόλου στο χρόνο. (Σχ 15).



Σχ. 15 Η θέση του μαγνητικού βορά. Ο αριθμός δείχνει την ηλικία των πετρωμάτων που χρονολογήθηκαν στις συγκεκριμένες μαγνητικές θέσεις.

Η ανακάλυψη αυτή, δηλαδή της μετακίνησης του μαγνητικού πόλου, ήταν αρχικά ανεξήγητη, επειδή από τη γεωφυσική θεωρείται ότι οι γήινοι μαγνητικοί πόλοι πρέπει να βρίσκονται κοντά στους γεωγραφικούς (περιστροφικούς) πόλους.

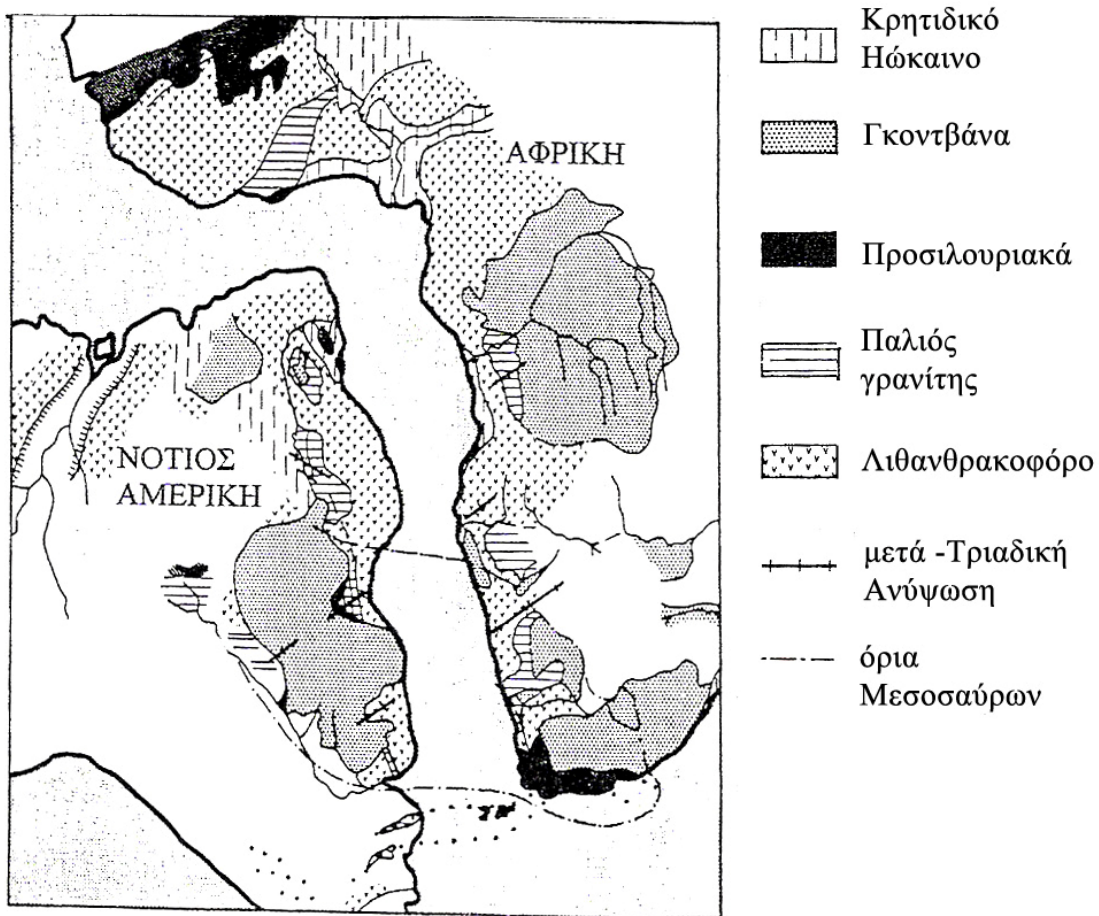
### 3.4.6. Κλιματικά στοιχεία

Η μελέτη διαφόρων τύπων ιζηματογενών πετρωμάτων και απολιθωμάτων, μας δίνει στοιχεία για το κλίμα που επικρατούσε στον τόπο κατά το χρόνο που αποτέθηκαν τα ιζήματα. Τέτοια στοιχεία δείχνουν πολύ έντονες και μεγάλες μεταβολές του κλίματος. Βρίσκουμε στοιχεία παγετώδους κλίματος σε περιοχές που βρίσκονται τώρα στους τροπικούς κύκλους, στην Αυστραλία, στη νότια Αφρική, και στη Νότια Αμερική. Υπάρχουν αποθέσεις άμμου ερήμων στα πετρώματα περιοχών οι οποίες τώρα έχουν υγρό κλίμα, αποθέσεις άνθρακα στην Ανταρκτική κ.λ.π. Αυτές οι παρατηρήσεις δεν είναι εύκολο να εξηγηθούν δεδομένου ότι παρατηρούνται μεγάλες κλιματικές αλλαγές στις ηπείρους καθώς επίσης γιατί όλες δεν παρουσιάζουν ίδιες τάσεις θέρμανσης ή ψύξης συγχρόνως. Εντούτοις, το κλίμα είναι συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους, το οποίο επηρεάζει έντονα τις θερμοκρασίες της επιφάνειας: Οι θερμοκρασίες είναι γενικά υψηλότερες κοντά στον ισημερινό και χαμηλότερες κοντά στους πόλους. Τόσο έντονες μεταβολές στο κλίμα μιας μεμονωμένης ηπείρου θα μπορούσαν να προκύψουν από τις αλλαγές στο γεωγραφικό πλάτος της κατά τη διάρκεια της μετακίνησης των ηπείρων. Τα ιζηματογενή πετρώματα εγκλείουν και διατηρούν

απολιθώματα που μας δίνουν πληροφορίες τόσο για την ηλικία όσο και το περιβάλλον δημιουργίας των πετρωμάτων. Έχουν βρεθεί απολιθώματα μερικών ειδών σε περιοχές, οι οποίες σήμερα ανήκουν σε διαφορετικές ηπείρους, όπως σε ορισμένες περιοχές της Ινδίας, της νότιας Αφρικής, αλλά ακόμη και στην Ανταρκτική, βρέθηκαν ένα φυτό το *Glossopteris* καθώς και ένας μικρός δεινόσαυρος, ο *Mesosaurus*, (ζώο του γλυκού νερού). Είναι πολύ δύσκολα να φανταστεί κανείς ότι μπορεί να αναπτύσσεται ένα συγκεκριμένο είδος ζώου ή φυτού ταυτόχρονα σε δύο ή περισσότερες περιοχές που απέχουν μεταξύ τους χιλιάδες χιλιόμετρα, ή ότι αυτά μετανάστευσαν πάνω από τους ωκεανούς. Απάντηση στο ερώτημα αυτό θα μπορούσε να δώσει η θεωρία της διάρρηξης και του αποχωρισμού των ηπείρων. Κατ' αυτήν ένα είδος ζούσε σε μια ενιαία γεωγραφικά περιορισμένη περιοχή και εξ αιτίας του διαχωρισμού των ηπείρων, τα πετρώματα στα οποία βρέθηκαν τα απολιθώματα, μετακινήθηκαν σε διαφορετικές κατευθύνσεις.

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, η προφανής ομοιότητα των ακτών της Αφρικής και της Νότιας Αμερικής προκάλεσε την αρχική ιδέα για τη δυνατότητα της μετακίνησης των ηπείρων. Με τη χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών έγινε προσπάθεια επανένωσης των ηπείρων. Τα αποτελέσματα πράγματι ήταν εντυπωσιακά, αλλά ήταν πολύ καλύτερα όταν ένωσαν αντί για τις ακτές, τα εξωτερικά άκρα των ηπειρωτικών περιθωρίων, δηλαδή το σημείο που το βάθος του ωκεανού αρχίζει να αυξάνει απότομα. Οι ατέλειες που παρουσιάζονται οφείλονται τις μεταβολές που έχουν υποστεί οι ακτές των ηπείρων στις δεκάδες ή τις εκατοντάδες των εκατομμυρίων ετών που μεσολάβησαν από την ηπειρωτική διάρρηξη εξαιτίας της διάβρωσης και της προσθήκης πετρωμάτων από ηφαιστειακή δραστηριότητα. Για την επανένωση των ηπείρων είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη γεωλογικά και πετρολογικά στοιχεία, οι ηλικίες των πετρωμάτων, τα απολιθώματα, οι αποθέσεις μεταλλευμάτων, οι οροσειρές, και τα λοιπά. Εάν εξετάσουμε δύο χωριστές ηπείρους που στο παρελθόν ήταν μέρος της ίδιας ηπείρου, διαπιστώνουμε ότι τα γεωλογικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα που διαπιστώνονται στα ηπειρωτικά περιθώρια της μιας, συναντώνται και στις αντίστοιχες ακτές της άλλης. Δηλαδή, για να ανασυντάξουμε τα κομμάτια του παζλ θα πρέπει απαραίτητως να υπάρχει γεωλογική αντιστοιχία (Σχ. 16).

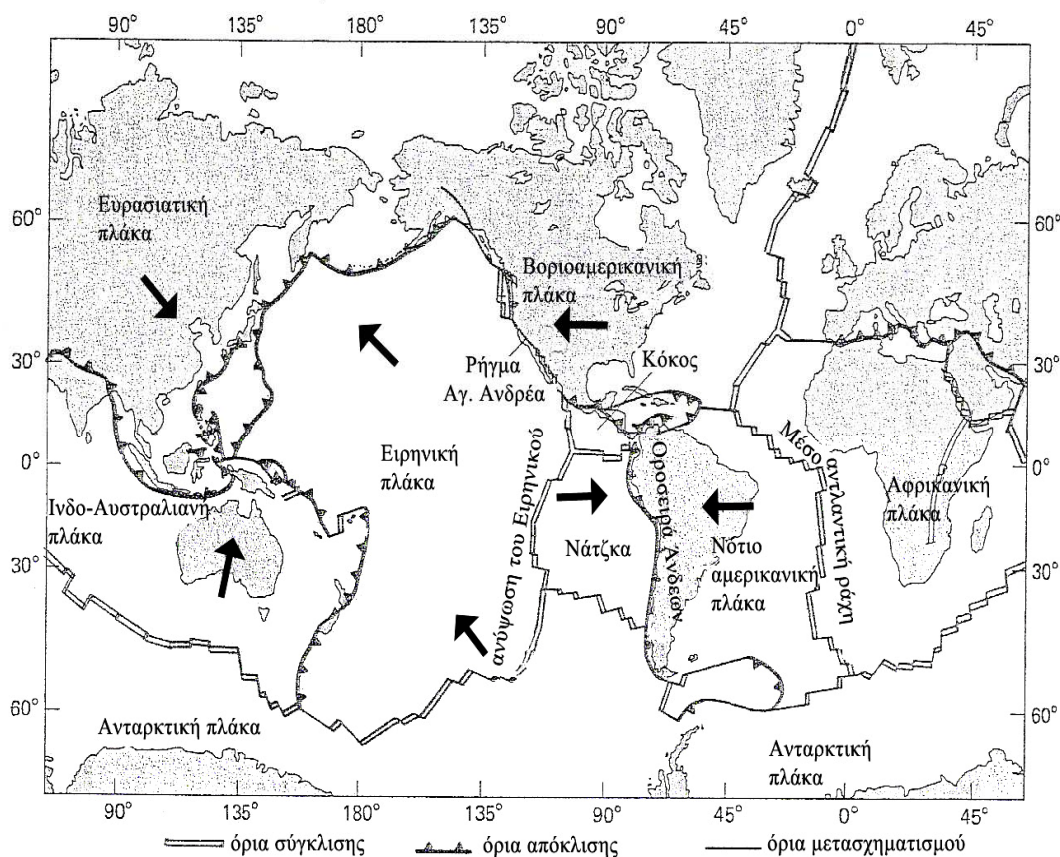
Με την συναρμολόγηση αυτή δημιουργήθηκε η Παγγαία που θεωρούν οι επιστήμονες ότι είναι η μορφή που είχαν οι ήπειροι στο όχι πολύ μακρινό γεωλογικό παρελθόν. Έχει γίνει αποδεκτό, ότι λίγο πριν από 200 εκατομμύρια χρόνια υπήρξε μια ενιαία μεγάλη ήπειρος που ονομάστηκε Παγγαία (*Pangaea*). Οι μεσοωκεάνιες ράχες που διατρέχουν τους ωκεάνιους πυθμένες αποτελούν τα σημάδια της διάρρηξης και διαχωρισμού της Παγγαίας. Αυτά βέβαια δεν είναι το μοναδικό είδος ορίου διαχωρισμού τους γιατί σε άλλες θέσεις συγκρούονται.



Σχ.16 Οι γεωλογικές ομοιότητες ανάμεσα στη Νότιο Αμερική και την Αφρική (Du Toit, 1937).

## 4. ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΠΛΑΚΕΣ

Με όλα τα στοιχεία που αναφέραμε προηγουμένως και μετά από την αμφισβητούμενη θεωρία της μετακίνησης των ηπείρων του Wegener, το 1967 μια νέα θεωρία ήρθε να προστεθεί στις προηγούμενες, αυτή των McKenzie και Parker και ανεξάρτητα προς αυτούς των Morgan και Le Pichon, η θεωρία των **τεκτονικών πλακών**, η οποία υιοθέτησε προηγούμενες ιδέες, όπως αυτές για την ηπειρωτική διάρρηξη και την επέκταση του ωκεάνιου πυθμένα. Η λέξη τεκτονική σημαίνει τη μελέτη των δομικών χαρακτηριστικών του φλοιού και την δημιουργία του. Η γήινη επιφάνεια διαχωρίζεται στις ακόλουθες έξι μεγάλες πλάκες, με τάφρους, ωκεάνιες ράχες, ρήγματα και παλιές και νέες πτυχωσιγενείς οροσειρές (Σχ. 17).



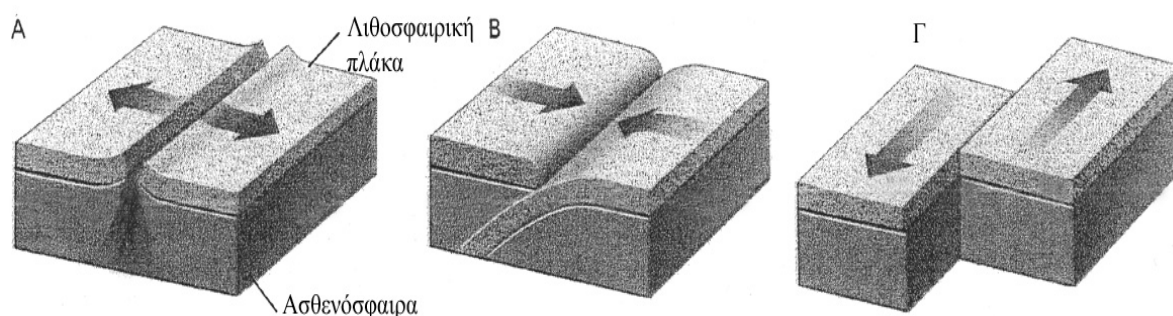
Σχ. 17 Οι λιθοσφαιρικές πλάκες και οι κινήσεις τους.

- 1) Την Ανταρκτική και τον ωκεάνιο πυθμένα που την περιβάλλει.
- 2) Τη βόρειο και νότιο Αμερική μαζί με το πυθμένα του δυτικού Ατλαντικού ωκεανού:
- 3) Την Ινδία με την Αυστραλία και τη Νέα Ζηλανδία:
- 4) Την Ευρασία με τον περιβάλλοντα ωκεάνιο πυθμένα
- 5) Την Αφρική μαζί με τον πυθμένα του ανατολικού Ατλαντικού ωκεανού:

Έχουν αναγνωρισθεί μερικές ακόμη μικρότερες πλάκες στις ειρηνικές ακτές της Αμερικής, στην Καραϊβική, στην περιοχή των Φιλιππίνων και στη Μεσογειακή ζώνη έως την Αραβία.

## 4.1. Κινήσεις και όρια των λιθοσφαιρικών πλακών

Διακρίνονται οι ακόλουθοι διαφορετικοί τύποι ορίων των λιθοσφαιρικών πλακών (Σχ 18).



**Σχ. 18.** Τρεις τύποι ορίων λιθοσφαιρικών πλακών: Α) Απόκλιση. Β) Σύγκλιση. Γ) Παράλληλη μετακίνηση (μετασχηματισμός).

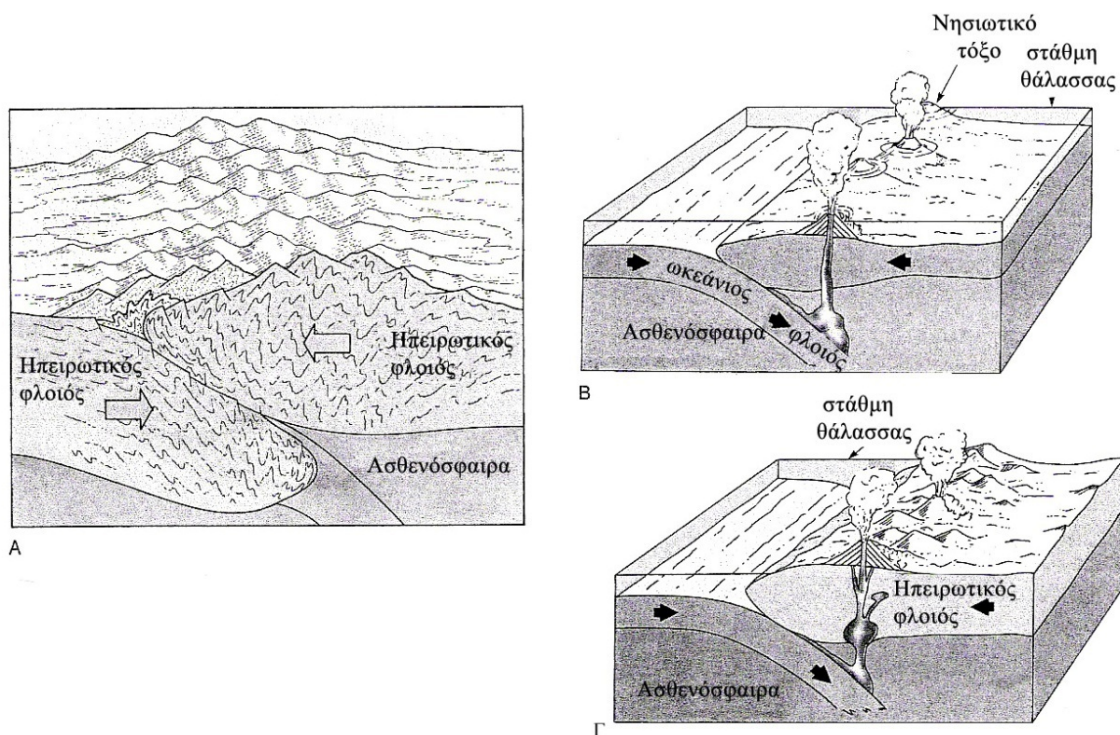
1) Όπου δυο λιθοσφαιρικές πλάκες απομακρύνονται η μια από την άλλη, όπως σε μια μεσοωκεάνια ράχη, δημιουργείται νέα λιθόσφαιρα. Τα όρια αυτά λέγονται όρια απόκλισης ή απομάκρυνσης και προσαύξησης των λιθοσφαιρικών πλακών.

2) Όπου δυο πλάκες κινούνται η μια προς την άλλη και συγκρούονται, είναι τα όρια σύγκλισης. Στα όρια σύγκλισης αυτών των λιθοσφαιρικών πλακών δημιουργείται ωκεάνια τάφρος. Ανάλογα με το είδος των λιθοσφαιρικών πλακών που συγκρούονται δημιουργούνται τα ακόλουθα (Σχ. 19):

- A) Όταν οι δυο λιθοσφαιρικές πλάκες που συγκλίνουν είναι ωκεάνιας σύστασης, τότε μια από τις δύο κάμπτεται και καταβυθίζεται και κάτω από την άλλη και καταστρέφεται.

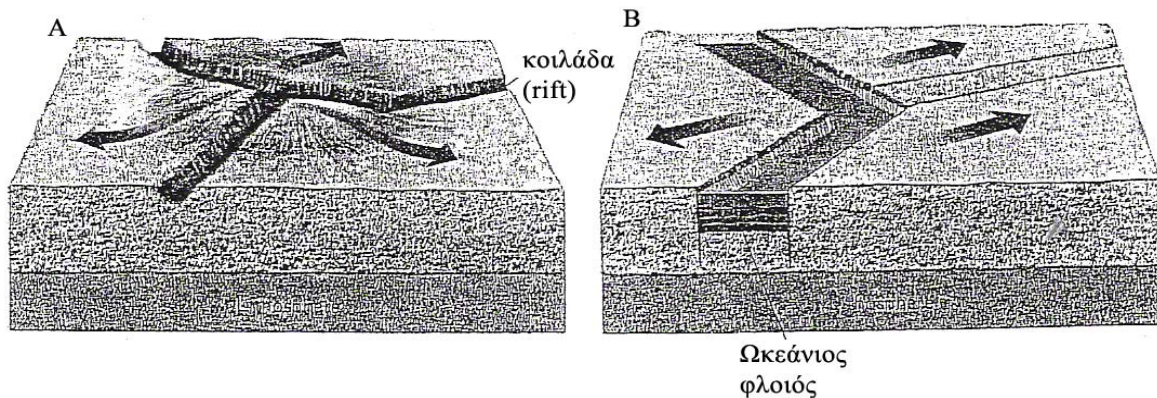
- B) Όταν η μια λιθοσφαιρική πλάκα είναι ωκεάνιας και η άλλη ηπειρωτικής σύστασης, τότε η πρώτη ως βαρύτερη, καταβυθίζεται κάτω από την ηπειρωτική λιθοσφαιρική πλάκα και καταστρέφεται.
- Γ) Όταν δύο πλάκες ηπειρωτικής σύστασης συγκρούονται δεν καταβυθίζεται καμιά, αλλά πτυχώνονται, θραύονται και σταματάει η κίνησή τους. Σύγκρουση δύο ηπειρωτικών λιθοσφαιρικών πλακών έχουμε π.χ. στα Ιμαλάια.

3) Οι λιθοσφαιρικές πλάκες κινούνται παράλληλα μεταξύ τους προς αντίθετες κατευθύνσεις. Τα όρια αυτά καλούνται συντηρητικά περιθώρια και αποτελούν τα όρια των ρηγμάτων μετασχηματισμού, που δημιουργούνται εξαιτίας της παράλληλης μετατόπισης των λιθοσφαιρικών πλακών.



Σχ. 19. Σύγκλιση λιθοσφαιρικών πλακών: Α) Σύγκρουση ηπειρωτικών λιθοσφαιρικών πλακών. Β) Σύγκλιση δύο ωκεάνιων λιθοσφαιρικών πλακών. Γ) Ζώνη υποβύθισης σε σύγκλιση ωκεάνιας-ηπειρωτικής πλάκας.

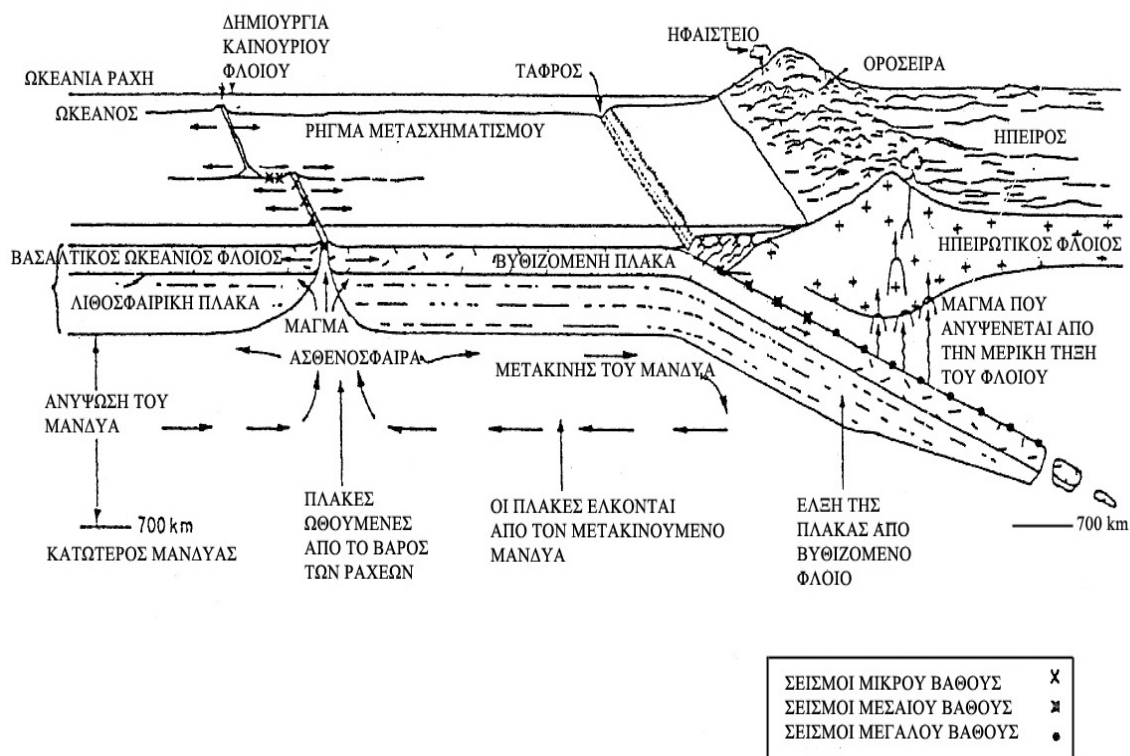
Το σημείο που ενώνονται τρεις λιθοσφαιρικές πλάκες λέγεται **σημείο τριπλής συμβολής** (Σχ.20). Σε τέτοια σημεία μπορεί να γίνονται κινήσεις μετασχηματισμού, απόκλιση, σύγκλιση ή καταβύθιση, ή οποιοσδήποτε συνδυασμός κινήσεων. Στα σημεία αυτά γίνονται οι πολύ μεγάλες αλλαγές στη διεύθυνση κίνησης των πλακών και δημιουργούνται τα ρήγματα μετασχηματισμού στις μεσοωκεάνιες ράχες.



Σχ.20. Ζώνη διάνοιξης σημείου τριπλής συμβολής.

## 4.2. Διεργασίες στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών

Στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών συμβαίνουν διάφορες διεργασίες, ανάλογα με το είδος των σχετικών κινήσεων των πλακών και τη σύσταση του ακραίου τμήματος κάθε πλάκας, εάν δηλαδή αποτελείται από ωκεάνια ή ηπειρωτική λιθόσφαιρα



Σχ. 21. Σύγκλιση και απόκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών.

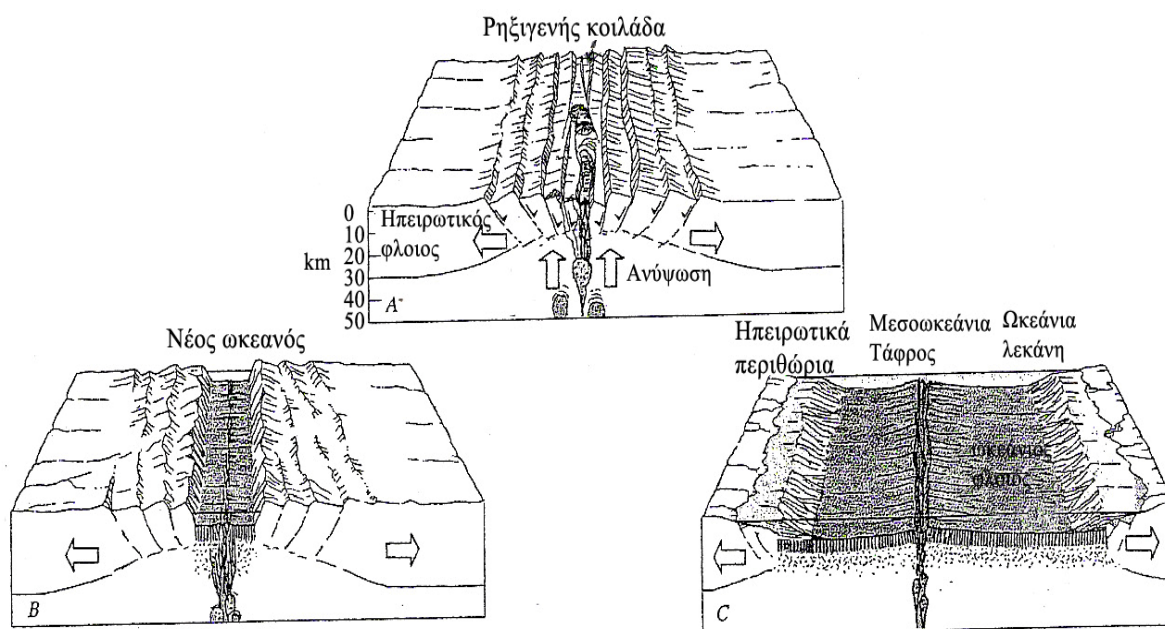


### 4.2.1. Απόκλιση των λιθосφαιρικών πλακών και τα γεωδυναμικά

#### φαινόμενα που τις συνοδεύουν.

Ο άξονας των ενεργών μεσοωκεάνιων ράχων αποτελεί το όριο των πλακών που αποκλίνουν και αντιστοιχεί σε μια στενή ζώνη. Μέσα από τη ρωγμή ανέρχεται μάγμα από την ασθενόσφαιρα, και δημιουργείται νέα λιθόσφαιρα (Σχ. 22).

Στις μεσοωκεάνιες ράχες εκδηλώνεται έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα, που συμβάλλει έτσι στη απομάκρυνση των κορυφογραμμών. Η απομάκρυνση των λιθосφαιρικών πλακών προκαλεί σεισμούς μικρού βάθους, που οφείλονται σε εφελκυστικές τάσεις κατά μήκος αυτών των κορυφογραμμών. Η νέα λιθόσφαιρα που παράγεται στην κοιλάδα των ενεργών ράχων βρίσκεται σε βάθος 2.500 m, ενώ η παλιότερη λιθόσφαιρα που καλύπτει τις αβυσσικές πεδιάδες βρίσκεται σε ένα μέσο βάθος 5.000 m, χωρίς να μεσολαβεί κανένα τεκτονικό φαινόμενο. Η εξήγηση σ' αυτό πρέπει να αποδοθεί στη διαφορά πυκνότητας των πετρωμάτων του θαλάσσιου πυθμένα εξαιτίας της διαφορετικής θερμοκρασίας. Η νέα λιθόσφαιρα που βγαίνει από την ασθενόσφαιρα και είναι πολύ πιο θερμή από την παλιότερη, που αποτελεί των πυθμένα των αβυσσικών πεδιάδων. Δηλαδή η προοδευτική βύθιση εκατέρωθεν της ράχης οφείλεται στην πτώση της θερμοκρασίας και την αποκατάσταση της θερμικής ισορροπίας. Η μορφολογία των ωκεάνιων πυθμένων εξαρτάται από την ταχύτητα απομάκρυνσης των λιθосφαιρικών πλακών.



Σχ. 22. Στα σχήματα φαίνεται η διάρρηξη της λιθόσφαιρας και η δημιουργία νέας με την άνοδο μάγματος.

Διάρρηξη παθαίνουν επίσης και οι ήπειροι και τα τμήματα που δημιουργούνται απομακρύνονται το ένα από το άλλο. Αυτό είναι λιγότερο κοινό, ίσως επειδή η ηπειρωτική λιθόσφαιρα είναι πολύ παχύτερη από την ωκεάνια. Στα αρχικά στάδια της διάρρηξης των ηπείρων, ο ηπειρωτικός φλοιός γίνεται λεπτότερος, τα ηφαίστεια παθαίνουν εκρήξεις κατά μήκος της ρωγμής, με ανάβλυση βασαλτικής λάβας που ξεχύνεται μέσα από τις σχισμές πάνω στην ήπειρο, και ο ηπειρωτικός φλοιός εμπλουτίζεται από μανδυακής προέλευσης διεισδύσεις και εκχύσεις. Οι ηπειρωτικές τεκτονικές τάφροι σχηματίζονται από ένα πολύπλοκο δίκτυο κανονικών ρηγμάτων με διεύθυνση παράλληλη προς τον άξονα της τάφρου. Εάν η διάρρηξη συνεχιστεί, μια νέα ωκεάνια λεκάνη θα διαμορφωθεί τελικά μεταξύ των κομματιών της ηπείρου. Οι τάφροι αποτελούν ζώνες στις οποίες επικρατεί εφελκυστισμός. Οι ηπειρωτικές τάφροι παύουν να είναι ενεργές όταν δεν δίνουν γένεση σε ωκεανό.

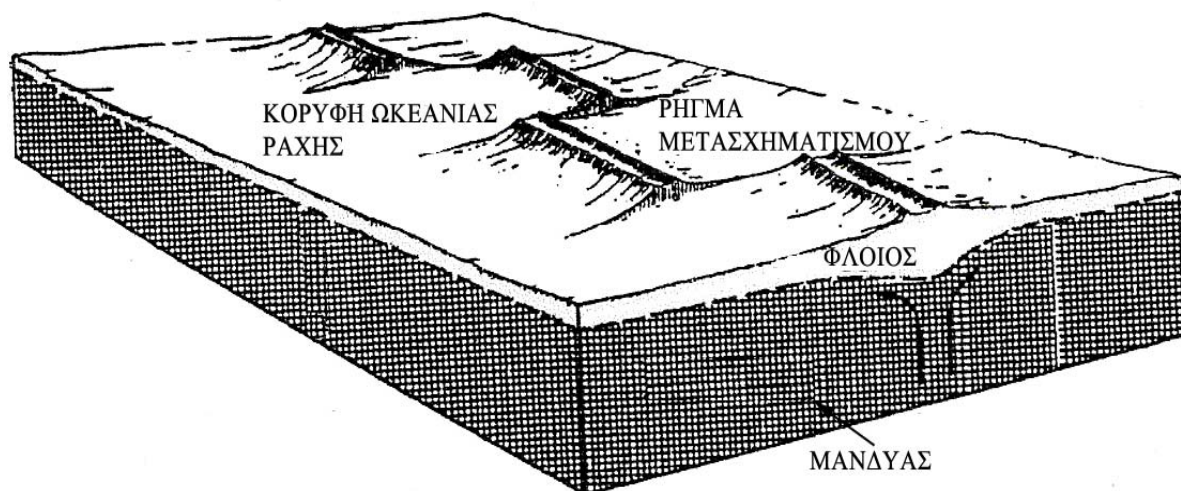
Οι γεωλόγοι θεωρούν ότι στην Ανατολική Αφρική, στην περιοχή της Τανγκανίκα, έχουμε τη δημιουργία ηπειρωτικής τάφρου, όπου το ανατολικότατο μέρος της ηπείρου διαχωρίζεται και στο σημείο διαχωρισμού σχηματίζεται ένας ωκεανός.

Ένα σταθερό περιθώριο μπορεί να μετασχηματιστεί σε ενεργό σε οποιοδήποτε στάδιο εξέλιξης του ωκεανού. Η ψύξη του ωκεάνιου φλοιού, προκαλεί αύξηση της πυκνότητάς του, στην οποία οφείλεται η καταβύθιση η οποία επιφέρει επίσης και αύξηση του βάθους της θάλασσας. Η ψυχρή αυτή λιθόσφαιρα είναι βαρύτερη της ασθενόσφαιρας και έχει την τάση λόγω του βάρους της να καταδυθεί μέσα σ' αυτή. Έτσι θεωρητικά μπορεί να γίνει αποχωρισμός της ηπειρωτικής από την ωκεάνια λιθόσφαιρα και η ωκεάνια να βυθιστεί κάτω από την ηπειρωτική, με αποτέλεσμα ένα παλιό σταθερό περιθώριο να μετασχηματιστεί σε ενεργό.

#### **4.2.2. Ρήγματα μετασχηματισμού και τα γεωδυναμικά φαινόμενα που τα συνοδεύουν**

Η πραγματική δομή μιας μεσοωκεάνιας ράχης είναι πολύ πιο σύνθετη από μια ενιαία ευθεία ρωγμή. Εάν εξετάσουμε από κοντά μια μεσοωκεάνια ράχη διαπιστώνουμε ένα πλήθος από συνεχείς ρωγμές σε μήκος πολλών χιλιομέτρων. Οι κορυφογραμμές αποτελούνται από πολλά μικρά τμήματα, που δεν βρίσκονται στην ίδια ευθεία, αλλά έχουν μετακινηθεί ελαφρά μεταξύ τους. Τα σπασίματα αυτά της λιθόσφαιρας είναι γνωστά ως **ρήγματα μετασχηματισμού** (Σχ. 23). Οι αντίθετες πλευρές ενός ρήγματος μετασχηματισμού ανήκουν σε δύο διαφορετικές λιθοσφαιρικές πλάκες, που κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις. Εκατέρωθεν των ρηγμάτων μετασχηματισμού δημιουργούνται τα **συντηρητικά περιθώρια**. Με την παράλληλη κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών, αυτές τρίβονται μεταξύ τους και

προκαλούνται σεισμοί κατά μήκος των ρηγμάτων μετασχηματισμού, που οφείλονται στην κίνηση του γήινου φλοιού. Όταν τα τεκτονικά τεμάχια αποχωρίζονται, η κίνησή τους γίνεται κάθετα προς τους πόλους περιστροφής. Αυτοί οι πόλοι δεν σχετίζονται με τους γεωγραφικούς ή μαγνητικούς πόλους, αλλά αποτελούν το σημείο που καταλήγουν οι ζώνες θραύσης κατά τη διεύθυνση των μεσημβρινών. Καθώς τα επιμήκη αυτά ρήγματα διευρύνονται, η κίνηση είναι μεγαλύτερη κοντά στον ισημερινό και μικρότερη κοντά στους πόλους, με αποτέλεσμα ο φλοιός της σφαίρας να σπάσει σε παράλληλες ζώνες οι οποίες μετακινούνται με ελαφρά διαφορετικό ρυθμό η μια από την άλλη.



Σχ. 23. Ρήγματα μετασχηματισμού που προκαλούν μετακινήσεις στις μεσοωκεάνιες ράχες.

Το γνωστό ρήγμα του Αγίου Ανδρέα στην Καλιφόρνια αποτελεί παράδειγμα ρήγματος μετασχηματισμού στο σημείο τριπλής συμβολής, δηλαδή στο σημείο που διαχωρίζονται τρεις ήπειροι. Το ανατολικό τέμαχος του ρήγματος, που περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της Βόρειας Αμερικής, ανήκει στη βορειοαμερικανική πλάκα και κινείται με αυτήν, ενώ μια λεπτή λουρίδα της Καλιφόρνιας από τη δυτική πλευρά του ρήγματος του Αγίου Ανδρέα, ανήκει στην ειρηνική πλάκα και κινείται προς τα βορειοδυτικά.

#### 4.2.3. Σύγκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών και τα γεωδυναμικά φαινόμενα που τις συνοδεύουν

Στα όρια σύγκλισης των λιθοσφαιρικών πλακών, οι πλάκες κινούνται η μια προς την άλλη και οι κινήσεις οφείλονται σε επωθητικές τάσεις. Η ενέργεια που απελευθερώνεται στη ζώνη σύγκλισης (ενεργά ηπειρωτικά περιθώρια) είναι πολύ μεγαλύτερη αυτής που

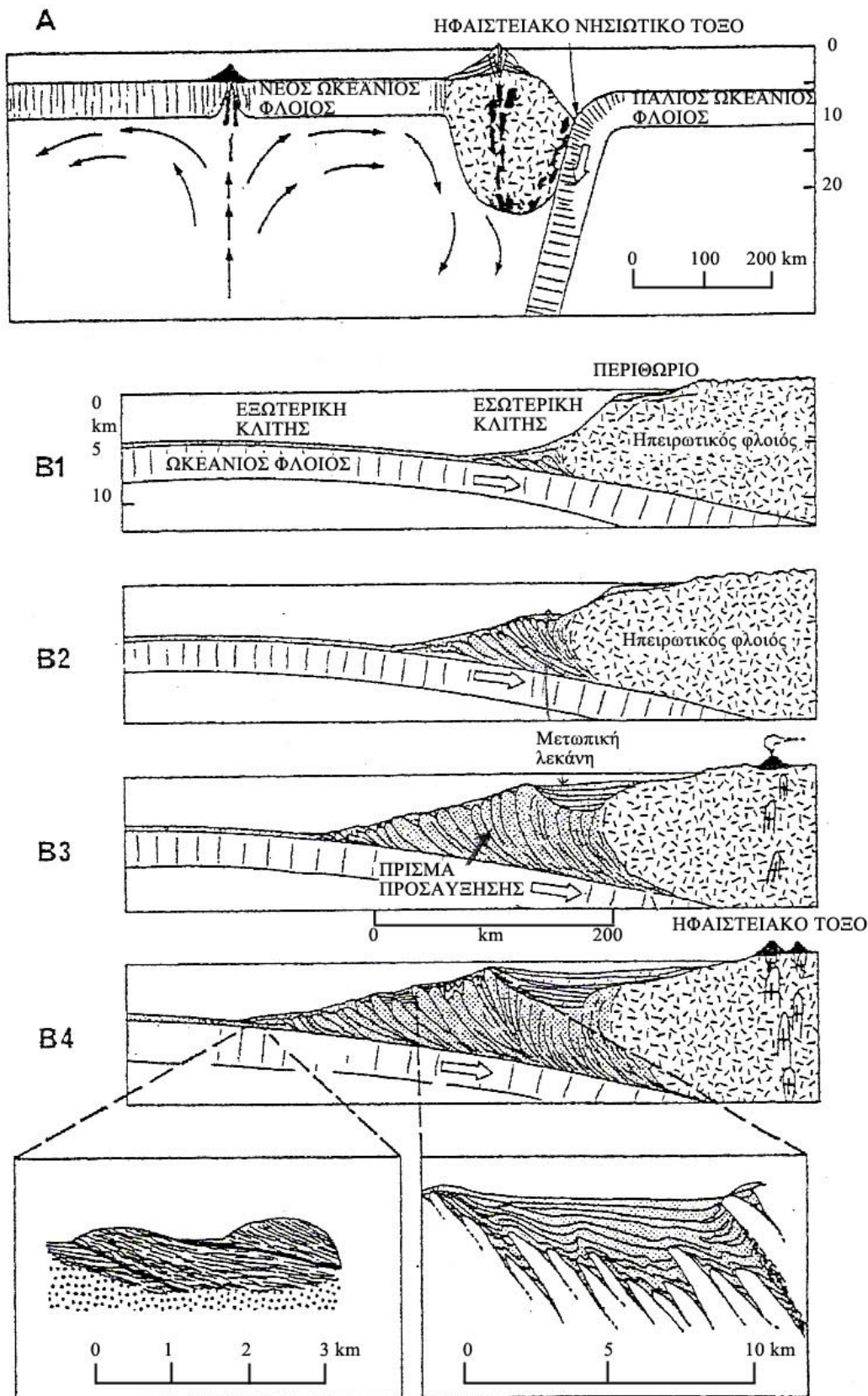
απελευθερώνεται κατά την απόκλιση. Τι ακριβώς συμβαίνει κατά τη σύγκλιση εξαρτάται από το είδος της λιθόσφαιρας που αποτελεί την άκρη κάθε πλάκας. Συχνότερα, η άκρη της μιας από τις συγκλίνουσες λιθосφαιρικές πλάκες αποτελείται από ωκεάνια λιθόσφαιρα. Όταν συγκρουσθούν δυο ωκεάνιες λιθосφαιρικές πλάκες, τότε η μια από τις δύο κάμπτεται και εισχωρεί βαθιά μέσα στην ασθενόσφαιρα, κάτω από την άλλη πλάκα. Στην επιφάνεια της σφαιράς τα όρια των πλακών που συγκλίνουν σχηματίζουν τόξο με το κοίλο μέρος προς την πλευρά της επιππεύουσας πλάκας (Σχ. 24). Η κάμψη και καταβύθιση της λιθосφαιρικής πλάκας δημιουργεί τη **ζώνη καταβύθισης** (subduction zone). Το σημείο σύγκρουσης των λιθосφαιρικών πλακών είναι μια βαθιά **ωκεάνια τάφρος ή αύλακα** (Σχ. 24Α).

Όπου έχουμε σύγκρουση δύο ωκεάνιων λιθосφαιρικών πλακών, πίσω από την τάφρο δημιουργείται ένα **νησιωτικό τόξο**. Πίσω από το νησιωτικό τόξο δημιουργείται μια λεκάνη που αποτελεί χώρο ιζηματογένεσης. Όπου έχουμε σύγκρουση μιας ηπειρωτικής με μια ωκεάνια πλάκα, η ωκεάνια βυθίζεται κάτω από την ηπειρωτική στη οποία δημιουργείται μια οροσειρά πάνω από τη ζώνη καταβύθισης, όπως για παράδειγμα οι Άνδεις στις ακτές της Νότιας Αμερικής.

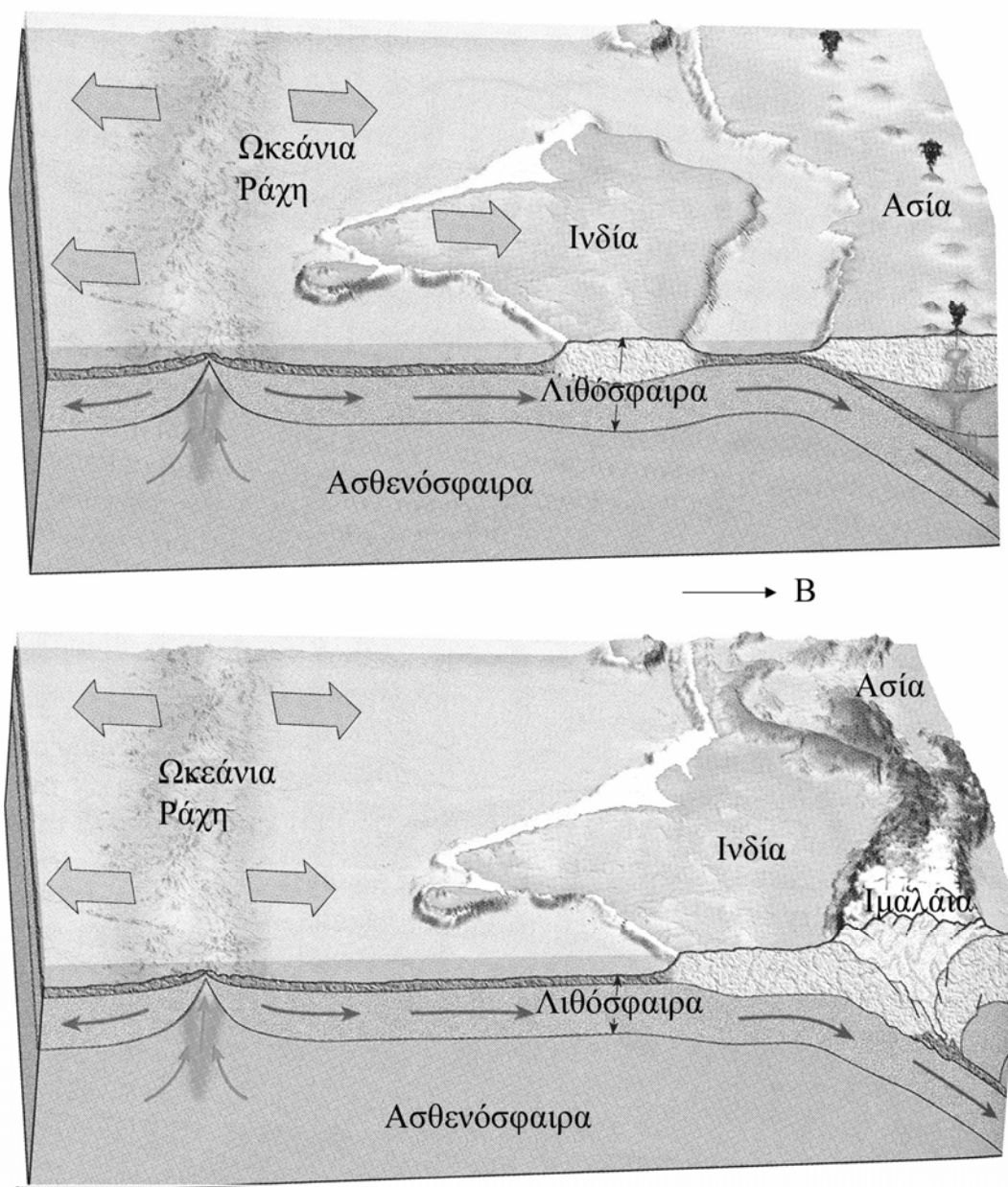
Τα όρια μεταξύ της βυθιζόμενης πλάκας με μια επιππεύουσα που έχει επάνω της μια ήπειρο, αποτελούν τα «**ενεργά ηπειρωτικά περιθώρια**» (όπως στη Ν. Αμερική - ανατολικό τμήμα Ειρηνικού), ενώ τα όρια μεταξύ νησιωτικής ζώνης και περιθωριακής λεκάνης με ωκεάνιο υπόστρωμα, αποτελούν τα «**ενεργά νησιωτικά τόξα**».

Στα ωκεάνια νησιωτικά τόξα η κλίση της ζώνης καταβύθισης είναι μεγάλη ( $70^{\circ}$ - $50^{\circ}$ ), ενώ στα ενεργά ηπειρωτικά περιθώρια είναι μικρότερη ( $50^{\circ}$ - $30^{\circ}$ ). Οι ζώνες αυτές ονομάζονται **B καταβυθίσεις** από το αρχικό γράμμα του ερευνητή Benniof.

Καταβυθίσεις με μικρές κλίσεις ( $5^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ) παρατηρούνται στο εσωτερικό της Ασιατικής ηπείρου και διευθύνεται παράλληλα προς την οροσειρά των Άλπεων-Ζάγκρου-Ιμαλαΐων, ονομάστηκαν **A-καταβυθίσεις**, από το αρχικό γράμμα του γεωλόγου Ampferer. Η σύγκλιση δύο λιθосφαιρικών πλακών με ηπειρωτικό φλοιό λέγεται **σύγκρουση**, η οποία διεθνώς ονομάζεται “**collision**”. Στην περίπτωση που η βυθιζόμενη πλάκα είναι μικτή, έχει δηλαδή ηπειρωτικό και ωκεάνιο φλοιό, η σύγκλιση των δύο λιθосφαιρικών πλακών σταματάει, όταν το κομμάτι της λιθосφαιρικής πλάκας που αποτελείται από ηπειρωτικό φλοιό φθάνει στο επίπεδο της ωκεάνιας τάφρου που γίνεται η βύθιση και δημιουργείται «σύγκρουση» των ηπειρωτικών φλοιών, με αποτέλεσμα την έντονη πτύχωση και παραμόρφωση των ηπειρωτικών περιθωρίων και τη δημιουργία της δομής των πτυχωμένων οροσειρών. (Σχ. 25).



Σχ. 24: Α) Νησιωτικό τόξο με μεγάλη γωνία καταβύθισης και διάνοιξη στην ενεργό περιθωριακή λεκάνη. Β1) Σύγκρουση ηπειρωτικής με ωκεάνια λιθόσφαιρα. Στο μέτωπο της ηπειρωτικής λιθόσφαιρας δημιουργείται το πρίσμα προσαύξεσης.



Σχ. 25. Στη σχηματική τομή φαίνονται τα διαδοχικά στάδια που οδηγούν στη σύγκρουση δύο ηπειρωτικές λιθοσφαιρικές πλάκες και τα συνωδά τεκτονικά φαινόμενα.

Κατά τη σύγκρουση δυο ηπειρωτικών λιθοσφαιρικών πλακών, οι δύο ηπειρωτικές λιθοσφαιρικές πλάκες ενώνονται, πτυχώνονται και παραμορφώνονται. Σε κάποια στιγμή μπορεί να βυθιστεί μερικώς μια από τις δυο λιθοσφαιρικές πλάκες στο μανδύα, αλλά εξαιτίας της πυκνότητας της ηπειρωτικής λιθόσφαιρας δεν είναι δυνατόν καμιά από τις δύο να εισχωρήσει βαθιά στο μανδύα και η κίνηση σταματάει λόγω του πολύ μεγάλου πάχους της ηπειρωτικής λιθόσφαιρας. Η διαδικασία σύγκρουσης δύο ηπειρωτικών λιθοσφαιρικών πλακών δημιουργεί την **ορογένεση**.

Οι σεισμοί είναι συχνοί κατά τη διάρκεια της ενεργού σύγκρουσης συνεπεία των μεγάλων πιέσεων που ασκούνται. Το τεράστιο ύψος των βουνών των Ιμαλαίων αποδίδεται ακριβώς σε αυτό το είδος της σύγκρουσης μεταξύ δύο ηπειρωτικών φλοιών.

Η Ινδία δεν ήταν πάντα μέρος της ασιατικής ηπείρου. Τα παλαιομαγνητικά στοιχεία δείχνουν ότι παρασύρθηκε και κινήθηκε προς βορά κατά τη διάρκεια δεκάδων εκατομμυρίων ετών και τελικά συγκρούστηκε και προσκολλήθηκε στην Ασία. Τα Ιμαλάια ενισχύθηκαν σε αυτήν την σύγκρουση. Πριν από τα Ιμαλάια και συγκεκριμένα πριν από τον διαμελισμό της Παγγαίας και άλλα βουνά είχαν δημιουργηθεί με τον ίδια διαδικασία, όπως αυτά της Αφρικής και της Βόρειας Αμερικής αλλά και πολλές σημαντικές οροσειρές αντιπροσωπεύουν παγκοσμίως περιοχές συνεχούς σύγκλισης πλακών στο παρελθόν.

Με την απόκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών, όπως αναφέραμε, δημιουργείται συνεχώς νέα ωκεάνια λιθόσφαιρα. Μια ίση λοιπόν ποσότητα λιθόσφαιρας πρέπει να καταστρέφεται σε κάποιο σημείο, γιατί διαφορετικά η γη θα μεγάλωνε. Αυτή η παραπάνω ωκεάνια λιθόσφαιρα καταστρέφεται στις ζώνες καταβύθισης, όπου η βυθιζόμενη λιθοσφαιρική πλάκα θερμαίνεται στην καυτή ασθενόσφαιρα και λειώνει. Στις ωκεάνιες ράχες δημιουργείται συνεχώς λιθόσφαιρα και αυξάνει το πλάτος του θαλάσσιου πυθμένα, ενώ συγχρόνως στις ζώνες καταβύθισης μια ίση ποσότητα λιθόσφαιρας καταστρέφεται. Αυτή η ανακύκλωση εξηγεί το λόγο που έχουν διαπιστωθεί ωκεάνιοι βασάλτες πολύ παλιάς ηλικίας πάνω σε ηπειρωτική λιθόσφαιρα αλλά έχουν διατηρηθεί μόνο σπάνια υπολείμματα ωκεάνιας λιθόσφαιρας, που επωθήθηκαν κατά τη διάρκεια της σύγκλισης. Σε μια ζώνη σύγκλισης, πολύ συχνά, έχουν διατηρηθεί πολύ παλιά ηπειρωτικά πετρώματα, ενώ η ωκεάνια λιθόσφαιρα έχει καταβυθιστεί και καταστραφεί, γιατί όπως εξηγήσαμε οι ήπειροι επιπλέον και δεν καταστρέφονται τόσο εύκολα. Όλες οι ήπειροι μετακινούνται με τις λιθοσφαιρικές πλάκες και αργά ή γρήγορα φθάνουν αναπόφευκτα σε ένα συγκλίνον όριο, όπου καταστρέφεται η ωκεάνια λιθόσφαιρα (Σχ. 25).

Οι ζώνες καταβύθισης είναι, γεωλογικά πολύ ενεργές. Τα ιζήματα που διαβρώνονται από τις ηπείρους συσσωρεύονται στην τάφρο, και μερικά από αυτά μεταφέρονται στην ασθενόσφαιρα με τη βυθιζόμενη λιθόσφαιρα. Τα ηφαίστεια δημιουργούνται στην επιφάνεια πάνω από το σημείο που λειώνει η βυθιζόμενη πλάκα και το μάγμα διαπερνά την πλάκα που επιπνέει. Σε μια σύγκλιση δύο ωκεάνιων λιθοσφαιρικών πλακών το αποτέλεσμα είναι συνήθως μια γραμμή ηφαιστειακών νησιών, ένα νησιωτικό ηφαιστειακό τόξο. Οι μεγάλες πιέσεις που περιλαμβάνονται στη διαδικασία σύγκλιση προκαλούν πολυάριθμους σεισμούς.

Ο όγκος των βουνών που **δημιουργούνται**, και η συνοδεύουσα ηφαιστειακή και σεισμική δραστηριότητα συσχετίζονται με τις ζώνες καταβύθισης. Οι περιοχές της υδρογείου

που βρίσκονται κοντά ή πάνω από τις σύγχρονες ζώνες καταβύθισης και επομένως είναι επιρρεπής σε ηφαιστειακή και σεισμική δραστηριότητα, περιλαμβάνουν την περιοχή των Άνδεων της Νότιας Αμερικής, τη δυτική Κεντρική Αμερική, τμήμα του βορειοδυτικού Καναδά, τα Αλεούτια νησιά, την Κίνα, την Ιαπωνία, και ένα μεγάλο μέρος της περιπειρηνικής ωκεάνιας λεκάνης.

Οι σεισμοί που δημιουργούνται κατά τη σύγκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών, αναλόγως του βάθους της σεισμικής εστίας, διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- 1) **αβαθείς** των οποίων οι εστίες βρίσκονται στα ανώτερα 50 km του φλοιού,
- 2) **ενδιάμεσου βάθους**, των οποίων οι εστίες βρίσκονται σε βάθος από 50-250 km και
- 3) **μεγάλου βάθους**, των οποίων οι εστίες βρίσκονται σε βάθος από 250 km έως 650-700 km. Κάτω από το βάθος αυτό τα πετρώματα είναι σε πλαστική κατάσταση και δεν διαρρηγνύονται με τις δονήσεις.

Κατά τη σύγκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών ανάλογα, με τη φύση τους, δημιουργούνται τα ακόλουθα:

- 1) Κατά τη σύγκλιση δύο ωκεάνιων λιθοσφαιρικών πλακών σχηματίζεται πάνω από τη βυθιζόμενη λιθοσφαιρική πλάκα ένα ηφαιστειακό τόξο, όπως στα Αλεούτια νησιά και γύρω από τις δυτικές ακτές του Ειρηνικού.
- 2) Κατά τη σύγκλιση Ωκεάνιας και ηπειρωτικής λιθοσφαιρικής πλάκας:
  - A) δημιουργείται μια οροσειρά πάνω από την βυθιζόμενη ωκεάνια πλάκα, όπως στις Άνδεις.
  - B) Σε λίγες περιπτώσεις, όπως στην Κύπρο, ένα κομμάτι ωκεάνιας πλάκας επιπλεύει πάνω στην ηπειρωτική λιθοσφαιρική πλάκα, ενώ το μεγαλύτερο μέρος της ωκεάνιας βυθίζεται.
- 3) Κατά τη σύγκρουση δύο ηπειρωτικών λιθοσφαιρικών πλακών τα ιζήματα πτυχώνονται και διαρρηγνύονται και δημιουργούν βουνά, όπως τα Ιμαλάια.



Τύποι ορίων	Τύποι λιθοσφαιρικών πλακών	Τοπογραφία	Γεωλογικά φαινόμενα
Απόκλιση	Ωκεάνια-Ωκεάνια	Μεσοωκεάνια ράχη	Διάνοιξη ωκεάνιου πυθμένα, αβαθείς σεισμοί, άνοδος μάγματος, ηφαίστεια.
	Ηπειρωτική-Ηπειρωτική	Ρηξιγενής κοιλάδα	Απομάκρυνση των ηπείρων, Σεισμοί, άνοδος μάγματος, ηφαίστεια
Σύγκλιση	Ωκεάνια-Ωκεάνια	Νησιωτικά τόξα Ωκεάνιες τάφροι	Υποβύθιση, σεισμοί βάθους, άνοδος μάγματος, ηφαίστεια, παραμόρφωση πετρωμάτων
	Ωκεάνια-Ηπειρωτική	Όρη και ωκεάνιες τάφροι	Υποβύθιση, σεισμοί βάθους, άνοδος μάγματος, ηφαίστεια, παραμόρφωση πετρωμάτων
	Ηπειρωτική-Ηπειρωτική	Όρη	Σεισμοί βάθους, παραμόρφωση πετρωμάτων
Μετασχηματισμός	Ωκεάνια-Ωκεάνια	Μεγάλη ανύψωση Μεσοωκεάνιας Ράχης	Σεισμοί
	Ηπειρωτική-Ηπειρωτική	Μικρός μετασχηματισμός οροσειρών	Σεισμοί, παραμόρφωση πετρωμάτων

### 4.3. Ταχύτητα κίνησης των πλακών.

Εξετάζοντας τη μετακίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών διαπιστώνεται ότι η ταχύτητα κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών δεν είναι η ίδια παντού. Διαπιστώθηκε ότι η μέση ταχύτητα κίνησης των πλακών είναι 2-3 cm/έτος, ενώ έχει μετρηθεί σε μερικές

περιπτώσεις μετακίνηση 10-11 cm/έτος. Αυτή η φαινομενικά μικρή κίνηση είναι τεράστια αν λάβει κανείς υπόψη του το γεωλογικό χρόνο. Η μετακίνηση 2 cm/έτος για 100 εκατομμύρια χρόνια σημαίνει μια μετατόπιση 2.000 Km (Σχ.26).

Η μετακίνηση των πλακών παρουσιάζει πολλές φορές και συστροφή γύρω από έναν άξονα αλλάζοντας τον προσανατολισμό τους. Για παράδειγμα κατά τη διάρκεια των τελευταίων 25 εκατομμύριο ετών, η ειρηνική λιθοσφαιρική πλάκα κινείται με ταχύτητα περίπου 11cm/έτος. Από τον προσανατολισμό της ηφαιστειακής αλυσίδας φαίνεται αλλαγή στην κατεύθυνση μετακίνησης της πλάκας προς τα δυτικά-βορειοδυτικά. Αυτή η συστροφή

στην ηφαιστειακή αλυσίδα, έγινε πριν 40 εκατομμύρια χρόνια περίπου, και δείχνει ότι η κατεύθυνση μετακίνησης της ειρηνικής πλάκας άλλαξε κατά την περίοδο εκείνη.



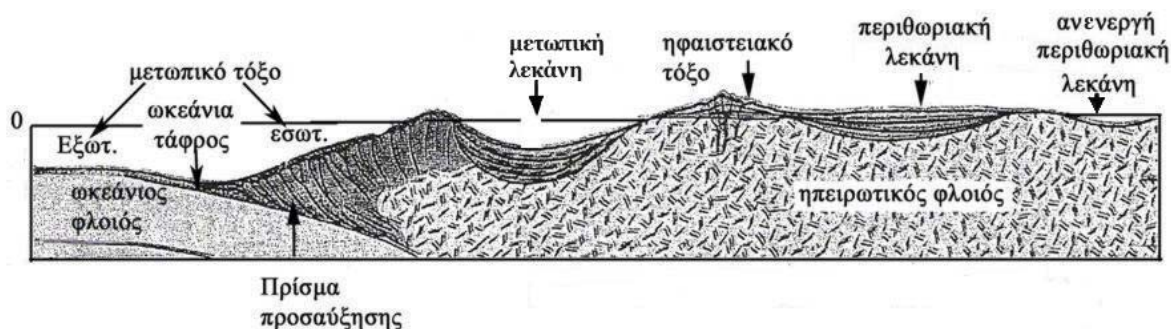
Σχ. 26. Διεύθυνση και ταχύτητα κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών σε cm/το χρόνο. Με το γράμμα L είναι οι σημερινές ταχύτητες, ενώ με το γράμμα M αυτές που συνάγονται από τις μαγνητικές ανωμαλίες.

#### 4.3.1. Φυσιογραφικά χαρακτηριστικά ωκεάνιων τόξων και ενεργών περιθωρίων

Σε μια τομή κάθετη προς ένα νησιωτικό τόξο και ένα ενεργό περιθώριο, παρατηρούνται τα ακόλουθα (Σχ.27): Το όριο σύγκλισης των λιθοσφαιρικών πλακών αποτελεί τον **άξονα της ωκεάνιας τάφρου**. Στο σημείο αυτό παρατηρούνται τα μεγαλύτερα βάθη των ωκεανών (π.χ. τάφος των Μαριάννων νήσων με βάθος 11km). Λόγω της κάμψης των λιθοσφαιρικών πλακών, οι πλευρές της τάφρου παρουσιάζουν καμπυλότητα. Η πλευρά της τάφρου που βρίσκεται προς τη βυθιζόμενη πλάκα είναι η **εξωτερική πλευρά της ωκεάνιας τάφρου** και έχει μικρή κλίση ( $2-5^\circ$ ), ενώ η απέναντί της είναι η **εσωτερική πλευρά της τάφρου** και έχει κλίσεις  $10-20^\circ$ . Στην εσωτερική πλευρά της τάφρου αποτίθενται ιζήματα που παραμορφώνονται συνήθως κατά την καταβύθιση της ωκεάνιας πλάκας και δημιουργείται το **πρίσμα προσαύξησης**, το οποίο αναπτύσσεται και αναδύεται τοπικά δημιουργώντας πίσω απ' αυτό μια λεκάνη που χαρακτηρίζεται ως **μετωπική λεκάνη**. Μέσα στη λεκάνη αυτή

αποτίθενται ιζήματα που προέρχονται από το ηφαιστειακό τόξο που βρίσκεται πίσω από τη λεκάνη αυτή και τα οποία δεν έχουν υποστεί παραμόρφωση.

Το ηφαιστειακό τόξο, αποτελεί ένα «**μετωπικό τόξο**» χωρίς σύγχρονη ηφαιστειότητα και μια ηφαιστειακή οροσειρά με ενεργά ηφαίστεια. Πίσω απ' αυτό υπάρχει η **περιθωριακή λεκάνη**. Οι περιθωριακές λεκάνες είτε συνδυάζονται με σεισμούς, όπως αυτή του νότιο-Αιγαϊακού χώρου που χαρακτηρίζονται ως ενεργές, είτε είναι ασεισμικές και χαρακτηρίζονται ως ανενεργές.



Σχ. 27. Στην τομή διακρίνονται τα κύρια φυσιογραφικά χαρακτηριστικά νησιωτικού τόξου.

### 4.3.2. Ορογενές

Ως ορογενές χαρακτηρίζεται η συνολική μάζα των πετρωμάτων που έχουν παραμορφωθεί κατά τη διάρκεια της ορογένεσης. Οι οροσειρές σχηματίζονται κατά την σύγκρουση των λιθοσφαιρικών πλακών και έχουν υποστεί έντονη παραμόρφωση, μεταμόρφωση, μαγματισμό και τελικά ισοστατική ανύψωση. Το ορογενές σχηματίζεται με τεκτονικές διαδικασίες που διαρκούν σχετικά μικρό χρονικό διάστημα που διαρκεί λίγες χιλιάδες χρόνια. Τα ορογενή αποτελούν τις πιο πολύπλοκες τεκτονικές δομές γιατί αποτελούν το τελικό στάδιο σύγκρουσης λιθοσφαιρικών πλακών που μπορεί να έχουν μεγάλη προϊστορία ή και να περιλαμβάνονται και άλλες μικροπλάκες. Αυτό που είναι αδιαμφισβήτητο είναι ότι ένα ορογενές πρέπει να θεωρείται ως αποτέλεσμα αρκετών ορογενέσεων ή σύνολο πολλών ορογενέσεων μεγάλης χρονικής διάρκειας που τερματίζεται με την ανύψωση μιας ορεινής μάζας.

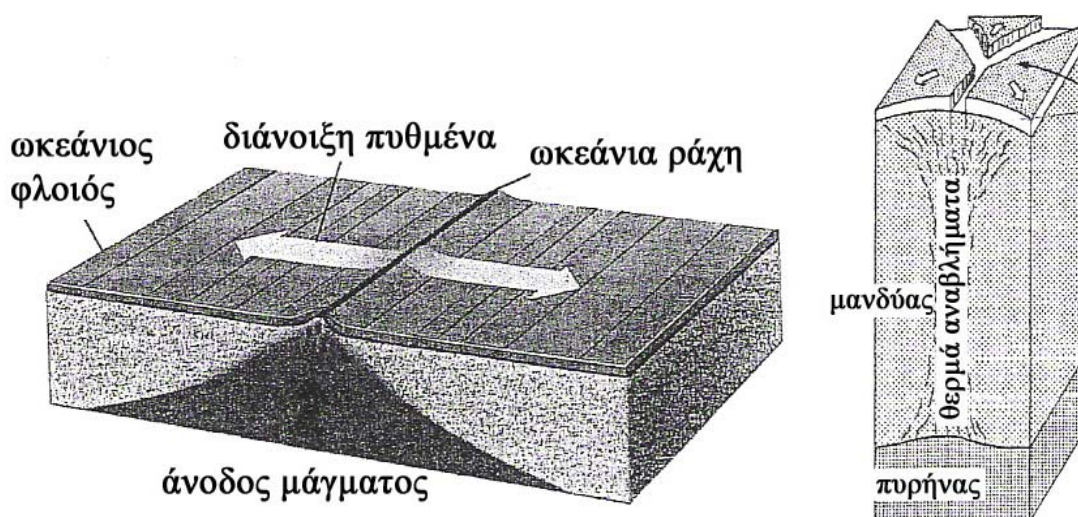
### 4.3.3. Δυνάμεις που προκαλούν την κίνηση των τεκτονικών πλακών.

Αναπτύξαμε πιο πάνω τις κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών αλλά δεν εξετάσαμε καθόλου τις δυνάμεις που προκαλούν τις κινήσεις αυτές. Οι δυνάμεις αυτές δεν έχουν

προσδιοριστεί με βεβαιότητα. Ένας από τους πιο ενεργούς και συναρπαστικούς τομείς της έρευνας στη γεωλογία σήμερα, είναι η αναζήτηση της αιτίας των κινήσεων των πλακών.

Η πιο αποδεκτή εξήγηση συσχετίζεται με την ιδέα ότι από την πλαστική ασθενόσφαιρα ανέρχονται αργά στήλες θερμού υλικού διαμέτρου μερικών εκατοντάδων χιλιομέτρων και μόλις φθάσουν στη λιθόσφαιρα κάμπτονται και κινούνται πλάγια και ενώνονται με τις ζώνες διάνοιξης.

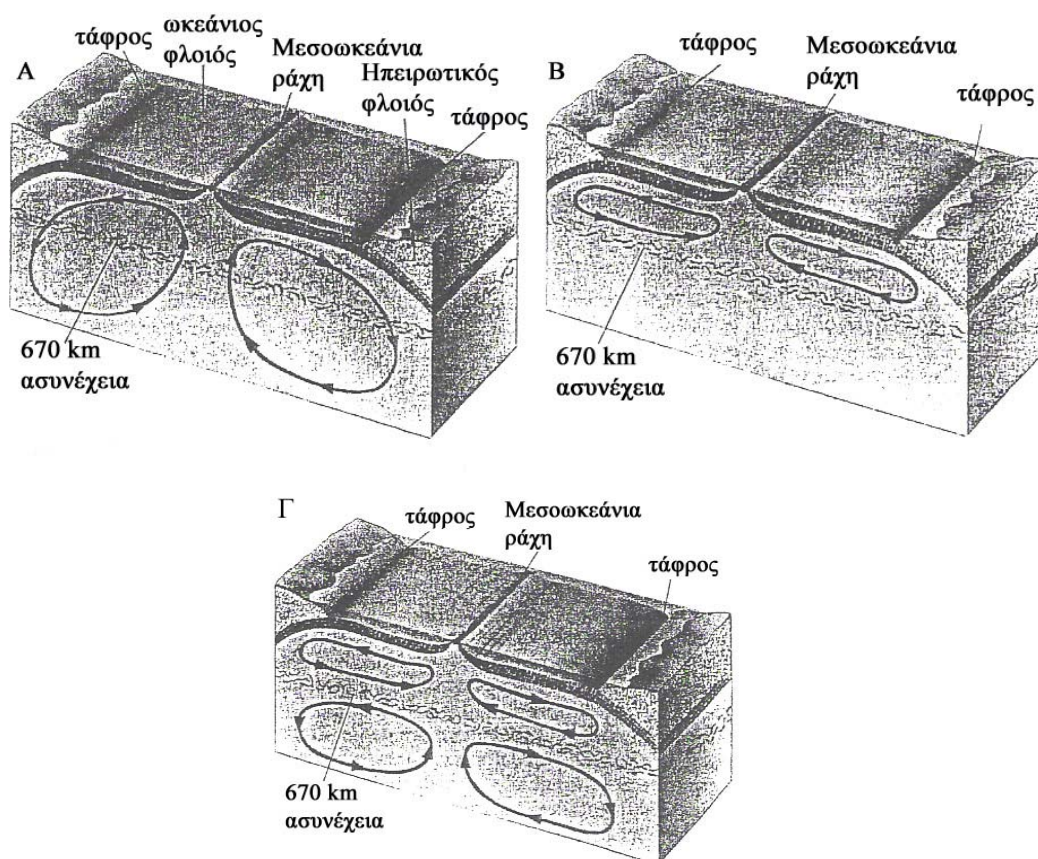
Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή ένα μέρος του καυτού υλικού προστίθεται στις κορυφογραμμές που διευρύνονται και αυξάνονται, ενώ το υπόλοιπο κινείται προς τα κάτω διαγράφοντας κυκλικές τροχιές και ψύχεται αργά. Καθώς το ασθenoσφαιρικό υλικό ρέει, σέρνει τη λιθόσφαιρα που είναι από πάνω του, διευρύνοντας τις κορυφογραμμές στις ράχες. Όταν το υλικό ψυχθεί γίνεται αρκετά πυκνό και ξαναβυθίζεται στην ασθενόσφαιρα (Σχ. 28).



Σχ. 28. Στήλη θερμού ασθenoσφαιρικού υλικού ανέρχεται προκαλώντας διάνοιξη της λιθόσφαιρας

Η ύπαρξη της μεταφοράς στηλών ασθenoσφαιρικού υλικού δεν έχει αποδειχθεί οριστικά. Υπάρχει επίσης ένα ερώτημα: εάν θα μπορούσε η ασθενόσφαιρα ρέοντας να ασκήσει αρκετή έλξη στην λιθόσφαιρα που βρίσκεται από πάνω για να την ωθήσει πλευρικά και να προκαλέσει τη σύγκλιση. Μια εναλλακτική εξήγηση, για την οποία τα στοιχεία έχουν συγκεντρωθεί πρόσφατα, είναι ότι το βάρος της πυκνής φθίνουσας λιθοσφαιρικής πλάκας στη ζώνη καταβύθισης, έλκει την υπόλοιπη πλάκα σέρνοντάς τη μαζί και διευρύνοντας συγχρόνως τις ωκεάνιες ράχες με την άνοδο μάγματος. Πολλοί γεωεπιστήμονες θεωρούν τώρα, ότι ένας συνδυασμός αυτών των μηχανισμών θα μπορούσε να αποτελέσει την εξήγηση, αλλά αυτό είναι ακόμη υπό διερεύνηση.

Πιο κάτω θα αναφέρουμε τρία διαφορετικά πρότυπα μετακίνησης του μανδύα που είναι δυνατόν να προκαλούν τη μετακίνηση των λιθосφαιρικών πλακών σύμφωνα με τις προτάσεις των γεωλόγων που μελετούν τον γήινο μανδύα (Σχ. 29).



**Σχ. 29.** Α. Η κίνηση και μεταφορά γίνεται σε ολόκληρο τον μανδύα. Β. η κίνηση και μεταφορά γίνεται μόνο στον ανώτερο μανδύα. Γ. Λειτουργούν δύο συστήματα μεταφοράς.

Κατά το πρώτο πρότυπο η κίνηση και η μεταφορά γίνεται σε ολόκληρο το μανδύα, και η πηγή θερμότητας βρίσκεται στο όριο πυρήνα-μανδύα (Σχ.29 Α).

Κατά το δεύτερο πρότυπο, η κίνηση και η μεταφορά λαμβάνει χώρα μόνο στον ανώτερο μανδύα, επάνω από τη σεισμική ασυνέχεια που βρίσκεται στο βάθος των 670-χιλιομέτρων (Σχ.29 Β). Κατά το πρότυπο αυτό, ο μανδύας κάτω από την ασυνέχεια έχει ελάχιστη ή καμιά μετακίνηση και ενεργεί απλά ως πηγή θερμότητας για να προκαλέσει τη μεταφορά.

Το τρίτο πρότυπο είναι ένας συνδυασμός των δύο πρώτων. Υπάρχουν δυο συστήματα μεταφοράς διατεταγμένων το ένα πάνω από το άλλο, που διαχωρίζονται από τη σεισμική ασυνέχεια που βρίσκεται στο βάθος των 670 km (Σχ.29 Γ). Σε αυτό το πρότυπο, η ασυνέχεια των 670 km δημιουργεί ένα όριο μεταξύ των δύο κυττάρων μεταφοράς.

## 4.4. Η σημασία της τεκτονικής των πλακών

Η αξία της θεωρίας των τεκτονικών πλακών είναι ότι για πρώτη φορά τέθηκε το πλαίσιο για να κατανοήσουμε το μηχανισμό δημιουργίας και τις σχέσεις των μεγαλύτερων φυσιογραφικών χαρακτηριστικών της Γης όπως των ηπείρων, των ωκεάνιων πυθμένων, των ορεινών όγκων, των ηφαιστειών, των σεισμών και των διαφόρων τύπων πετρωμάτων. Έχει καθιερωθεί αυτή η θεώρηση να καλείται Παγκόσμια Τεκτονική.

Είναι σαφές ότι οι ήπειροι έχουν υποστεί μετατοπίσεις πάνω στη γήινη επιφάνεια. Οι μετατοπίσεις αυτές διαρκούν τουλάχιστον 2 δισεκατομμύρια χρόνια, αλλά όχι απαραίτητα με τον ίδιο ρυθμό και την ίδια φορά κίνησης με σήμερα. Οι διαδικασίες των τεκτονικών πλακών έχουν διαδραματίσει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της γης και είναι πιθανό να συνεχίσουν έτσι για το εγγύς μέλλον.

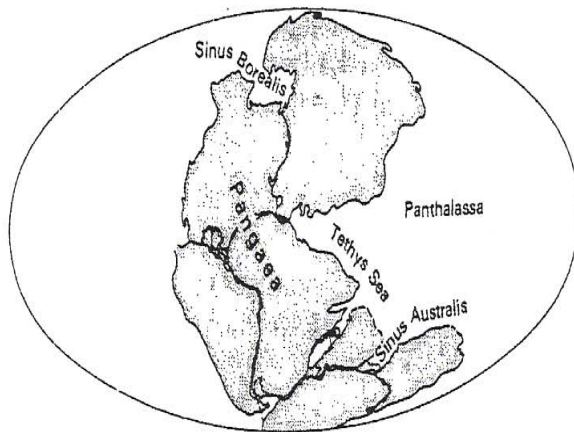
Με τη θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών έχει γίνει προσπάθεια να αναπαρασταθούν οι μεταβολές των ηπείρων κατά τα τελευταία 200 εκατομμύρια χρόνια της γεωλογικής ιστορίας της Γης τελευταία 200 εκατ. χρόνια και η πιθανή μελλοντική τους εξέλιξη. (Σχ. 30).

Πριν 200 εκατομμύρια χρόνια η μοναδική ήπειρος που υπήρχε, η Παγγαία κατά τον Wegener, άρχισε να σπάζει. Η ύπαρξη παλιών οροσειρών όπως τα Απαλάχια, Καλυδόνιες οροσειρές, τα όρη της Σκοτίας και της Σκανδιναβίας και τα Ουράλια μπορούν να εξηγηθούν από την τεκτονική των λιθοσφαιρικών πλακών πριν τη δημιουργία της Παγγαία.

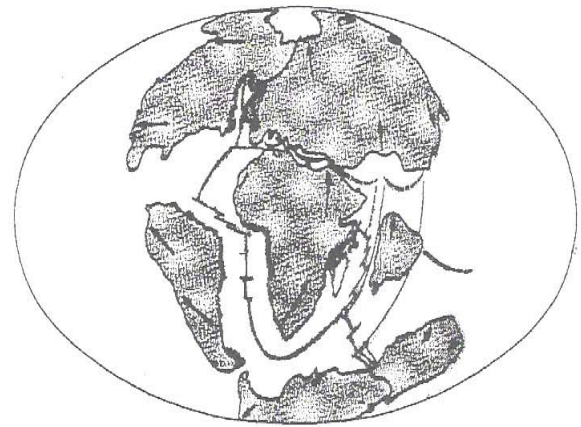
Πριν 200 εκατομμύρια χρόνια (στο Τριαδικό) υπήρχε μια ενιαία γιγαντιαία ήπειρος η **Παγγαία** που περιβάλλονταν από έναν ωκεανό, την **Πανθάλασσα**, που αντιστοιχεί στον σημερινό Ειρηνικό ωκεανό. Μια βαθιά προεκβολή του ωκεανού αυτού που εισχωρούσε ανάμεσα στην Αφρική και την Ευρασία ήταν η **Τηθύς** θάλασσα, που αντιστοιχεί στη σημερινή **Μεσόγειο** θάλασσα. Στο τέλος του Τριαδικού, πριν 180 εκ. χρόνια η ήπειρος, με το άνοιγμα ενός καινούριου ωκεανού νότια της Νότιας Αμερικής και ανατολικά της Αφρικής, χωρίστηκε σε δυο υπερ-ηπείρους, στα βόρεια τη **Λαυρασία**, που περιλάμβανε την Ευρασία και τη Βόρειο Αμερική και νότια την **Γκοντβάνα** που περιλάμβανε τη Νότιο Αμερική, την Αφρική την Ανταρκτική, την Αυστραλία και την Ινδία

Με τη μετακίνηση της Νότιας Αμερικής προς τον Ειρηνικό δημιουργήθηκαν οι Άνδεις. Οι κινήσεις συνεχίστηκαν και στο τέλος του Ιουρασικού, περίπου πριν 135 εκ. χρόνια πριν, η Ινδία αποσπάστηκε από τις άλλες ηπείρους που αποτελούσαν την Γκοντβάνα.

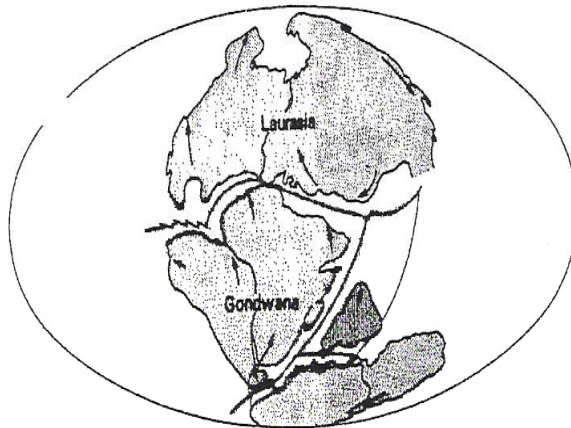
Πριν 65 εκ χρόνια περίπου, στην αρχή της Παλαιογενούς περιόδου, ο Νότιος Ατλαντικός άνοιξε και άρχισε να σχηματίζεται ο Βόρειος Ατλαντικός. Διαχωρίστηκαν



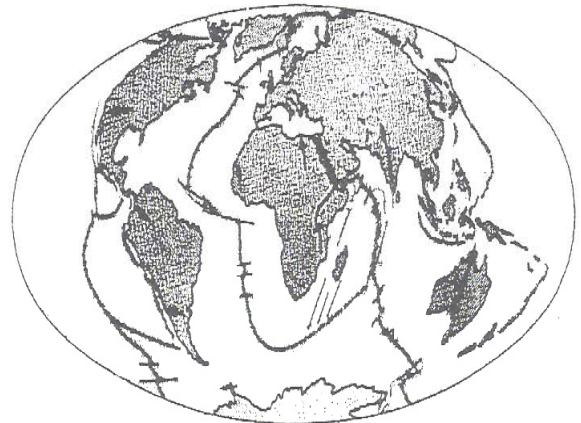
α) 200 εκατ. χρόνια πριν



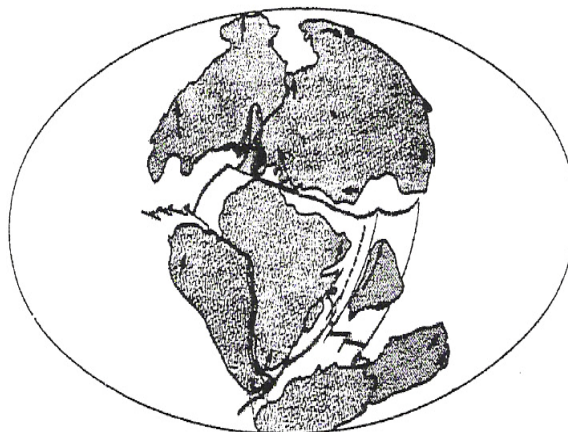
δ) 65 εκατ. χρόνια πριν



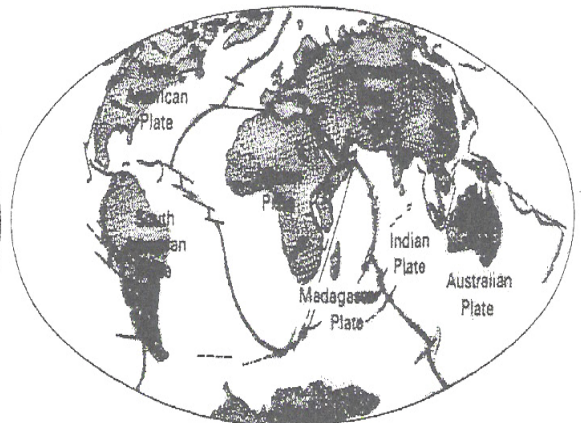
β) 180 εκατ. χρόνια πριν



Σήμερα



γ) 135 εκατ. χρόνια πριν



ε) Μετά από 50 εκατ. χρόνια

Σχ. 30 Τα στάδια μετακίνησης των ηπείρων από το διαμελισμό της Παγγαίας.

επίσης, η Νότιος Αμερική και η Αυστραλία από την Ανταρκτική. Με το διαχωρισμό αυτό των ηπείρων άρχισε η δημιουργία εκτεταμένων παγετώνων που είναι πρόδρομη φάση των μετέπειτα παγετωδών περιόδων.

Στη διάρκεια της Παλαιογενούς περιόδου συνεχίστηκε η διεύρυνση των ωκεανών, η Ινδία συγκρούστηκε με την Ευρασία και τα ιζήματα της Τηθύος πτυχώθηκαν και δημιουργήθηκαν οι Άλπεις και τα Ιμαλάια. Η συνεχιζόμενη κίνηση της Αμερικής προς τον Ειρηνικό συνεχίστηκε καθώς και η διαμόρφωση των Άνδεων και αναπτύχθηκε ένα σύστημα νησιωτικών τόξων στον δυτικό Ειρηνικό. Τέλος η Αφρική χωρίστηκε από τη Αραβία με την Ερυθρά με τη δημιουργία νέου ωκεάνιου πυθμένα.

Αν το μοντέλο αυτό συνεχιστεί στο μέλλον η ανατολική Αφρική θα χωριστεί κατά μήκος μιας μεγάλης ρηξιγενούς κοιλάδας στην περιοχή των λιμνών Βικτόρια και Τανγκανίκα, η Αυστραλία θα κινηθεί προς βορά, ο Ατλαντικός θα συνεχίσει να διευρύνεται και η Μεσόγειος να περιορίζεται.

Η σημερινή διαμόρφωση του αναγλύφου και οι μετακινήσεις των ηπείρων οφείλονται στην τεκτονική των πλακών που έδρασε κατά τα τελευταία 200 εκατ. χρόνια της γήινης ιστορίας. Η διαπίστωση αυτή όμως δεν σημαίνει ότι παρόμοιες διαδικασίες δεν συνέβαιναν και σε παλιότερες γεωλογικές εποχές. Από ενδείξεις που υπάρχουν θεωρείται βέβαιο ότι τουλάχιστον εδώ και δύο δισεκατομμύρια χρόνια οι γεωλογικές εξελίξεις καθορίζονται από την τεκτονική των πλακών, αλλά πιθανώς να λειτουργούσαν διαφορετικοί ορογενετικοί μηχανισμοί.

Στη διάρκεια της γεωλογικής ιστορίας έχουν διαπιστωθεί σύντομα αλλά έντονα επεισόδια παραμόρφωσης της λιθόσφαιρας με πτυχώσεις και ρήγματα εξαιτίας της τεκτονικής δραστηριότητας, που καλούνται ορογένεσεις. Η πιο πρόσφατη ορογένεση χαρακτηρίζεται ως Αλπική ορογένεση που έδρασε τα τελευταία στο Μεσοζωικό και Καινοζωικό αιώνα και δημιούργησε τη Νεοευρώπη. Πριν απ' αυτή είχαμε τρεις σημαντικές ορογένεσεις. Παλιότερη είναι η Φινοσαρμάτια ή Λαυρέντια που έδρασε κατά το Πρωτεροζωικό αιώνα και δημιούργησε την περιοχή της Ρωσίας και της Σκανδιναβίας (Πανάρχαια Ευρώπη), ακολούθησε η Καληδόνια ορογένεση που ολοκληρώθηκε στο Κατ. Παλαιοζωικό (Σιλλούριο πριν 400 εκατ. χρόνια) και δημιούργησε τμήμα της Σκανδιναβίας και την Αγγλία (Παλαιοευρώπη) και η Ερκύνια ή Βαρύσκια ορογένεση στο Ανωτ. Παλαιοζωικό (Πέρμιο, πριν 280 εκατ. χρόνια) που δημιούργησε τη Μεσοευρώπη (Σχ.31).





Σχ. 31 Οι ορογενετικές φάσεις που δημιούργησαν την Ευρώπη.

- α) Στον Προτεροζωικό σχηματίστηκε η Φιννοσαρμάτια και η Λαυρέντια ήπειρος, που αποτελούν την Πανάρχαιη Ευρώπη.
- β) Στο Κατώτερο Παλαιοζωικό, με την Καληδόνια ορογένεση, σχηματίστηκε η Παλαιοευρώπη.
- γ) Στο Ανωτ. Παλαιοζωικό, με την Ερκόνια ή Βαρύσκια ορογένεση, σχηματίστηκε η Μεσοευρώπη.
- δ) Κατά τη διάρκεια του Μεσοζωικού και Καινοζωικού αιώνα, με την Αλπική ορογένεση, σχηματίστηκε η Νεοευρώπη.

## 4.5. Ο ρόλος της τεκτονικής των πλακών στον πετρολογικό κύκλο

Τα εκρηξιγενή πετρώματα σχηματίζονται από το μάγμα που ανέρχεται από την ασθενόσφαιρα και περιοχές του ανώτερου μανδύα. Η θερμότητα που εκπέμπεται από την ψύξη του μάγματος μπορεί να προκαλέσει μεταμόρφωση, με ανακρυστάλλωση σε υψηλές θερμοκρασίες που αλλάζει τη σύσταση τη χημική ή/και την ορυκτολογική σύσταση των περιβαλλόντων πετρωμάτων. Μερικά από τα περιβάλλοντα πετρώματα μπορεί να λειώσουν για να δημιουργήσουν νέα εκρηξιγενή πετρώματα. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά τη σύγκρουση των λιθοσφαιρικών πλακών στα όρια σύγκλισης προκαλούν μεταμόρφωση των πετρωμάτων εξαιτίας της αύξησης των πιέσεων που ασκούνται σ' αυτά. Επίσης η διάβρωση των ηπειρωτικών τμημάτων παράγει ιζήματα. Ένα μεγάλο μέρος αυτών των ιζημάτων μεταφέρονται τελικά στις άκρες των ηπείρων, όπου αποτίθενται σε βαθιές λεκάνες. Τα ιζήματα συνεκτικοποιούνται, παθαίνουν διαγένεση και δημιουργούνται τα ιζηματογενή πετρώματα. Τα ιζηματογενή πετρώματα, στη συνέχεια, μπορεί να υποστούν μεταμόρφωση ή τήξη κάτω από συνθήκες υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών, που δημιουργούνται στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών. Μερικά από αυτά τα ιζηματογενή ή μεταμορφωσιγενή πετρώματα μπορεί επίσης να μεταφερθούν προς τα κάτω με την υποβυθιζόμενη ωκεάνια λιθόσφαιρα, να λειώσουν και να ανακυκλωθούν τελικά ως πυριγενή πετρώματα. Η τεκτονική δραστηριότητα των πλακών διαδραματίζει έτσι έναν σημαντικό ρόλο στον πετρολογικό κύκλο με το σχηματισμό συνεχώς νέων πετρωμάτων από τα παλιότερα.

### 4.5.1. Τεκτονική των πλακών και τα ραδιενεργά απόβλητα -Νέες λύσεις

Όταν αναπτύχθηκε η θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών και η ύπαρξη και η φύση των ζωνών καταβύθισης, μερικοί άρχισαν να θεωρούν τις ζώνες αυτές ως τη λύση για τη διάθεση των αποβλήτων και ειδικότερα των τοξικών ή ραδιενεργών. Ειδικότερα, οι ζώνες καταβύθισης προτάθηκαν ως πιθανές περιοχές διάθεσης για τα μεταλλικά κουτιά των ραδιενεργών αποβλήτων.

Η ιδέα ήταν να μεταφέρονται αυτά τα επικίνδυνα υλικά βαθιά στη γη, για να εξαφανιστούν εκεί, αποτελεσματικά, για πάντα (τουλάχιστον με τα ανθρώπινα κριτήρια). Τα κύρια μειονεκτήματα αυτής της πρότασης είναι τα ακόλουθα:

- α) Λαμβάνοντας υπόψη την εξαιρετικά αργή κίνηση των πλακών, η πλήρης καταβύθιση των αποβλήτων θα έπαιρνε τουλάχιστον χιλιάδες χρόνια.

β) Ένα άλλο πρόβλημα ήταν τα μεταλλικά κουτιά αποβλήτων όταν θα δέχονταν στην επίδραση του νερού της θάλασσας, ειδικά του θαλασσινού νερού που θερμαίνεται από τα ραδιενεργά απόβλητα και είναι ιδιαίτερα διαβρωτικό, μπορεί να καταστρέφονταν επιτρέποντας τη διαρροή των αποβλήτων. Επίσης μια υποβυθιζόμενη λιθοσφαιρική πλάκα δεν γλιστρά ήσυχα κάτω από μια άλλη, αλλά συνοδεύεται από σεισμούς, και παραμορφώνεται.

Ο ενθουσιασμός για αυτό το σχέδιο έχει εξασθενήσει. Εντούτοις, τώρα που έχει αναγνωριστεί η σημασία της τεκτονικής πλακών στο σχηματισμό και την καταστροφή του θαλάσσιου πυθμένα, έχει αναπτυχθεί ενδιαφέρον για τη χρησιμοποίηση των σταθερών εσωτερικών τμημάτων των μεγάλων ωκεάνιων πλακών, ως πιθανές περιοχές διάθεσης αποβλήτων. Μια διεθνής επιτροπή μελετά προς το παρόν αυτήν την ιδέα.

## 5. ΜΑΓΜΑ-ΜΑΓΜΑΤΙΣΜΟΣ

---

**Μάγμα** δημιουργείται, όταν σε μια περιοχή στον ανώτερο μανδύα ή στο φλοιό της Γης, ανυψώνεται η θερμοκρασία ή ελαττώνεται η πίεση ή εμπλουτίζεται σε πτητικά στοιχεία με αποτέλεσμα τη μερική ή ολική τήξη των πετρωμάτων.

Η κίνηση του μάγματος προς την επιφάνεια της Γης ή τα ανώτερα τμήματα του φλοιού αποτελεί το **μαγματισμό**. Κατά την κίνησή του μέσα από τα πετρώματα, μεταβάλλονται οι συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας και στερεοποιείται σε διάφορα βάθη ή εκχύνεται στην επιφάνεια. Η πίεση ανταγωνίζεται την αύξηση της θερμοκρασίας. Σε μεγάλα βάθη, όπου τα πετρώματα υφίστανται μεγάλες πιέσεις λόγω του βάρους των υπερκειμένων πετρωμάτων, απαιτούνται υψηλότερες θερμοκρασίες για να τηχθούν, ενώ αντίθετα η μείωση της πίεσης προκαλεί τήξη σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, όπως συμβαίνει κατά την άνοδο του μάγματος προς την επιφάνεια.

Το μάγμα σε μεγάλα βάθη κάτω από την επιφάνεια ψύχεται αργά και τα πετρώματα που δημιουργούνται είναι οι **πλουτωνίτες**. Η διαδικασία αυτή λέγεται πλουτωνισμός. Οι πλουτωνίτες εμφανίζονται στην επιφάνεια μετά από τη διάβρωση των υπερκειμένων στρωμάτων. Το μάγμα που διεισδύει μέσα από πετρώματα και ξεχύνεται στην επιφάνεια δημιουργεί τα ηφαιστεια. Η διαδικασία αυτή λέγεται ηφαιστειότητα και τα πετρώματα που δημιουργούνται **ηφαιστειακά**. Αν το μάγμα κατά την άνοδό του προς την επιφάνεια κατά μήκος των ρηγμάτων ή των πόρων στερεοποιηθεί, δημιουργούνται τα **φλεβικά** πετρώματα. Ο πλουτωνισμός και η ηφαιστειότητα είναι αποτέλεσμα της κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών.

## 5.1. Ηφαίστεια-Ηφαιστειότητα

Τα ηφαίστεια είναι κωνικές μορφές που από την κορυφή τους μέσω του κρατήρα ανέρχονται και διαφεύγουν στην επιφάνεια αέρια και λάβα και στη συνέχεια στερεοποιούνται.

Στη Γη υπάρχουν 60.000 ηφαίστεια, από τα οποία τα 50.000 βρίσκονται στον πυθμένα του Ειρηνικού ωκεανού ως υποθαλάσσιες βουνοκορφές. Το 25% απ' αυτά συνίστανται από ωκεάνια λιθόσφαιρα. Από αυτά μόνο 500 μπορεί να χαρακτηριστούν ως ενεργά. Με τον όρο «ενεργά» χαρακτηρίζονται τα ηφαίστεια που τουλάχιστον μια έκρηξή τους έχει συμβεί κατά τους ιστορικούς χρόνους, ενώ αυτά που δεν έχουν εκραγεί κατά τους ιστορικούς χρόνους θεωρούνται ως «σβησμένα». Ο ορισμός αυτός δεν θεωρείται απόλυτα ακριβής, γιατί υπάρχουν ηφαίστεια που είναι ανενεργά εδώ και 5.000 χρόνια και εξακολουθούν να μην έχουν ακόμη εκραγεί. Μετά από αυτό θα ήταν σκόπιμο να θεωρηθούν ως εν δυνάμει ενεργά όλα τα ηφαίστεια που έχουν δεν εκραγεί κατά τα τελευταία 25.000 χρόνια. Η Αίτινα για παράδειγμα είναι ένα ενεργό ηφαίστειο που δίνει εκρήξεις πολύ συχνά ακόμη και σήμερα, ενώ ο Βεζούβιος που εξερράγει το 79 μ.Χ. και κατέστρεψε την Πομπηία και το Ερκουλάνεουμ δεν είχε εκραγεί νωρίτερα κατά τους ιστορικούς χρόνους και δεν ξαναεκραγεί από τότε. Σε πολλά ηφαίστεια τα μεσοδιαστήματα ανάμεσα σε δύο εκρήξεις είναι πολύ μεγάλα και στο διάστημα αυτό τα ηφαίστεια θεωρούνται αδρανή

Ο όρος ηφαίστειο περιλαμβάνει τον **ηφαιστειακό σωλήνα ή πόρο**, μέσα από τον οποίο ανέχεται η λάβα και τα αέρια κατά την έκρηξη, καθώς και το υλικό που συσσωρεύεται γύρω από τον σωλήνα, συνήθως με τη μορφή κώνου. Στην κορυφή του ηφαιστειακού κώνου δημιουργείται μια μικρή ταπεινώση που αποτελεί τον **κρατήρα**. Η έκχυση των ηφαιστειακών υλικών πολλές φορές γίνεται από περισσότερους του ενός πόρων που βρίσκονται στις πλευρές του κώνου, όπως στην περιοχή της Πομπηίας.

Μεγάλες εκτάσεις της Γης δομούνται από ηφαιστειακά υλικά όπως είναι οι ωκεάνιοι πυθμένες, εκτεταμένα επίπεδα (plateau) από βασαλτική λάβα, όπως αυτά του Ντεκάν της Ινδίας και η Ισλανδία.

Η μορφή και ο τρόπος λειτουργίας ενός ηφαιστείου εξαρτάται από τη θερμοκρασία, τη σύσταση και κυρίως την περιεκτικότητα του μάγματος σε αέρια, γιατί αυτοί οι παράγοντες καθορίζουν το ιξώδες του μάγματος. Από το ιξώδες καθορίζεται η κινητικότητα των ρευστών. Όσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες τόσο μεγαλύτερη είναι αντίσταση στη ροή. Οι ανδεσιτικές-ρυολιθικές λάβες που έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε SiO<sub>2</sub> έχουν μεγάλο ιξώδες

και κινούνται με μικρή ταχύτητα διανύοντας μικρότερες αποστάσεις, ενώ οι βασαλτικές, που έχουν μικρότερη περιεκτικότητα σε  $\text{SiO}_2$  είναι πιο λεπτόρρευστες, έχουν μικρότερο ιξώδες και κινούνται με μεγαλύτερες ταχύτητες και μπορεί να διανύσουν αποστάσεις της τάξης των 150 km. Βασαλτικές λάβες μπορεί να έχουν ιξώδες και 1000 φορές χαμηλότερο από αυτό των ρυολίθων.

Ο τρόπος λειτουργίας των ηφαιστειών είναι διαφορετικός από το ένα ηφαίστειο στο άλλο, καθώς τα υλικά που εκτινάσσονται κατά την έκρηξη. Πολλά ηφαίστεια αποδίδουν ήρεμα το υλικό, ενώ άλλα δίνουν βίαιες εκρήξεις. Για παράδειγμα η έκρηξη του Βεζούβιου το 1906 διήρκεσε 18 ώρες και η λάβα με τα ηφαιστειακά προϊόντα που εκτοξεύτηκαν έφθασαν σε ύψος 13km. Μερικές εκρήξεις είναι πιο βίαιες. Το 1883 έγινε μια τρομακτική έκρηξη στο νησί Κρακατάο που βρισκόταν ανάμεσα στη Σουμάτρα και την Ιάβα. Η έκρηξη ακούστηκε στην Αυστραλία, σε απόσταση 3.200 Km, καθώς και στον Μαυρίκιο, 4.800 Km μακριά. Η σποδός από την έκρηξη παρέμεινε επί μήνες στην ατμόσφαιρα ολόκληρης της υδρογείου. Το πιο εντυπωσιακό όμως ήταν η πρόκληση θαλάσσιου κύματος, τσουνάμι, που δημιουργήθηκε με την έκρηξη ύψους 30m

Ορισμένα φαινόμενα, τα οποία προηγούνται μπορεί να προειδοποιήσουν για την επερχόμενη έκρηξη ενός ηφαιστείου. Σεισμική δραστηριότητα που παρατηρείται σε περιοχές κοντά σε ηφαίστεια με πολυάριθμους μικρούς σεισμούς (μεγέθους περίπου 3 Richter) μπορεί να αποτελεί προειδοποίηση επερχόμενης ηφαιστειακής έκρηξης. Επίσης αλλαγές κλίσης του πρηνούς ενός ηφαιστείου ή εξογκώματα της γήινης επιφάνειας τα οποία διαπιστώνονται με γεωδαιτικές μεθόδους ή μεταβολές της γεωθερμικής βαθμίδας αποτελούν προειδοποιήσεις.

Στον ελληνικό χώρο έχουμε το ηφαιστειακό τόξο του Νοτίου Αιγαίου που περιλαμβάνει τα ηφαίστεια της Κρομμωνίας (Σουσαάκι) στους Αγίους Θεοδώρους, την Αίγινα, τα Μέθανα, τη Μήλο, τη Σαντορίνη και τη Νίσυρο. Η μεγαλύτερη έκρηξη έγινε στη Σαντορίνη το 1500 π.Χ. Η έκρηξη αυτή δημιούργησε τη σημερινή καλδέρα. Ακολούθησαν και άλλες εκρήξεις, το 46 μ.Χ. που δημιουργήθηκε η Παλιά Καμένη και το 1570 μ.Χ. που δημιουργήθηκε η Νέα Καμένη. Το ηφαίστειο της Σαντορίνης είναι ενεργό.

### 5.1.1. Ηφαιστειακά προϊόντα

1) **Λάβα.** Το μάγμα όταν έρχεται σε επαφή με το έδαφος και την ατμόσφαιρα ψύχεται και χάνει τα αέρια που περιείχε και αυτό που παράγεται ονομάζεται **λάβα**. Η θερμοκρασία της λάβας κατά την έξοδό της από τον κρατήρα κυμαίνεται μεταξύ  $900^0$ - $1000^0$  C. Οι βασικές λάβες όπως οι βασαλτικές είναι συνήθως οι θερμότερες. Η ρευστότητα της λειωμένης λάβας εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε αέρια. Όταν περιέχει αρκετή ποσότητα αερίων μπορεί

να ρέει και σε χαμηλές θερμοκρασίες μέχρι  $700^{\circ}\text{C}$ . Όταν η λάβα ψύχεται πολύ γρήγορα δημιουργείται το ηφαιστειακό γυαλί που ονομάζεται οψιδιανός και καθώς η ψύξη επιβραδύνεται δημιουργείται αρχικά ένα πέτρωμα με λεπτούς κρυστάλλους και διαδοχικά με μεγαλύτερους.

Οι λάβες ανάλογα με την περιεκτικότητα σε  $\text{SiO}_2$  διακρίνονται σε βασαλτικές και σε ανδεσιτικές-ρυολιθικές. Οι βασαλτικές λάβες έχουν μικρή περιεκτικότητα σε  $\text{SiO}_2$ , ενώ οι ανδεσιτικές-ρυολιθικές μεγάλη. Κατά την ψύξη των βασαλτικών λαβών δημιουργούνται διακλάσεις που προκαλούν στο πέτρωμα στηλοειδή κατάτμηση, ενώ όταν ψυχθούν υποθαλάσσια σχηματίζονται μαξιλαροειδείς μορφές οι γνωστές ως pillow lavas. Τυπικές μορφές στηλοειδούς κατάτμησης συναντάμε στα Γλαρονήσια της Μήλου. Η στερεοποιημένη λάβα επίσης σχηματίζει μεγάλα μπλοκ ή μορφές που μοιάζουν με χοντρά σχοινιά (Σχ. 32). Η λάβα χρησιμοποιείται για την κατασκευή πυρίμαχων λίθων.



(α) (β)

Σχ. 32 α) Ανδεσιτική λάβα και β) λάβα με μορφή χοντρών σχοινιών.

2) **Πυροκλαστικά υλικά.** Κατά τις ηφαιστειακές εκρήξεις μαζί με τη λάβα ανέρχονται κατακερματισμένα κομμάτια προϋπαρχόντων πετρωμάτων. Τεμάχια από λίγα χιλιοστά έως και πολλά μέτρα όταν εκτινάσσονται στην ατμόσφαιρα λέγονται **τέφρα**. Τα τεμάχια τα μικρότερα των 2mm λέγονται **σποδός**, από 2-64mm **λάπιλλοι** (χαλίκια), και τα μεγαλύτερα που φθάνουν σε μέγεθος πολλών μέτρων λέγονται **βόμβες ή βολίδες**.

Τα πυροκλαστικά υλικά που καθιζάνουν στο έδαφος συγκολλώνται και δημιουργούνται πετρώματα που είναι οι **τόφφοι** και τα **τοφφικά λατυποπαγή**. Τα πυροκλαστικά υλικά που κυλούν στις πλαγιές του ηφαιστείου, ψύχονται και δημιουργούν το γνωστό μας πορώδες

πέτρωμα που είναι η **κίσσηρης ή ελαφρόπετρα**. Η κίσσηρης χρησιμοποιείται ως ηχομονωτικό ή θερμομονωτικό υλικό ή στην παρασκευή κίσσηρομπετόν που έχει μικρό ειδικό βάρος και χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές. Τα στερεοποιημένα πυροκλαστικά υλικά εμποτίζονται με νερό από τις βροχοπτώσεις ή τις ατμίδες και κατολισθαίνουν δημιουργώντας λασπορροές, **ροή πυροκλαστικών υλικών** ή **Lahar**.

3) **Αέρια, Ατμίδες**. Εκτός από τα στερεά υλικά τα ηφαιστεια εκπέμπουν αέρια τα οποία είναι τα πτητικά συστατικά του μάγματος σε αναλογία 1-5%. Το μεγαλύτερο ποσοστό απ' αυτά είναι υδρατμοί που αντιπροσωπεύουν το 70% των εκπεμπόμενων αερίων τα οποία είναι CO<sub>2</sub>, ενώσεις του αζώτου και του θείου, χλωρίδια, υδρογόνο, κλπ.. Πολλά από τα αέρια είναι τοξικά. Τα πτητικά συστατικά εκλύονται με τις ηφαιστειακές ατμίδες που ανάλογα με τη χημική τους σύσταση και θερμοκρασία διακρίνονται σε **φουμαρόλες, σουλφατάρες** και **μοφέτες**.

### 5.1.2. Μορφές ηφαιστείων

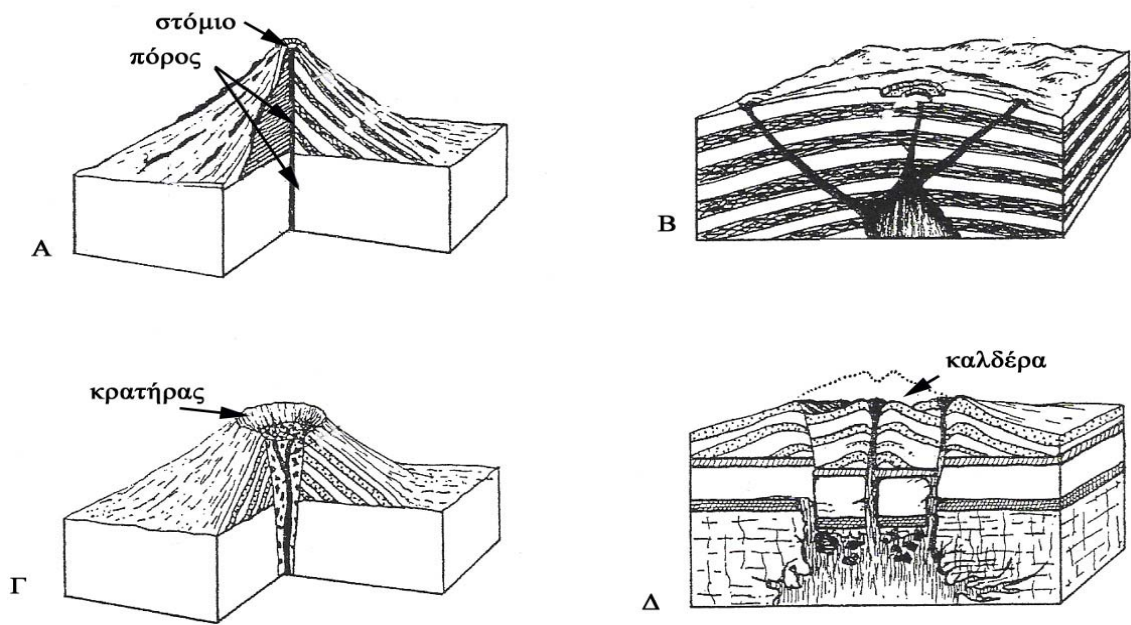
Οι ηφαιστειακές εκρήξεις δημιουργούν διάφορες μορφές ηφαιστείων που εξαρτώνται κυρίως από τη χημική σύσταση του μάγματος. Οι ηφαιστειολόγοι διέκριναν τέσσερις κύριους τύπους ηφαιστείων τους οποίους θα περιγράψουμε πιο κάτω.

1) **Στρωματοηφαίστεια ή σύνθετοι κώνοι** αποτελούν προφανώς την πιο διαδεδομένη μορφή ηφαιστείων. Τα ηφαίστεια αυτά αποτελούνται από συμμετρικούς κώνους που αποτελούνται από διαδοχικές εκχύσεις ανδεσιτικής λάβας, ή σκωρίες ή ακόμη από συνδυασμό και των δύο. Έχουν απότομα πρηνή και στο κέντρο του κώνου υπάρχει ο ηφαιστειακός σωλήνας. Χαρακτηριστικά ηφαίστεια αυτού του τύπου είναι ο Βεζούβιος στην Ιταλία, το Φουτζιγιάμα στην Ιαπωνία (Σχ.33 Α) και το ηφαίστειο της Αγίας Ελένης στην Καλιφόρνια (Σχ. 34).

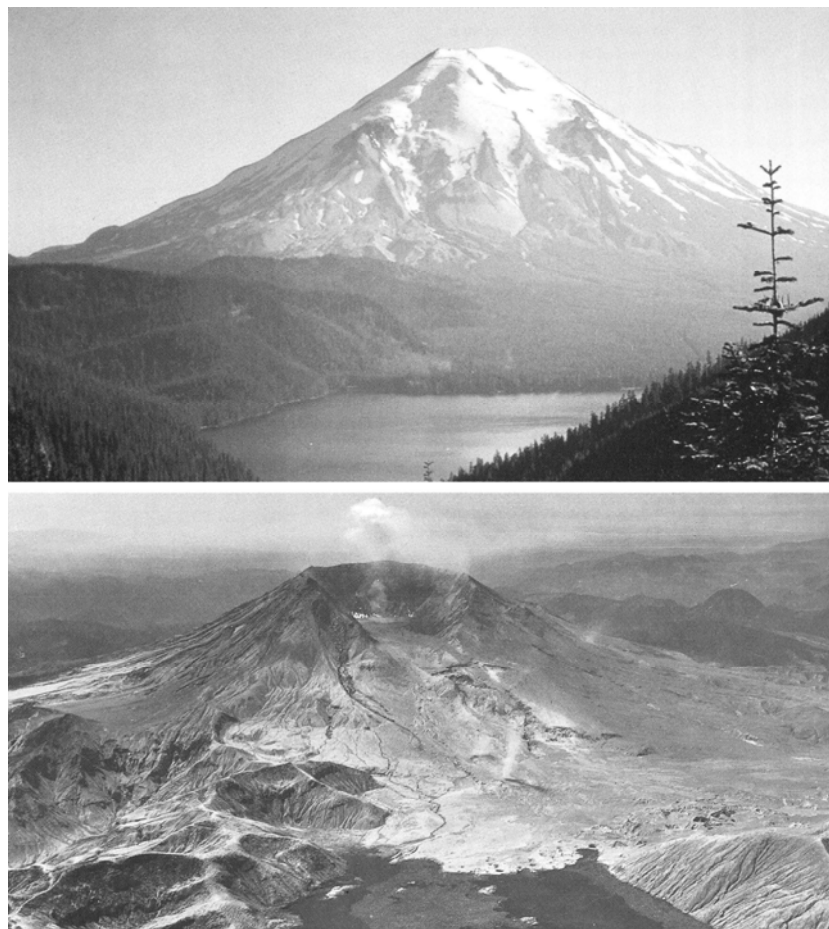
2) **Ασπιδωτά ηφαίστεια**. Χαρακτηρίζονται από πεπλατυσμένο σχήμα με πολύ χαμηλό ανάγλυφο, και οι πλαγιές γύρω από τον ηφαιστειακό κώνο έχουν κλίση 6°-7°, που οφείλεται σε ήρεμη έκχυση πολύ λεπτόρρευστου υλικού (Σχ.33 Β).

3) **Κωνικά ηφαίστεια ή ηφαίστεια τύπου Χαβάης**. Χαρακτηρίζονται από συμμετρικούς κώνους, που έχουν δημιουργηθεί από στρώματα με διαφορετικά ηφαιστειακά υλικά. Τα νησιά της Χαβάης σχηματίστηκαν κατ' αρχήν από υποθαλάσσιες εκχύσεις σε μεγάλα βάθη του ωκεανού και στη συνέχεια ανάπτυξαν, με συνεχιζόμενες εκχύσεις στην επιφάνεια, κώνους που φθάνουν σε ύψος μεγαλύτερο των 4.000 μέτρων (Σχ. 33 Γ).





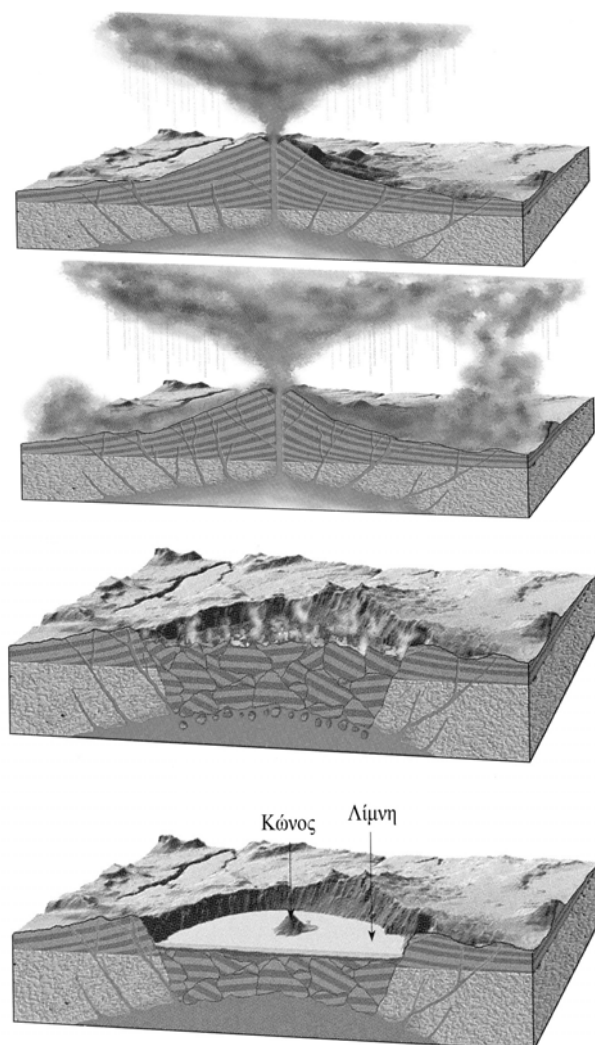
Σχ. 33. Τύποι ηφαιστίων. Α) Στρωματοηφαίστεια, Β) Ασπιδωτά Γ) Κωνικά ηφαιστεια ή ηφαιστεια τύπου Χαβάης, Δ) Καλδέρες.



Σχ. 34 Το ηφαίστειο της Αγίας Ελένης στην Καλιφόρνια. Στην πάνω φωτογραφία πριν την έκρηξη του 1980 και στην κάτω μετά απ' αυτή. (από U. S. Geolog. Survey).

4) **Καλδέρες.** Μια ιδιαίτερη και πολύ χαρακτηριστική μορφή αποτελούν οι καλδέρες. Οι καλδέρες αποτελούν τεράστια βυθίσματα που σχηματίστηκαν από κατέρρευση των πετρωμάτων κοντά στην κορυφή πολύ μεγάλων ηφαιστείων, όταν από την έκρηξη άδειασε ο θάλαμος του μάγματος και η οροφή του έχασε τη στήριξη (Σχ. 34, 35, 36).

Δημιουργήθηκαν μεγάλα ημικυκλικά ρήγματα στην περιφέρεια του βυθίσματος και το κεντρικό τμήμα κατέρρευσε μέσα στο μαγματικό θάλαμο. Μέσα στην καλδέρα σε μεταγενέστερο στάδιο μπορεί να δημιουργηθούν μικροί κώνοι. Οι μικρότερες καλδέρες έχουν διάμετρο περίπου 2 km και η μεγαλύτερη γνωστή καλδέρα είναι αυτή που βρίσκεται στην εκτεταμένη επιφάνεια του Yellowstone και έχει μήκος 70 km και πλάτος 45 km. Μεγάλες καλδέρες δημιουργούνται μέσα σε λίγες ώρες ή μέρες με ηφαιστειακές εκρήξεις ιγκνημπρίτη. Μια από τις πιο γνωστές καλδέρες αποτελεί η καλδέρα της Σαντορίνης, με άξονα Β-Ν μήκους 11km, Α-Δ 7,5 km και ύψος τοιχωμάτων 200-300 m (Σχ. 37). Επίσης καλδέρα είναι και της Νισύρου.



Σχ 35. Σχηματική αναπαράσταση των διαδοχικών σταδίων που οδήγησαν στη δημιουργία καλδέρας και στη συνέχεια της λίμνης. Όρεγκον στις ΗΠΑ.



Σχ. 36 Η λίμνη Όρεγκον έχει δημιουργηθεί σε μία καλδέρα διαμέτρου 9 km περίπου.



Σχ. 37. Αποψη της καλδέρας της Σαντορίνης.

## 6. ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ

---

### 6.1. Διακλάσεις, ρήγματα και πτυχές

Κάθε μάζα πετρώματος που βρίσκεται μέσα στο φλοιό της Γης υφίσταται πιέσεις εξαιτίας της βαρύτητας και του βάρους των υπερκειμένων πετρωμάτων καθώς και άλλες τάσεις που οφείλονται στις μετακινήσεις μέσα στη λιθόσφαιρα. Οι τάσεις που επικρατούν στη λιθόσφαιρα είναι δυνατόν να προκαλέσουν ελαστική παραμόρφωση έως ότου τα πετρώματα φθάσουν στο όριο θραυσμού ή εάν είναι εύπλαστα υφίστανται πλαστική παραμόρφωση. Τα κύρια τεκτονικά χαρακτηριστικά της θραύσεως και της ελαστικής ή πλαστικής συμπεριφοράς είναι οι διακλάσεις, τα ρήγματα και οι πτυχές, που χαρακτηρίζονται ως **τεκτονικές δομές**.

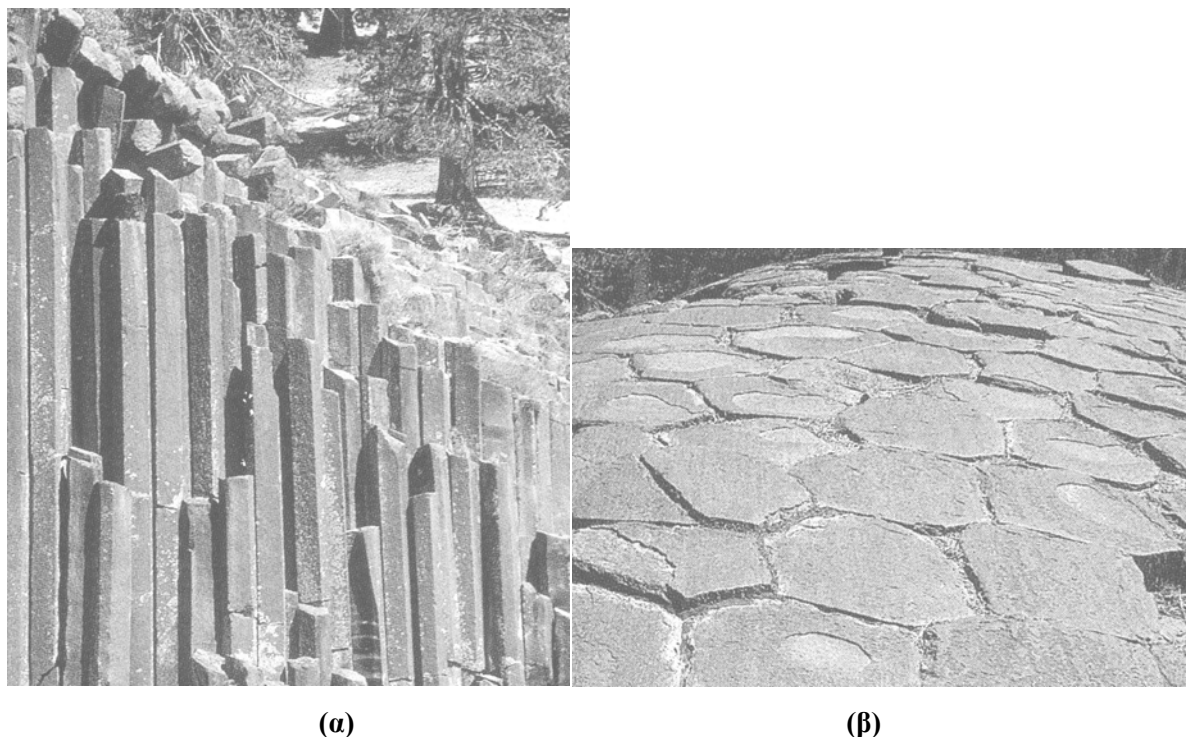
#### 6.1.1. Διακλάσεις

**Διάκλαση** είναι μια ρωγμή στα πετρώματα, κατά μήκος της οποίας δεν παρατηρείται μετατόπιση. Οι διακλάσεις μπορεί να έχουν διαφορετική κλίση και πυκνότητα ή να παρουσιάζουν ένα κανονικό δίκτυο (Σχ.38). Οι διακλάσεις δημιουργούνται είτε κατά τις γραμμές μειωμένης αντοχής του πετρώματος, ή ως αποτέλεσμα των μετακινήσεων του γήινου φλοιού και αποτελούν επιφάνειες μερικής ασυνέχειας. Οι διακλάσεις κατά τη διεύθυνση στρώσης είναι χαρακτηριστικά γνωρίσματα των ιζηματογενών πετρωμάτων και διατάσσονται συνήθως κατά μήκος των ορίων, στα οποία αλλάζει η λιθολογική σύσταση του στρώματος. Η διεύρυνση των διακλάσεων μπορεί να οφείλεται στην ακόλουθη διαδικασία. Τα ιζήματα κατά την περίοδο απόθεσής τους συμπιέζονται από το βάρος του φορτίου των υπερκειμένων πετρωμάτων και στη συνέχεια, όταν αυτό μειωθεί εξ αιτίας της διάβρωσης, ελαττώνεται και η πίεση που εξασκούσαν, με αποτέλεσμα το πέτρωμα επεκτείνεται και δημιουργούνται διακλάσεις.



Σχ. 38. Διακλάσεις.

Οι διακλάσεις στα εκρηξιγενή πετρώματα αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της ψύξης του πετρώματος, ή καθώς το εκρηξιγενές πέτρωμα διεισδύει μέσα στις ρωγμές των γειτονικών πετρωμάτων και τις διευρύνει με την διείσδυσή του. Οι βασάλτες κατά την ψύξη τους παθαίνουν **στηλοειδή κατάτμηση** (Σχ. 39) και σχηματίζονται κανονικά κιονοειδή συστήματα, που αποτελούν πολύ χαρακτηριστικές γεωμορφές. Τυπικό παράδειγμα στον ελληνικό χώρο αποτελούν τα Γλαρονήσια στη Μήλο.



Σχ. 39. Στηλοειδής κατάτμηση λάβας α) σε τομή και β) σε κάτοψη.

Διακλάσεις δημιουργούνται σε όλους τους τύπους πετρωμάτων, εκρηξιγενή, μεταμορφοσιγενή και ιζηματογενή εξαιτίας της δράσης συμπιεστικών τάσεων στο φλοιό. Αυτές οι τάσεις μπορεί να δημιουργήσουν διακλάσεις, που αναπτύσσονται παράλληλα ή πλάγια στη διεύθυνση των τάσεων και αποτυπώνονται στα πετρώματα μιας μεγάλης περιοχής παρέχοντας έτσι στοιχεία σχετικά με το καθεστώς των τάσεων που επικράτησαν στο χώρο ακόμα και για σύντομα χρονικά διαστήματα.

Οι τεκτονικοί γεωλόγοι αξιολογούν τα στοιχεία που προκύπτουν από τη μορφή και τη διεύθυνση των διακλάσεων τα οποία αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία στη διερεύνηση των κατευθύνσεων των τεκτονικών δυνάμεων.

Οι διακλάσεις ανάλογα με το είδος των τάσεων που τις δημιούργησαν διακρίνονται σε εφελκυστικές, δηλαδή οφείλονται σε τάσεις εφελκυσμού και διατμητικές σε τάσεις διάτμησης.

**Οι διατμητικές** διακλάσεις εμφανίζονται συνήθως σε συστήματα που σχηματίζουν μια δίδερη γωνία, η τιμή της οποίας δεν είναι σταθερή και σχηματίζουν συνήθως γωνία  $\leq 45^\circ$  ως προς τον άξονα της μεγίστης τάσης.

**Οι εφελκυστικές** διακλάσεις σχηματίζονται παράλληλα προς τον άξονα της μεγίστης τάσης. Οι διακλάσεις που οφείλονται στην ψύξη πυριγενών πετρωμάτων, όπως η στηλοειδής κατάτμηση, ή στην ξήρανση των αργιλικών ιζημάτων είναι εφελκυστικές διακλάσεις.

Μεγάλο ενδιαφέρον για το μηχανικό παρουσιάζει η **πυκνότητα των διακλάσεων**. Από τη πυκνότητα των διακλάσεων εξαρτάται η αντοχή του πετρώματος. Τα πετρώματα με μεγάλη πυκνότητα διακλάσεων παρουσιάζουν προβλήματα στις κατασκευές γιατί γίνονται εύθρυπτα, επηρεάζουν τη στεγανότητα των πετρωμάτων ή περιορίζουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης δομικών υλικών.

Ως πυκνότητα διακλάσεων ορίζεται ο αριθμός των διακλάσεων που απαντούν κάθετα προς την μέση διεύθυνση ανά μονάδα μήκους. Η στατιστική αυτή μέτρηση πρέπει να γίνεται χωριστά για κάθε οικογένεια διακλάσεων αλλά ανάλογα με τις ανάγκες μετριέται και επίσης και ο ολικός αριθμός διακλάσεων ανά κυβικό μέτρο.

Για την κατασκευή σηράγγων είναι σκόπιμο να επιλέγεται η διεύθυνσή τους να είναι κάθετη προς το κύριο σύστημα διακλάσεων, ενώ στα φράγματα ο άξονάς τους να είναι παράλληλος προς τη γενική διεύθυνση του κυρίου συστήματος. Η διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι τα φράγματα είναι επιφανειακές κατασκευές, ενώ οι σήραγγες είναι υπόγειες και τα πετρώματα βρίσκονται υπό εντατική κατάσταση. Μια υπόγεια εξόρυξη που γίνεται

παράλληλα προς τις υπάρχουσες ασυνέχειες επιφέρει ανακούφιση των τάσεων με την απομάκρυνση τεμαχών παράλληλα προς τις επιφάνειες διακλάσεων.

Οι διακλάσεις είναι πολύ σημαντικές επειδή αποτελούν διόδους απ' όπου το νερό, ο αέρας, και οι ρίζες των φυτών μπορούν να περάσουν και να αρχίσει η αποσάθρωση και η διάβρωση των πετρωμάτων δημιουργώντας διάφορες γεωμορφές, όσο και στην τεχνική συμπεριφορά των πετρωμάτων γιατί προκαλούν κατάτμηση και το μετατρέπουν σε μια χαλαρωμένη μάζα.

### 6.1.2. Ρήγματα

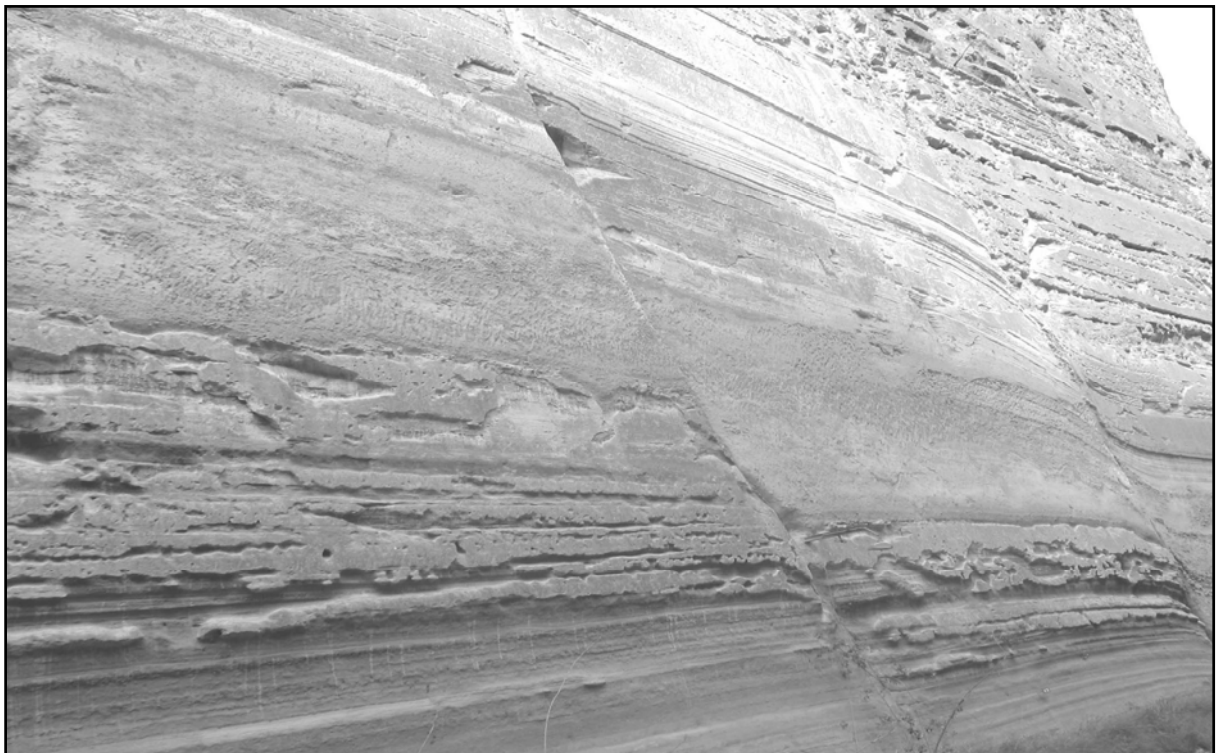
**Ρήγμα** είναι η θραύση (διάρρηξη) των πετρωμάτων εκατέρωθεν της οποίας έχει επέλθει μετατόπιση των τεμαχών που βρίσκονται από τη μια και την άλλη πλευρά, από μερικά χιλιοστά έως εκατοντάδες χιλιόμετρα, παράλληλα προς την ρηξιγενή επιφάνεια. Πολύ μικρές μετατοπίσεις είναι κοινές στα ιζηματογενή πετρώματα, ενώ πολύ μεγάλες μετατοπίσεις παρατηρούνται κατά μήκος των ρηγμάτων μετασχηματισμού, όπως το ρήγμα του Αγίου Ανδρέα. Σε περιοχές με έντονη τεκτονική ανησυχία συναντάμε ρήγματα κατά ομάδες που αποτελούν τη ρηξιγενή ζώνη. Τα ίχνη των ρηγμάτων στην επιφάνεια της Γης μπορεί να είναι ευθύγραμμο ή καμπύλο και άλλοτε είναι ευδιάκριτα ενώ άλλες φορές γίνονται αντιληπτά από τη μετακίνηση που επιφέρουν στα στρώματα που κόβουν, από ανωμαλίες που παρατηρούμε στην επιφάνεια του εδάφους, από τα κατακερματισμένα πετρώματα που παρατηρούνται στη ρηξιγενή επιφάνεια, κλπ.

Η θέση του ρήματος στο χώρο καθορίζεται, όπως και των επιφανειών των στρωμάτων, από την κλίση και την παράταξη της ρηξιγενούς επιφάνειας. Ως παράταξη ορίζεται η γραμμή που προκύπτει από την τομή μιας κεκλιμένης επιφάνειας από το οριζόντιο επίπεδο. Η τομή της επιφάνειας διάρρηξης στην επιφάνεια είναι το **ίχνος του ρήματος** (Σχ. 41).

Το ρήγμα διαχωρίζει τα πετρώματα σε δύο τμήματα, τα **τεκτονικά τεμάχια**. Τα τεκτονικά τεμάχια μετακινούνται ως προς την επιφάνεια διάρρηξης κάνοντας διάφορες κινήσεις. Οι κινήσεις μπορεί να είναι ευθύγραμμες ή περιστροφικές. Η σχετική μετατόπιση δυο σημείων εκατέρωθεν της επιφάνειας του ρήματος που συνέπιπταν πριν τη διάρρηξη, λέγεται **ολίσθηση**. Το πέτρωμα που βρίσκεται στο ανερχόμενο τέμαχος αποτελεί την **οροφή** του ρήματος και αυτό που είναι στο κατερχόμενο, τη **βάση**. Η μετατόπιση μεταξύ βάσης και οροφής δίνει τη σχετική κίνηση των τεμαχών, **άλμα του ρήματος** (Σχ. 41).



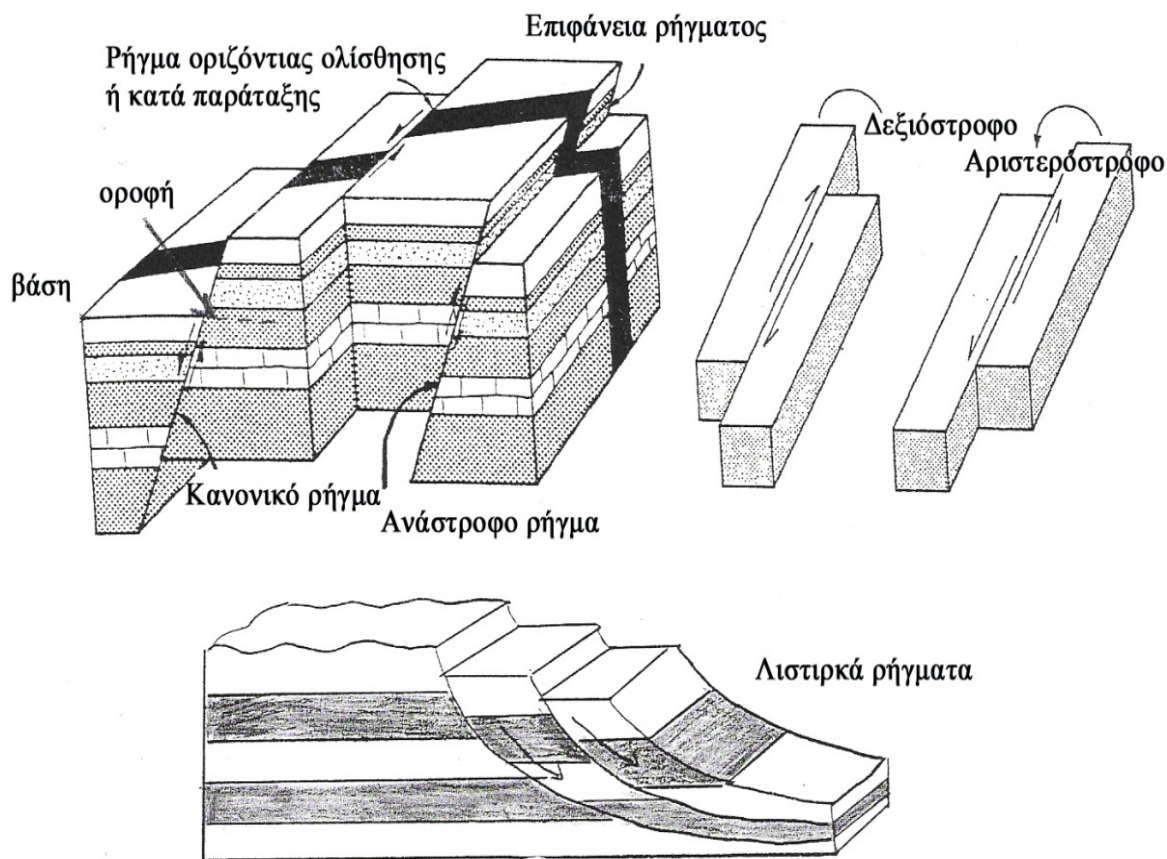
(α)



(β)

Σχ 40. α) Κατοπτρική επιφάνεια ρήγματος στην οποία διακρίνονται γραμμές προστριβής.  
 β) Σε τομή κάθετη προς την επιφάνεια των ρηγμάτων διακρίνονται τα ίχνη των ρηγμάτων καθώς και η μετακίνηση των στρωμάτων.





Σχ. 41. Είδη ρηγμάτων.

Η επιφάνεια του ρήγματος εξαιτίας της τριβής των δύο τεμαχών κατά την ολίσθησή τους γίνεται λεία και μια πρόσφατη επιφάνεια που είναι λεία και στιλπνή ονομάζεται **κατοπτρική επιφάνεια** ρήγματος. Σε μια πρόσφατη επιφάνεια ρήγματος μπορούμε να διακρίνουμε **γραμμώσεις ή γραμμές προστριβής**, δηλαδή λεπτές χαραγές που δείχνουν τη διεύθυνση κίνησης των τεμαχών. Σε περίπτωση επαναδραστηριοποίησης του ρήγματος δημιουργείται μια νεότερη ομάδα γραμμώσεων που είναι δυνατόν να έχει άλλη διεύθυνση κίνησης. Οι ρηξιγενείς επιφάνειες σε γενικές γραμμές είναι επίπεδες ή καμπύλες. Όταν η επιφάνεια θραύσης του ρήγματος είναι επίπεδη τα ρήγματα λέγονται **επίπεδα**, ενώ αυτά που σχηματίζουν κοίλες επιφάνειες ονομάζονται **λιστρικά** (Σχ. 41), από τη λέξη λίστρον που σημαίνει φτυάρι. Τα λιστρικά ρήγματα ονομάζονται και ρήγματα βαρύτητας, γιατί η αρχική δύναμη που τα δημιούργησε ήταν η βαρύτητα. Τα λιστρικά ρήγματα κοντά στην επιφάνεια είναι σχεδόν επίπεδα με μεγάλη κλίση ενώ στο βάθος είναι έντονα καμπυλωμένα προς τα άνω. Συνήθως εμφανίζονται κατά ομάδες με διαφορετική μετατόπιση το κάθε ρήγμα αλλά συνενώνονται στο κάτω μέρος με μια επιφάνεια αποκόλλησης, πάνω στην οποία μετακινούνται ανεξάρτητα προς τα υποκείμενα πετρώματα.

Κατά τη διάρρηξη των πετρωμάτων τα τεκτονικά τεμάχια μετακινούνται το ένα ως προς το άλλο. Οι διάφορες κατηγορίες ρηγμάτων διακρίνονται από την κατεύθυνση της κίνησης κατά μήκος του επιπέδου διάρρηξης. Οι κινήσεις μπορεί να είναι:

- α) **Ρήγματα με ολίσθηση κατά την παράταξη**, (Σχ. 41) δηλαδή η κίνηση είναι οριζόντια (strike-slip). Τα ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης ανάλογα με τη σχετική μετακίνηση των τεμαχίων διακρίνονται σε δεξιόστροφα και σε αριστερόστροφα. Μια κατηγορία ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης αποτελούν τα ρήγματα μετασχηματισμού, τα οποία συναντώνται στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών και συνδέουν περιοχές που ο φλοιός μετασχηματίζεται σε μανδύα και το αντίστροφο.
- β) **Ρήγματα με ολίσθηση κατά τη διεύθυνση κλίσης** (Σχ. 41) της επιφάνειας του ρήγματος (dip-slip).
- γ) **Ρήγματα πλάγιας ολίσθησης** (lateral-slip), δηλαδή μετακίνηση έχει δύο συνιστώσες, μια οριζόντια και μια κατακόρυφη (Σχ. 41).

Άλλα ρήγματα δημιουργούνται από συμπιεστικές και άλλα από εφελκυστικές κινήσεις του φλοιού ή ακόμη και από στρέψη. Τα ρήγματα ανάλογα με το είδος των τάσεων που τα δημιούργησαν διακρίνονται σε:

- Κανονικά (normal faults)
- Ανάστροφα (reverse faults)
- Εφιππεύσεις (thrust faults)
- Δεξιά πλάγια (right lateral faults)
- Αριστερά πλάγια (left lateral faults)

Η παραπάνω ταξινόμηση είναι σύμφωνα με την αμερικάνικη βιβλιογραφία. Οι Μαριολάκος και Παπανικολάου (1986) προτείνουν την πιο κάτω ταξινόμηση:

- α) Με βάση τη θέση της επιφάνειας του ρήγματος στο χώρο:
  - Κατακόρυφα ρήγματα
  - Οριζόντια ρήγματα
  - Κεκλιμένα ρήγματα
- β) Με βάση το είδος κίνησης πάνω στην επιφάνεια του ρήγματος:
  - Ρήγματα με ολίσθηση κατά κλίση
  - Ρήγματα με ολίσθηση κατά παράταξη

- Ρήγματα με πλάγια ολίσθηση

**Τα κανονικά ρήγματα** (Σχ. 41) δημιουργούνται από εφελκυστικές τάσεις, που υπερτερούν οι κατακόρυφες συνιστώσες ή από τη βαρύτητα με αποτέλεσμα ο χώρος που καταλαμβάνουν τα πετρώματα μετά τη διάρρηξη να αυξάνει. Τα κανονικά ρήγματα μπορεί να είναι κατακόρυφα ή κεκλιμένα. Σε περιοχές με έντονη τεκτονική δραστηριότητα πολλές φορές δημιουργούνται πολλά ρήγματα κατά την ίδια περίπου διεύθυνση και δημιουργείται μια ρηξιγενής ζώνη. Ρήγματα κατά το μάλλον και ήττον παράλληλα μεταξύ τους δημιουργούν κλιμακωτές μεταπτώσεις. Στις περιπτώσεις κλιμακωτών ρηγμάτων που το κεντρικό τέμαχος έχει βυθιστεί σε σχέση με τα γειτονικά τεμάχη και τα περιθωριακά ρήγματα συγκλίνουν στο βάθος, δημιουργείται **τεκτονική τάφρος**. Αν τα περιθωριακά ρήγματα δεν είναι παράλληλα μεταξύ τους αλλά έχουν κυκλική διάταξη τότε δημιουργείται **λεβητοειδής τάφρος**. Μια αντίστροφη τεκτονική δομή, που το κεντρικό τέμαχος είναι ανυψωμένο σε σχέση με τα γειτονικά και τα περιθωριακά ρήγματα συγκλίνουν στο άνω μέρος δημιουργείται **τεκτονικό κέρασ**.

**Τα ανάστροφα ρήγματα** (Σχ. 41) είναι αποτέλεσμα διατμητικών τάσεων, στα οποία υπερτερούν οι πλευρικές (οριζόντιες κινήσεις) και τα πετρώματα μετά τη διάρρηξη καταλαμβάνουν μικρότερο χώρο. Η κίνηση του ανώτερου τεμάχους γίνεται αντίστροφα προς τη διεύθυνση κλίσης. Τα ανάστροφα ρήγματα αναλόγως της τιμής της γωνίας κλίσεως διακρίνονται σε ανωθήσεις (γωνία  $45^{\circ}$ - $90^{\circ}$ ) και επιπεύσεις (γωνία  $45^{\circ}$ - $0^{\circ}$ ). Δηλαδή οι επιπεύσεις μπορεί να θεωρηθούν και ως υποκατηγορία των ανάστροφων ρηγμάτων. Όταν οι ρηξιγενείς επιφάνειες τείνουν να γίνουν οριζόντιες τότε προκαλούνται συχνά μεγάλες πλευρικές μετακινήσεις πετρωμάτων (μεγαλύτερες των 5 km) και δημιουργούνται τα **τεκτονικά καλύμματα**. Στη γερμανική βιβλιογραφία διακρίνονται τα ανάστροφα ρήγματα ως επωθήσεις όταν οι κλίσεις της ρηξιγενούς επιφάνειας είναι  $>45^{\circ}$  και ως επιπεύσεις όταν οι κλίσεις είναι  $<45^{\circ}$ .

Τέλος θα αναφέρουμε τα **συνιζηματογενή ρήγματα** που σχηματίζονται συνήθως σε ιζήματα προτού συμπαγοποιηθούν κατά τη διάρκεια απόθεσης, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται στρωματογραφικές ενότητες μεγαλύτερου πάχους στο κατερχόμενο τέμαχος, απ' ότι στο ανερχόμενο. Τα περισσότερα είναι κανονικά ρήγματα αλλά μπορεί να είναι και ανάστροφα. Παράδειγμα συνιζηματογενών ρηγμάτων έχουμε στη διώρυγα της Κορίνθου.

## Αναγνώριση και σημασία των ρηγμάτων

Η αναγνώριση των ρηγμάτων στο χώρο συνήθως παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες. Σε μια φυσική ή τεχνητή τομή μπορεί να διακρίνει κανείς ένα ρήγμα να διακόπτει τη συνέχεια ενός στρώματος. Επίσης η εμφάνιση κατοπτρικών επιφανειών, ακόμη και αν από την επίδραση της αποσάθρωσης και της διάβρωσης η επιφάνεια έχει αλλοιωθεί αποτελεί άλλο αδιαμφισβήτητο στοιχείο. Στις πιο πάνω περιπτώσεις είναι δυνατόν να μετρηθούν η μετατόπιση και το άλμα του ρήγματος.

Βασικά κριτήρια για την ύπαρξη ρήγματος είναι η επανάληψη ή η απουσία στρωματογραφικών ενοτήτων, η μετατόπιση ενός χαρακτηριστικού στρώματος, και η εμφάνιση παλιότερων δομών.

Έμμεση μαρτυρία για την ύπαρξη ρήγματος αποτελεί η παρουσία κατακερματισμένων πετρωμάτων, μολονίτη και κατακλασίτη ή και τα δυο, καθώς επίσης τεκτονικού λατυποπαγούς, κατά μήκος της ζώνης που πρέπει να είναι το ρήγμα. Στις περιπτώσεις αυτές οι μετρήσεις των χαρακτηριστικών του ρήγματος δεν είναι εύκολες. Άλλα στοιχεία που υποδηλώνουν την ύπαρξη ρηγμάτων είναι οι ρηξιγενείς μορφολογικές επιφάνειες και οι μορφές των υδρογραφικών δικτύων, η ανάπτυξη κώνων κορημάτων στη βάση του ανερχόμενου τεμάχους, κλπ..

Η επίδραση της ύπαρξης των ρηγμάτων στη διαμόρφωση του αναγλύφου είναι μεγάλη. Δημιουργούν απότομες πλαγιές και κοιλάδες. Επηρεάζουν έντονα τη μορφή των υδρογραφικών δικτύων γιατί οι κοίτες ακολουθούν τα ίχνη των ρηγμάτων στην επιφάνεια, τα οποία αποτελούν θέσεις μειωμένης αντοχής. Επίσης δημιουργούν βυθίσματα που αποτελούν ρηξιγενείς κοιλάδες ή ρηξιγενείς τάφρους.

Τα ρήγματα είναι άμεσα συνδεδεμένα με τους σεισμούς. Υπάρχει πληθώρα ρηγμάτων που έχουν δημιουργηθεί πριν πολλά εκατομμύρια χρόνια και έχει επέλθει ισορροπία στο χώρο και σήμερα διαπιστώνουμε την ύπαρξή τους από τεκτονικές παρατηρήσεις, ενώ άλλα έχουν πολύ μικρότερη ιστορία και λόγω των συσσωρευμένων τάσεων συνεχίζονται οι ανακατατάξεις στο χώρο. Τα διακρίνουμε σε **ενεργά** και **ανενεργά**. Ενεργά χαρακτηρίζονται τα ρήγματα στα οποία έχει συμβεί μετατόπιση στο διάστημα των τελευταίων 500.000 ετών και αποτελούν αντικείμενο της νεοτεκτονικής. Ενεργά ρήγματα που έχουν δώσει σεισμούς κατά τους ιστορικούς χρόνους χαρακτηρίζονται ως **σεισμικά ρήγματα**.

Τα ρήγματα επηρεάζουν την ένταση των σεισμών. Όταν η επιφάνεια ενός ρήγματος είναι παράλληλη προς την διεύθυνση διάδοσης του σεισμικού κύματος η σεισμική ενέργεια μεταδίδεται χωρίς μεγάλες απώλειες και έτσι η ένταση του σεισμού είναι μεγάλη σε μεγάλες

αποστάσεις από το επίκεντρο. Αν η διεύθυνση διάδοσης των σεισμικών κυμάτων είναι κάθετη στην επιφάνεια του ρήγματος, τότε έχουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις: α) Το ρήγμα απορροφά μέρος της σεισμικής ενέργειας και πίσω απ' αυτό δημιουργείται μερική σεισμοσκιά. β) Το ρήγμα έχει πληρωθεί με χαλαρά υλικά, τότε τα πλάτη των σεισμικών κυμάτων που διέρχονται από το σκληρό διαρρηγμένο πέτρωμα στα χαλαρά υλικά αυξάνουν και συνεπώς αυξάνει και η ένταση του σεισμού. γ) Σε ανοιχτά ρήγματα αυξάνει η ένταση, όπως στην προηγούμενη περίπτωση.

Όπου τα ρήγματα οριζόντια ολίσθησης συνδέονται με τη γένεση των σεισμών ισχύει ένας εμπειρικός κανόνας ότι σεισμοί μεγέθους 4 προκαλούν μια μετακίνηση της τάξης των 2-5km, ενώ με μέγεθος 5 προκαλούν μετακίνηση 5-10 km και μεγέθους 6 μετακίνηση 20-40 km (Παπαζάχος, 1990).

Η ενέργεια που απαιτείται για τη διάρρηξη σκληρών πετρωμάτων είναι τεράστια, αλλά είναι σχετικά μικρότερη αν το πέτρωμα είναι ήδη διερρηγμένο. Έτσι σε ένα σεισμό είναι πολύ ευκολότερο να επαναδραστηριοποιηθεί ένα παλιό ρήγμα παρά να δημιουργηθεί ένα καινούριο.

Η σημασία των ρηγμάτων για το μηχανικό είναι πολύ μεγάλη. Αποτελούν χώρους συσσωρευμένων τάσεων και πρέπει να γνωρίζει καλά τα τεκτονικά στοιχεία της περιοχής που εργάζεται, γιατί όπως αναφέραμε μπορεί να ενεργοποιηθούν. Τα ρήγματα είναι επιφάνειες ολικής ασυνέχειας με μειωμένη αντίσταση στην τριβή. Η ζώνη δεξιά και αριστερά του ρήγματος είναι δυνατόν να παρουσιάζει έντονη τεκτονική καταπόνησης και να απαιτείται ενίσχυση με αγκυρώσεις, στεγανοποιήσεις, κλπ. ή επιλογή άλλης ασφαλέστερης θέσης. Επίσης είναι δυνατόν η θεμελίωση μιας κατασκευής να γίνεται σε διαφορετικά πετρώματα που υπάρχουν από τη μια και την άλλη πλευρά του ρήγματος Τα ρήγματα που υπάρχουν στον πυθμένα ταμιευτήρων αποτελούν διόδους διαφυγής του νερού.

### 6.1.3. Σχιστότητα

Η σχιστότητα είναι μια τεκτονική παραμόρφωση των πετρωμάτων, υπό την επίδραση μεγάλων πιέσεων και θερμοκρασιών, κατά την οποία το πέτρωμα αποχωρίζεται σε λεπτά πλακίδια ή φύλλα (Σχ. 42). Η σχιστότητα παρατηρείται σε μεταμορφωσιγενή πετρώματα παράλληλα προς τα επίπεδα στρώσεως. Αποτελεί επιφάνεια μερικής ασυνέχειας.



Σχ. 42 Σχιστόλιθος (διακρίνονται η σχιστότητα και οι διακλάσεις).

#### 6.1.4. Πτυχές

Οι πτυχώσεις και οι κλίσεις είναι οι πιο συνηθισμένες παραμορφώσεις των ιζηματογενών πετρωμάτων που συμβαίνουν σε όλες τις κλίμακες, από μικροκυματώσεις λεπτών στρωμάτων με μήκος και ύψος λίγων εκατοστών έως τεράστιες πτυχές με μήκος πολλών χιλιομέτρων και ύψος εκατοντάδων μέτρων (Σχ. 43, 44). Οι πτυχές μπορεί να δημιουργηθούν από διατμητικές τάσεις μέσα στο φλοιό, από ανύψωση τεμαχών που βρίσκονται κάτω από τα ιζηματογενή πετρώματα τα οποία αναδιπλώνονται, ή από ολίσθηση λόγω βαρύτητας και πτύχωση των πετρωμάτων που ολισθαίνουν προς τα κάτω.

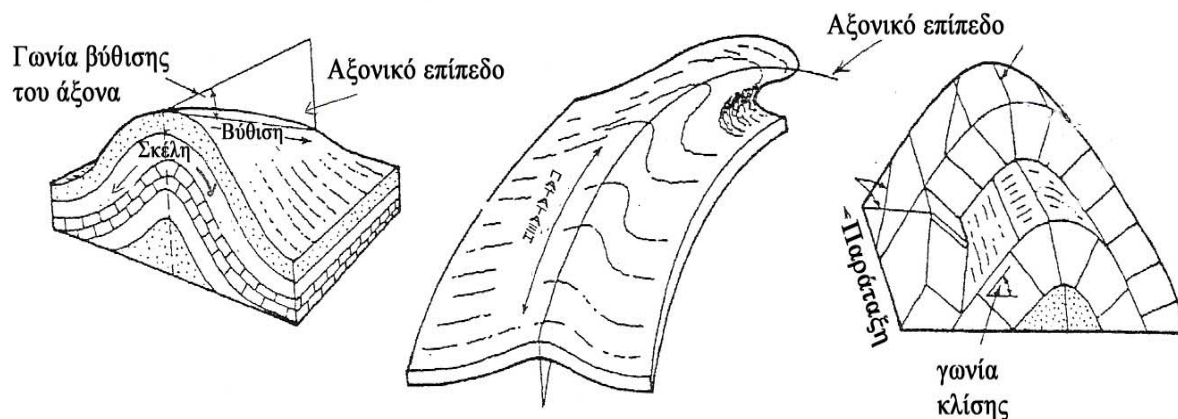
**Πτυχές** είναι κυρτώσεις, κάμψεις και συστροφές των πετρωμάτων, υπό την επίδραση πολύπλοκων διεργασιών οι οποίες περιλαμβάνουν θραύση, ολίσθηση, διάτμηση και ροή. Η διαγώνιος σχιστότητα και η λεπίωση είναι υφές που συνδέονται στενά με τις πτυχές, οι οποίες σχηματίζονται κυρίως από τη ροή.



Σχ. 43 Πτυχωμένα στρώματα



Σχ. 44 Πτυχές σε σχιστολιθικά πετρώματα



Σχ. 45. Πτυχές.

Όταν τα στρώματα μιας πτυχής συγκλίνουν στην κορυφή, η μορφή αυτή ονομάζεται **αντίκλινο**, αν συγκλίνουν στη βάση ονομάζεται **σύγκλινο** (Σχ.45). Τα κεκλιμένα στρώματα που δημιουργούν μια πτυχή ονομάζονται σκέλη της πτυχής. Η αναγνώριση ενός συγκλίνου ή ενός αντικλίνου δεν είναι πάντα εύκολη, όταν οι μορφές αυτές έχουν διαβρωθεί παρά μόνο αν γνωρίζουμε την ηλικία των στρωμάτων. Στον πυρήνα ενός αντικλίνου που έχει διαβρωθεί συναντάμε τα παλιότερα πετρώματα, ενώ σε ένα σύγκλινο τα νεότερα. Ένας απλός παρατηρητής μπορεί να ταύτιση την καμπυλότητα ενός ορεινού όγκου με αντίκλινο και των κοιλάδων με σύγκλινο. Πρέπει να τονίσουμε ότι η μορφολογία δεν ταυτίζεται με τις συγκεκριμένες αυτές γεωλογικές δομές. Αντίθετα σε πολλές περιπτώσεις παρατηρείται αναστροφή του αναγλύφου, όπως λέγεται και εκεί που έχουμε σύγκλινα παρατηρούνται μορφολογικές ανυψώσεις και στη θέση των αντικλίνων κοιλάδες. Η ερμηνεία αυτής της αναστροφής είναι απλή: στα κορυφαία τμήματα των αντικλίνων δημιουργούνται ρήγματα λόγω εφελκυσμού, που μπορεί να είναι ανοιχτά και αποτελούν θέσεις μειωμένης αντοχής και τα στρώματα παθαίνουν έντονη διάβρωση, ενώ στα σύγκλινα τα στρώματα στο κέντρο είναι ανθεκτικότερα. Συνήθως δεν παρατηρούνται μεμονωμένες πτυχές αλλά διαδοχικά σύγκλινα και αντίκλινα.

Το επίπεδο που περνάει από την κορυφή του συγκλίνου ή του αντικλίνου και διχοτομεί την πτυχή ονομάζεται **αξονικό επίπεδο**. Η τομή του αξονικού επιπέδου με μια επιφάνεια στρώματος είναι ο **άξονας της πτυχής** (άξονας συγκλίνου ή άξονας αντικλίνου). Οι άξονες των πτυχών μπορεί να είναι οριζόντιοι ή κεκλιμένοι, ευθύγραμμοι ή καμπύλοι (Σχ. 45).

Κατά την πτύχωση των στρωμάτων παρατηρείται ολίσθηση στις επιφάνειες ασυνέχειας, όπως είναι η στρώση, ο σχισμός, κλπ. Σε περίπτωση που τα πετρώματα είναι αρκετά πλαστικά, προκαλείται ερπυσμός με λέπτυνση των σκελών και δημιουργούνται πτυχές



**τεκτονοπλαστικής ροής.** Επίσης τα πτυχωμένα στρώματα να παρουσιάζουν τις ίδιες μορφές καμπύλωσης και η πτυχή χαρακτηρίζεται ως αρμονική ή τα πτυχωμένα στρώματα να παρουσιάζουν διαφορετικού βαθμού και μορφής πτύχωση και η πτυχή χαρακτηρίζεται ως δυσαρμονική.

Ο βαθμός πτύχωσης των πετρωμάτων εξαρτάται από το πάχος των επί μέρους στρωμάτων και το είδος του πετρώματος. Λεπτές στρωσιγενείς σειρές πετρωμάτων παρουσιάζουν σχετική ευκαμψία και πτυχώνονται έντονα δημιουργώντας πτυχές μικρού μήκους κύματος σε αντίθεση με παχυστρωματώδη πετρώματα, τα οποία δημιουργούν μεγάλες πτυχές ή διαρρήξεις.

### **Τα προβλήματα που παρουσιάζουν τα πτυχωμένα στρώματα.**

Όπως αναφέραμε σε περίπτωση αντεστραμμένων ή διαβρωμένων πτυχών δεν είναι εύκολο να διαπιστωθεί αν πρόκειται για αντίκλινο ή σύγκλινο. Τα πτυχωμένα στρώματα παρουσιάζουν συχνή μεταβολή της κλίσης των επιπέδων στρώσης. Η καταπόνηση των πετρωμάτων είναι εντονότερη στην κορυφή του αντικλίνου, όπου αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις στα εξωτερικά στρώματα και θλιπτικές στα εσωτερικά στρώματα, ενώ στη βάση του συγκλίνου αναπτύσσονται θλιπτικές τάσεις. Παράλληλα προς τις επιφάνειες των στρωμάτων κατά την πτύχωση προκαλείται ολίσθηση και δημιουργούνται λείες επιφάνειες με μειωμένη αντίσταση τριβής και κατά συνέπεια μειωμένη διατμητική αντοχή.

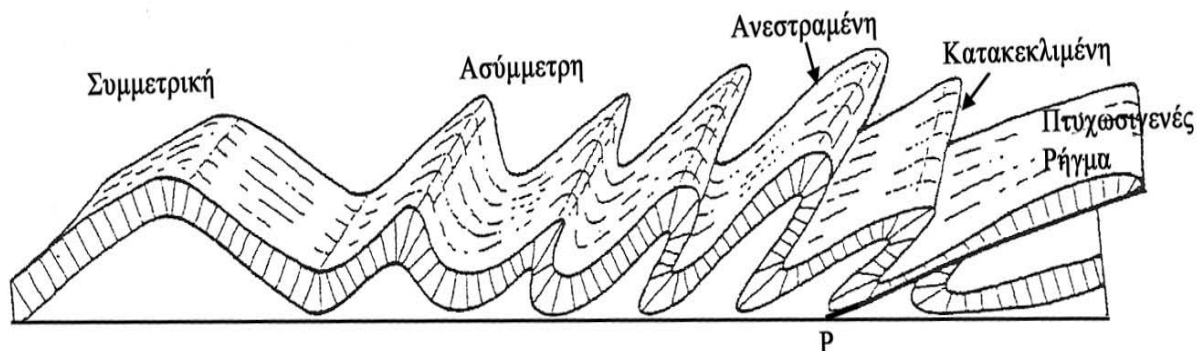
Η διάνοιξη ορύγματος κατά τον άξονα όρθιου αντικλίνου δεν παρουσιάζει σοβαρά προβλήματα ολισθήσεων στα επίπεδα στρώσης, ενώ αντίθετα τα προβλήματα είναι σοβαρότατα παράλληλα προς τον άξονα συγκλίνου. Το ίδιο ισχύει και στη περίπτωση διάνοιξης σήραγγας παράλληλα στο άξονα αντικλίνου, οι πιέσεις εξισορροπούνται από τα σκέλη του αντικλίνου, ενώ στον άξονα του συγκλίνου αναπτύσσονται μεγάλες πιέσεις και από τις δύο πλευρές προς τη βάση του συγκλίνου. Ο βαθμός καταπόνησης των πετρωμάτων και στις δυο περιπτώσεις είναι δυνατόν να προκαλέσει μεγάλες κατολισθήσεις. Γενικά όσο πιο έντονα πτυχωμένα είναι τα στρώματα τόσο μεγαλύτερη καταπόνηση έχουν υποστεί. Κατά τη γεωτεχνική έρευνα οι ράχες των μεγάλων αντικλίνων πρέπει να θεωρούνται ως ζώνες έντονης μηχανικής καταπόνησης και αποσάθρωσης.

### **Τύποι πτυχών**

Η ταξινόμηση των πτυχών είναι αρκετά δύσκολη γιατί οι πτυχές παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία μορφών. Ανάλογα με τη μορφή τους τις διακρίνουμε (Σχ. 46):

A) Ανάλογα με την κλίση του αξονικού επιπέδου:

- Αν το αξονικό επίπεδο είναι κατακόρυφο, η πτυχή είναι **όρθια** (Σχ. 46).



Σχ. 46. Τύποι πτυχών.

- Αν το αξονικό επίπεδο είναι κεκλιμένο: α) τα σκέλη των πτυχών κλίνουν προς αντίθετες διευθύνσεις η πτυχή είναι **κεκλιμένη**, β) τα σκέλη των πτυχών κλίνουν στην ίδια διεύθυνση, η πτυχή είναι **ανεστραμμένη**. Αν το αξονικό επίπεδο είναι οριζόντιο, η πτυχή είναι **κατακεκλιμένη** και τέλος αν το αξονικό επίπεδο έχει αρνητική κλίση, η πτυχή είναι **βυθισμένη** (Σχ. 46).

B) Με βάση το μέγεθος της γωνίας που σχηματίζουν τα σκέλη της πτυχής διακρίνονται σε: α) **ανοικτές**, τα σκέλη τους μεταξύ τους σχηματίζουν γωνία μεγαλύτερη των  $20^\circ$ , β) **κλειστές**, όταν τα σκέλη τους μεταξύ τους σχηματίζουν γωνία μικρότερη των  $20^\circ$  και γ) **ισοκλινείς**, των οποίων τα σκέλη έχουν την ίδια κλίση.

Γ) Ανάλογα με τον άξονα της πτυχής,: α) αν είναι ευθύγραμμος, σε **ευθύγραμμες**, β) αν είναι καμπύλος σε **καμπυλόγραμμες**.

Δ) Ανάλογα με την κλίση του άξονα των πτυχών σε: **οριζόντιες**, **καταδύομενες** και **κατακόρυφες**.

E) Από τη διαμόρφωση των σκελών: α) σε **ασύμμετρες πτυχές**, που τα σκέλη τους είναι ασύμμετρα ως προς το αξονικό επίπεδο και β) σε **συμμετρικές πτυχές**, που τα σκέλη είναι συμμετρικά ως προς το αξονικό επίπεδο. Τέλος ανάλογα με το πάχος των στρωμάτων σε **ισοπαχείς** ή **ανισοπαχείς**.

## 6.2. Επιφάνειες ασυνέχειας

Οι ιδιότητες των πετρωμάτων που περιγράψαμε, δηλαδή οι στρώσεις, οι διακλάσεις, τα ρήγματα και η σχιστότητα διακόπτουν τη συνέχεια της δομής των πετρωμάτων και αλλοιώνουν τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Τις επιφάνειες αυτές τις ονομάζουμε **επιφάνειες ασυνέχειας**. Απ' αυτές άλλες διακόπτουν τη συνέχεια του πετρώματος σε μεγάλη έκταση και χαρακτηρίζονται ως **επιφάνειες ολικής ασυνέχειας** ενώ άλλες διακόπτουν μεν τη συνέχεια του πετρώματος αλλά το μήκος και το πλάτος τους είναι περιορισμένο και αυτές χαρακτηρίζονται ως επιφάνειες **μερικής ασυνέχειας**. Η επίδραση των επιφανειών ασυνέχειας στα τεχνικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων είναι μεγάλη γιατί επηρεάζουν τη συμπεριφορά τους και την αντοχή τους στις διάφορες μηχανικές καταπονήσεις. Για παράδειγμα η υδροπερατότητα, η αντοχή στη θλίψη, τη διάτμηση κλπ. των πετρωμάτων μεταβάλλονται από την παρουσία των επιφανειών ασυνέχειας. Οι τιμές που παίρνουμε από μετρήσεις σε δοκίμια, δηλαδή σε μικρά κομμάτια πετρωμάτων, είναι διαφορετικές, μικρότερες, απ' ότι στη συνολική μάζα του πετρώματος στη φυσική του θέση, γιατί το δοκίμιο συνήθως δεν έχει τις ρωγμές και τις άλλες επιφάνειες διάτμησης που έχει το πέτρωμα. Τα πετρώματα στη φυσική τους θέση χαρακτηρίζονται με τον όρο «βράχος».

Οι επιφάνειες ασυνέχειας είναι θέσεις μειωμένης αντοχής των πετρωμάτων και αυξάνουν την επιφάνεια του πετρώματος που προσβάλλεται από τους παράγοντες αποσάθρωσης. Δια μέσου των ρωγμών και των επιφανειών ασυνέχειας βρίσκουν δίοδο τα νερά και αυξάνουν την υδροπερατότητά τους.

Η πυκνότητα των διακλάσεων έχει πολύ μεγάλη σημασία γιατί κατατέμνουν το πέτρωμα και το χωρίζουν σε μικρά κομμάτια και το μεταβάλλουν σε μια χαλαρωμένη μάζα.

Η σημασία των επιφανειών ασυνέχειας, της στρώσης και των διακλάσεων στη λατομική είναι μεγάλη. Η πυκνότητα των διακλάσεων αφενός και το πάχος των στρωμάτων αφετέρου, καθορίζουν τη δυνατότητα εξόρυξης και εκμετάλλευσης ιδιαίτερα αν πρόκειται για λατομεία μαρμάρου. Αν οι διακλάσεις και τα στρώματα έχουν ικανοποιητικές αποστάσεις μεταξύ τους διευκολύνουν την εξόρυξη μεγάλων όγκων που είναι εκμεταλλεύσιμοι, ενώ αν είναι πολύ πυκνές οι διακλάσεις επιτρέπουν την εξόρυξη μόνο πολύ μικρών όγκων που περιορίζουν τις δυνατότητες εκμετάλλευσής τους.

Οι ασυνέχειες, όπως ήδη αναφέραμε, επηρεάζουν την τεχνική και μηχανική συμπεριφορά των πετρωμάτων και γι αυτό είναι χρήσιμο να καταμετρώνται και να διαπιστώνεται το είδος των ασυνεχειών που αντιστοιχεί σε κάθε τρέχον μέτρο, δηλαδή να

βρίσκουμε την **πυκνότητα των ασυνεχειών**, πρώτα κάθε είδους χωριστά και έπειτα όλων μαζί.

μαζί. Όταν η πυκνότητα των ασυνεχειών είναι μεγάλη το πέτρωμα χωρίζεται σε πολλά μικρά κομμάτια και μετατρέπεται σε μια χαλαρωμένη μάζα.

### **6.2.1. Επιφάνειες ολικής ασυνέχειας**

α) Η στρώση χαρακτηρίζει τα ιζηματογενή πετρώματα και αποτελεί ένα επίπεδο που τέμνει το πέτρωμα σε μεγάλη έκταση διακόπτοντας τη συνέχειά του.

β) Τα ρήγματα αποτελούν επίσης επιφάνειες ολικής ασυνέχειας γιατί η επιφάνεια του ρήγματος διακόπτει τη συνέχεια των πετρωμάτων και τα οποία έχουν μετακινηθεί παράλληλα προς αυτή. Λόγω της τριβής η επιφάνεια είναι λεία και παρουσιάζει μικρότερη αντίσταση τριβής από τις άλλες επιφάνειες ασυνέχειας. Σε ρηξιγενείς περιοχές τα πετρώματα είναι έντονα καταπονημένα και θρυμματισμένα.

### **6.2.2. Επιφάνειες μερικής ασυνέχειας**

Οι διακλάσεις και η σχιστότητα είναι επιφάνειες μερικής ασυνέχειας γιατί έχουν περιορισμένο μήκος και πλάτος.

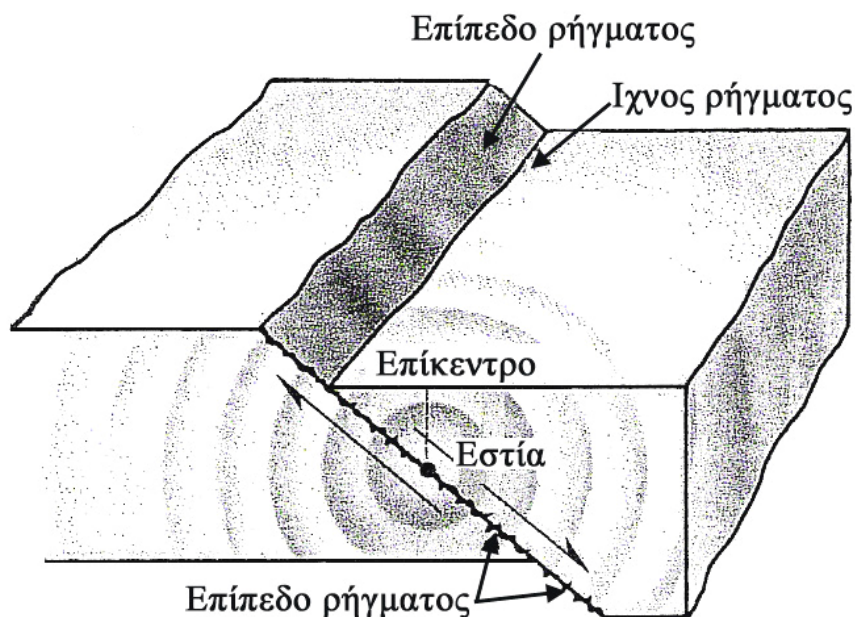
## 7. ΣΕΙΣΜΟΙ

---

Δονήσεις του υπεδάφους που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια διαταράξεων της μηχανικής ισορροπίας των πετρωμάτων (διάρρηξη και μετακίνηση) από φυσικά αίτια χαρακτηρίζονται ως σεισμοί. Οι δονήσεις αυτές έχουν διαφορετική ένταση. Άλλοτε είναι πολύ έντονες και μπορεί να προκαλέσουν ζημιές ή καταστροφές σε κατασκευές, ακόμη και ανθρώπινα θύματα και άλλοτε δεν γίνονται αισθητές από τους ανθρώπους αλλά καταγράφονται μόνο από ειδικά όργανα που ονομάζονται σειсмоγράφοι. Οι μεταβολές που προκαλούνται στο έδαφος και στις τεχνικές κατασκευές περιγράφονται ως μακροσεισμικά αποτελέσματα. Οι πληροφορίες που παρέχονται για ένα σεισμό και προέρχονται από τη μελέτη και ανάλυση των στοιχείων που καταγράφονται από τους σειсмоγράφους αποτελούν μικροσεισμικές πληροφορίες.

Στο εσωτερικό της γης, από τη δράση τεκτονικών δυνάμεων, συσσωρεύονται τάσεις, που όταν υπερβούν το όριο αντοχής των πετρωμάτων, αυτά θραύονται και απελευθερώνεται ελαστική ενέργεια, που προκαλεί μετακίνηση των ρηξιγενών τεμαχών και δημιουργούνται σεισμικά κύματα. Η διάρρηξη των πετρωμάτων προκαλεί σεισμό. Οι περισσότεροι σεισμοί που προκαλούν τα πιο καταστρεπτικά αποτελέσματα προέρχονται από μετατοπίσεις γήινων τεμαχών κατά μήκος ρηγμάτων και καλούνται τεκτονικοί σεισμοί. Με τον όρο «τεκτονικός» αναφερόμαστε σε κάθε μεταβολή που επέρχεται στα πετρώματα εξαιτίας μετατοπίσεων ή παραμορφώσεων. Όταν τα πετρώματα βρίσκονται σε σημείο θραυσμού μπορεί να προκληθεί σεισμός από εξωτερικούς παράγοντες, όπως δονήσεις από άλλο σεισμό από μεγάλη απόσταση.

Η διάρρηξη αρχίζει σε μια συγκεκριμένη περιοχή και διαδίδεται πάνω στο ρήγμα μέχρι να σταματήσει με μια ορισμένη ταχύτητα. Την θέση που έγινε η διάρρηξη τη θεωρούμε κατά προσέγγιση ως σημείο και λέγεται **σεισμική εστία** (Σχ. 47).



Σχ. 47. Θέση σεισμικής εστίας.

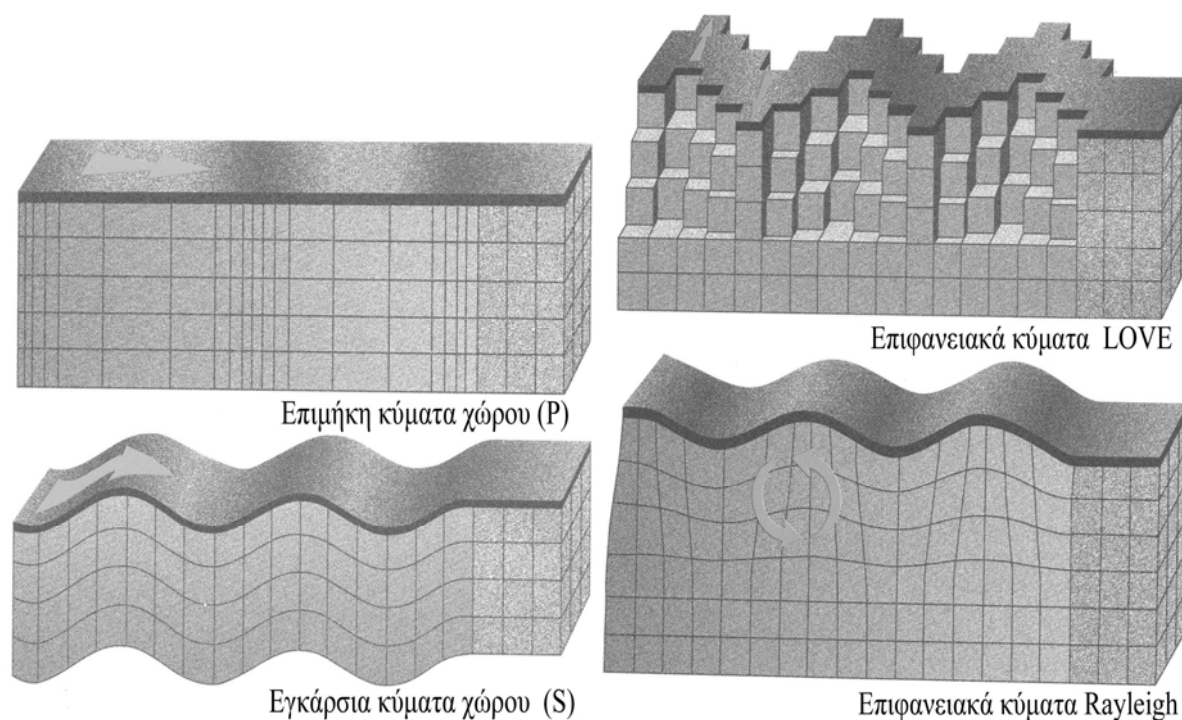
Η κατακόρυφη προβολή του σημείου αυτού στην επιφάνεια λέγεται **επίκεντρο** του σεισμού και η απόσταση της σεισμικής εστίας και του επικέντρου λέγεται **εστιακό βάθος**.

Η απόσταση του επικέντρου από το σημείο που έγινε αντιληπτός ο σεισμός π.χ. ένα σεισμολογικό σταθμό είναι η **επικεντρική απόσταση**.

Οι δονήσεις από τον σεισμό διαρκούν λίγα δευτερόλεπτα. Είναι δυνατόν όμως να προηγηθούν δονήσεις ασθενέστερες του κυρίως σεισμού, που καλούνται προσεισμοί και τον κύριο σεισμό ακολουθούν πάντοτε σειρά μετασεισμών. Οι προσεισμοί αντιπροσωπεύουν τους πρώτους θρυμματισμούς μικρών εμποδίων, που βρίσκονται στο επίπεδο του ρήγματος ή της ρηξιγενούς ζώνης. Ακολουθεί η κύρια κίνηση (κύριος σεισμός), ο οποίος μπορεί να διαταράξει συνδεδεμένα ρηξιγενή τεμάχια αλλά δεν αποκαθίσταται η σταθερότητα στην περιοχή και ακολουθεί σειρά μετασεισμών έως ότου αποκατασταθεί η ηρεμία. Καθώς τα πετρώματα σπάζουν κατά μήκος ενός ρήγματος, η ενέργεια που απελευθερώνεται διαδίδεται με τη μορφή κυμάτων προς όλες τις κατευθύνσεις. Τα σεισμικά κύματα είναι αποτέλεσμα της ελαστικής συμπεριφοράς των πετρωμάτων Σε ένα συγκεκριμένο σημείο στην επιφάνεια, φτάνουν πρώτα τα κύματα P (Primus) που τρέχουν με τη μεγαλύτερη ταχύτητα (4-8 χιλιόμετρα ανά δευτερόλεπτο). Πρόκειται για επιμήκη κύματα, όπως και τα ηχητικά, τα οποία συνίστανται από συμπίεσεις και αραιώσεις των ελαστικών υλικών και σ' αυτά οφείλεται η βοή που ακούγεται κατά τους σεισμούς. Τα κύματα αυτά ταξιδεύουν μέσα στα πετρώματα αλλά επίσης και στα υγρά. Αμέσως μετά φθάνουν τα δεύτερα κύματα που συμβολίζονται με

το γράμμα S (Secondary). Τα κύματα αυτά είναι εγκάρσια, ανάλογα προς αυτά του φωτός και μεταδίδονται κάθετα προς τη διεύθυνση κίνησης, μόνο στα στερεά (Σχ. 48).

Η διάδοση των σεισμικών κυμάτων στο εσωτερικό της γης εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους των πετρωμάτων που καθορίζουν τις ιδιότητές τους, όπως είναι η πυκνότητα και οι ελαστικές σταθερές.



Σχ. 48. Είδη σεισμικών κυμάτων.

Τα επιμήκη κύματα, P, διαδίδονται με ορισμένη ταχύτητα,  $\alpha$ , μέσα σ' ένα ισότροπο και ελαστικό μέσο. Η σχέση που δίνει την ταχύτητα είναι:

$$\alpha = \sqrt{\lambda + \frac{\mu}{\rho}}$$

όπου  $\lambda$  και  $\mu$  είναι ελαστικές σταθερές του Lamé, και  $\rho$  είναι η πυκνότητα του μέσου στο οποίο διαδίδονται τα κύματα.

Τα εγκάρσια κύματα, S, διαδίδονται με ορισμένη ταχύτητα,  $\beta$ , μέσα σ' ένα ισότροπο και ελαστικό μέσο, που δίνεται από τον τύπο:

$$\beta = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Για τα υγρά ο συντελεστής δυσκαμψίας  $\mu$  είναι 0 και συνεπώς τα εγκάρσια κύματα δεν διαδίδονται στα ρευστά. Η ταχύτητα των κυμάτων S κυμαίνεται από 2,5-3,5 km/sec και γι' αυτό φτάνουν μετά τα P που η ταχύτητά τους είναι της τάξης των 5,4 km/sec.

Μετρώντας τη διαφορά στο χρόνο άφιξης των P και S κυμάτων, οι σεισμολόγοι μπορούν γρήγορα και με σχετική ακρίβεια να υπολογίσουν την απόσταση που χωρίζει ένα σημείο παρατήρησης από την εστία του σεισμού. Τόσο τα κύματα P όσο και τα S διαδίδονται προς όλες τις διευθύνσεις ανεξάρτητα από το βάθος ονομάζονται κύματα χώρου και μας βοηθούν στη μελέτη του εσωτερικού της Γης.

Τα P και S κύματα φθάνοντας στην επιφάνεια της γης ανακλώνται και διαθλώνται όπως τα ηχητικά και τα φωτεινά κύματα και δίνουν γένεση σε ένα άλλο τύπο σεισμικών κυμάτων, που διαδίδονται κοντά στην επιφάνεια της Γης, όπως τα κύματα της θάλασσας που ρυτιδώνουν την επιφάνεια του νερού. Διακρίνουμε δυο είδη σεισμικών κυμάτων επιφάνειας, τα κύματα Love και τα κύματα Rayleigh (Σχ. 48).

Στα κύματα Love τα μόρια της ύλης σείονται παράλληλα προς την επιφάνεια του εδάφους κατά τη διεύθυνση διάδοσης και πήραν το όνομά τους από το Βρετανό μαθηματικό 'Ωγκαστ Λαβ που τα μελέτησε το 1911, ενώ στα κύματα Rayleigh τα μόρια της ύλης να κινούνται σε ελλειπτικές τροχιές με το μεγάλο άξονα κατακόρυφο και το μικρό παράλληλο προς τη διεύθυνση διάδοσης και ονομάστηκαν έτσι προς τιμήν του λόρδου Ρέιλη που προέβλεψε μαθηματικά την ύπαρξή τους το 1885.

Τόσο τα κύματα Love όσο και τα κύματα Rayleigh παθαίνουν σκέδαση, δηλαδή η ταχύτητα διάδοσής τους εξαρτάται από την περίοδο. Η ταχύτητα αυξάνει όταν αυξάνει η περίοδος. Η διάδοση κυμάτων μικρής περιόδου επηρεάζεται κυρίως από τις ιδιότητες του φλοιού ενώ η διάδοση κυμάτων μεγάλης περιόδου επηρεάζεται από τις ιδιότητες του ανώτερου μανδύα. Τα κύματα Love σε αντίθεση με τα P και S δεν διαδίδονται σε ομογενή μέσα και η διάδοσή τους στα ανώτερα στρώματα της Γης δείχνει ότι αυτά σε κάποιο βαθμό είναι ανομοιογενή.

Τα επιφανειακά κύματα εξ αιτίας του μεγάλου πλάτους ταλαντώσεως προκαλούν τις πιο βίαιες δονήσεις και χρησιμοποιείται η κλίμακα Richter για να μετρηθεί το μέγεθός τους.

Τα σεισμικά κύματα μεταφέρουν ενέργεια, η οποία ελαττώνεται με την απόσταση. Η απώλεια ενέργειας για τα κύματα P και S είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης, ενώ για τα κύματα Love και Rayleigh είναι αντιστρόφως ανάλογη προς την απόσταση. Αυτό δείχνει γιατί τα επιφανειακά κύματα είναι τόσο καταστρεπτικά..



## 7.1. Είδη σεισμών

Ως προς το βάθος των σεισμικών εστιών οι σεισμοί διακρίνονται:

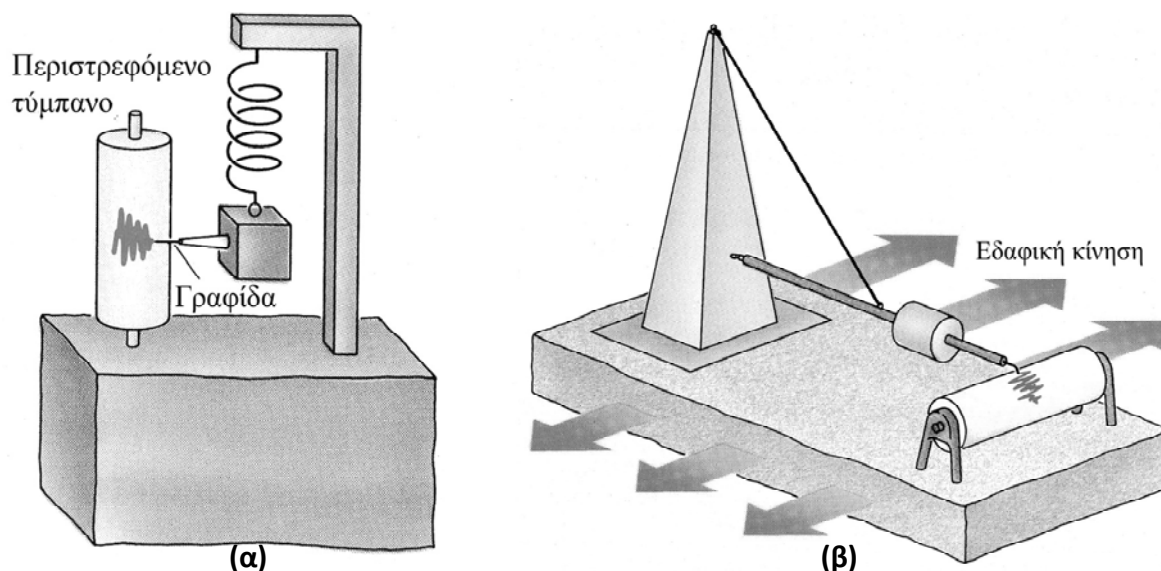
- Σεισμοί επιφανειακοί που το βάθος τους είναι μικρότερο των 60km.
- Σεισμοί ενδιάμεσου βάθους που το βάθος τους είναι  $60\text{km} \leq h \leq 300\text{km}$  και
- Σεισμοί μεγάλου βάθους  $\geq 300\text{km}$ . Οι ενδιάμεσοι και μεγάλου βάθους σεισμοί λέγονται και πλουτώνιοι.

Ανάλογα με τα αίτια γένεσης οι σεισμοί διακρίνονται:

- A) Τεκτονικοί σεισμοί Προκαλούνται από τη διάρρηξη των πετρωμάτων και αποτελούν το 85,5% του συνόλου των σεισμών μικρού βάθους.
- B) Ηφαιστειογενείς σεισμοί προκαλούνται από ηφαιστειακές εκρήξεις και αποτελούν το 6,65% του συνόλου των σεισμών.
- Γ) Εγκατακρημνισιογενείς σεισμοί προκαλούνται από την εγκατακρήμνιση της οροφής υπόγειων σπηλαίων ή κρατήρων ηφαιστείων και αποτελούν το 2,85% των σεισμών.
- Δ) Διάφοροι σεισμοί δημιουργούνται από «λανθάνουσες εστίες» δηλαδή θέσεις στις οποίες έχουν συγκεντρωθεί τάσεις αλλά δεν είναι ακόμη αρκετές ώστε να προκαλέσουν σεισμό αλλά ενεργοποιούνται από άλλα αίτια όπως από τη δημιουργία φραγμάτων, εκρήξεις, ανατινάξεις, κλπ.

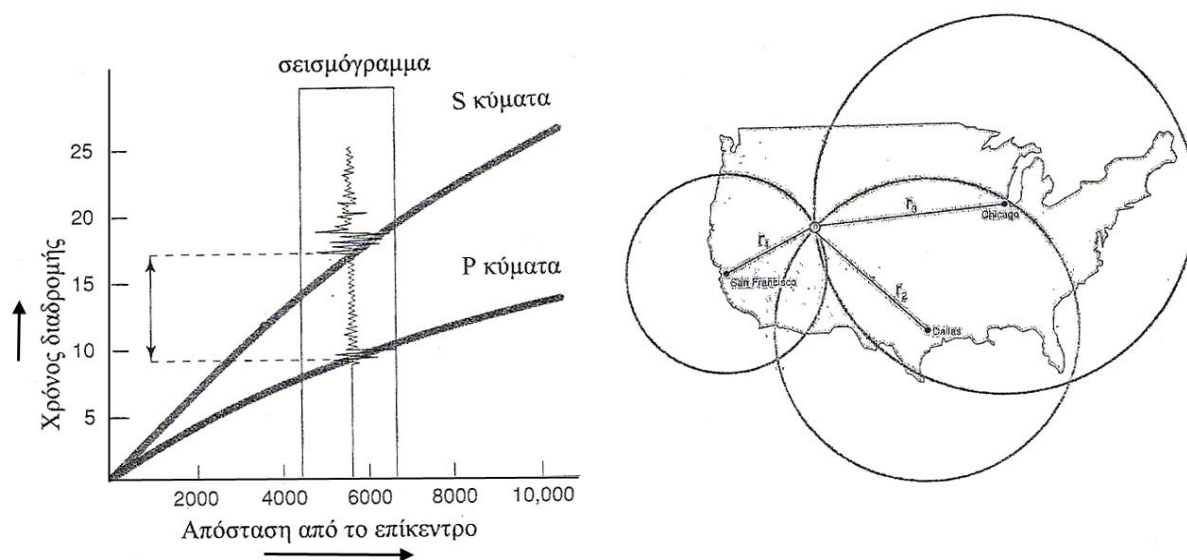
## 7.2. Μετρήσεις των σεισμών

Η μελέτη των σεισμών γίνεται από τη σεισμολογία, που είναι η επιστήμη που ασχολείται με τη μελέτη των σεισμικών κυμάτων. Τα σεισμικά κύματα που παράγονται στους διάφορους σεισμούς καταγράφονται από ειδικά όργανα, τους σεισμογράφους και στη συνέχεια αναλύονται και μελετώνται. Οι σεισμογράφοι είναι όργανα καταγραφής των ταλαντώσεων που προκαλούνται από τον σεισμό και είναι ευαίσθητα κατακόρυφα (Σχ. 49 α) ή οριζόντια εκκρεμή (Σχ. 49 β). Οι σεισμογράφοι καταγράφουν είτε την κατακόρυφο είτε την οριζόντια συνιστώσα των κραδασμών του εδάφους. Ένας καλός σεισμολογικός σταθμός πρέπει να είναι εφοδιασμένος με ένα οριζόντιο σεισμογράφο δυνατότητας καταγραφής των δύο οριζοντίων συνιστωσών και έναν κατακόρυφο. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία σεισμογράφων. Σεισμογράφοι μηχανικής αναγραφής, οπτικής αναγραφής, ηλεκτρομαγνητικοί, κλπ.



Σχ. 49. α) Κατακόρυφος σειсмоγράφος και β) Οριζόντιος σειсмоγράφος.

Στον ελληνικό χώρο για την παρακολούθηση και καταγραφή της σεισμικής δραστηριότητας έχουν ιδρυθεί και λειτουργούν πολλοί σεισμολογικοί σταθμοί. Ο πρώτος σειсмоγράφος «Αγαμέμνων» εγκαταστάθηκε το 1898 στο γεωδυναμικό Ινστιτούτο της Αθήνας, που λειτούργησε έως το 1910. Από τότε ο σταθμός έχει εξοπλισθεί και ανανεωθεί και αποτελεί ένα σύγχρονο σεισμολογικό κέντρο. Σήμερα έχουν ιδρυθεί και λειτουργούν 31 σεισμολογικοί σταθμοί από τους οποίους οι 27 είναι τηλεμετρικοί.



Σχ 50. α) Σεισμόγραμμα β) διάγραμμα εύρεσης της εστιακής απόστασης γ) προσδιορισμός του επικέντρου.

### 7.3. Προσδιορισμός επικεντρικής απόστασης και εστιακού βάθους

Ο καθορισμός του επικέντρου ενός σεισμού βρίσκεται με βάση τη χρονική διαφορά άφιξης των κυμάτων P και S. Σύμφωνα μ' αυτό για κάθε σειсмоγράφο κατασκευάζονται πρότυπες καμπύλες που απεικονίζουν τις διαδρομές των κυμάτων από σεισμούς γνωστών επικέντρων ή σεισμικών δονήσεων, που οφείλονται σε πυρηνικές δοκιμές, σε διαγράμματα με άξονα τετμημένων την επικεντρική απόσταση και άξονα τεταγμένων τους χρόνους αφίξεων. Στη συνέχεια το σειсмоγράμμα ενός σεισμού μεταφέρεται και τοποθετείται στο πρότυπο διάγραμμα σε θέση που οι χρόνοι άφιξης των P και των S κυμάτων να συμπέσουν με τους αντίστοιχους χρόνους του διαγράμματος και στον άξονα τετμημένων βρίσκουμε την απόσταση από το επίκεντρο. Για να ορισθεί η ακριβής θέση στο χώρο απαιτούνται οι αναγραφές από τρεις σταθμούς. Στη συνέχεια με κέντρο κάθε σεισμολογικό σταθμό και ακτίνα την επικεντρική απόσταση από αυτόν διαγράφουμε κύκλους. Το σημείο τομής των τριών κύκλων είναι η θέση του επικέντρου (Σχ. 50).

Προκειμένου να προσδιορίσουμε το εστιακό βάθος των σεισμών υπάρχουν διάφορες μέθοδοι. Πιο κάτω θα αναφέρουμε δύο απ' αυτές.

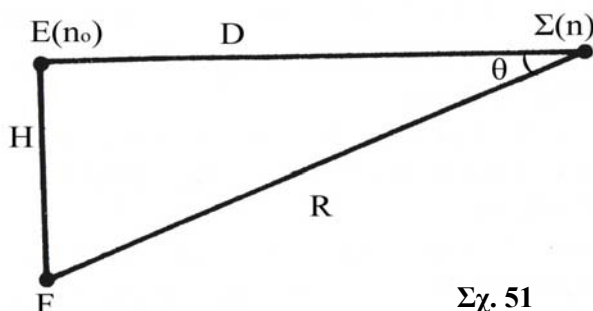
A) Υπολογίζουμε την εστιακή απόσταση από τον σεισμολογικό σταθμό γνωρίζοντας τις ταχύτητες των P και S κυμάτων και βρίσκουμε από το σειсмоγράμμα τη διαφορά του χρόνου άφιξής τους. Έτσι αν  $t_p$  και  $t_s$  είναι οι χρόνοι διαδρομής των επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων και  $v_p$  και  $v_s$  αντίστοιχα οι ταχύτητές τους τότε η εστιακή απόσταση  $R$  προκύπτει από τη σχέση:

$$R = \frac{v_p * v_s}{v_p - v_s} * (t_s - t_p)$$

Οι χρόνοι διαδρομής αντιστοιχούν στους χρόνους άφιξης των αντιστοίχων κυμάτων που μετριούνται στο σειсмоγράμμα και έτσι προσδιορίζεται την εστιακή απόσταση  $R$ . Η επικεντρική απόσταση  $D$  έχει προσδιοριστεί ή από τα αζιμούθια σε σχέση με δυο ή περισσότερους σταθμούς ή από μακροσεισμικά δεδομένα, είτε από τους πίνακες των χρόνων διαδρομής. Τα τρία σημεία επίκεντρο, εστία και σεισμολογικός σταθμός σχηματίζουν ένα ορθογώνιο τρίγωνο από το οποίο βρίσκουμε το βάθος της σεισμικής εστίας  $h$  από τη σχέση

$$H^2 = R^2 - D^2 \text{ και } H = \sqrt{R^2 - D^2}$$

Β) Υπολογίζουμε την επικεντρική **D** απόσταση από το σταθμό γνωρίζοντας την εστιακή απόσταση **R**, την ένταση του σεισμού στο επίκεντρο **n<sub>o</sub>** και την ένταση στο σταθμό **n**.



Σχ. 51

Έχει διαπιστωθεί ότι η ένταση του σεισμού ελαττώνεται όσο απομακρυνόμαστε από το επίκεντρο κατά σχέση αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης. Έτσι έχουμε τη σχέση από το τρίγωνο (Σχ. 51).

$$\frac{n_o}{n} = \frac{H^2}{R^2} = (\eta\mu\theta)^2$$

Βρίσκουμε τη γωνία θ και στη συνέχεια υπολογίζουμε το βάθος **H**

$$H = D * \varepsilon\phi\theta$$

## 7.4. Μέγεθος και ένταση των σεισμών

Όπως αναφέραμε ο σεισμός δημιουργείται από θραύση των πετρωμάτων, δηλαδή η ενέργεια της ελαστικής παραμόρφωσης κατά τη θραύση μετατρέπεται σε σεισμική ενέργεια. **Μέγεθος M** ενός σεισμού είναι το μέτρο της ολικής ενέργειας που απελευθερώνεται κατά το σεισμό και προσδιορίζεται με μετρήσεις των παραμέτρων των σεισμικών κυμάτων που παράγονται.

Η ποσότητα της ενέργειας δεν είναι δυνατόν να μετρηθεί επακριβώς αλλά προσεγγίζεται με βάση τα πλάτη των ταλαντώσεων των σεισμικών κυμάτων. Διαπιστώθηκε από τον Richter ότι τα μέγιστα πλάτη των κυμάτων μειώνονται όσο απομακρυνόμαστε από το επίκεντρο ενώ οι καμπύλες είναι παράλληλες μεταξύ τους, διότι τα κύματα διαδίδονται στο ίδιο υπόβαθρο. Πρώτος ο Richter το 1930 θέσπισε την ομόνομη κλίμακα για τη μέτρηση του μεγέθους των σεισμών. Η κλίμακα Richter είναι λογαριθμική. Αυτό σημαίνει ότι

ανεβαίνοντας μια βαθμίδα στην κλίμακα η ενέργεια που εκλύεται είναι 32 φορές περίπου μεγαλύτερη και αντιστοιχεί σε δεκαπλάσια αύξηση του πλάτους των εγκαρσίων κυμάτων.

Ως **μέγεθος** του σεισμού ορίστηκε ο δεκαδικός λογάριθμος του μεγίστου πλάτους αναγραφής του σεισμού σε μικρά (**μ**), από πρότυπο σειсмоγράφο που βρίσκεται σε επικεντρική απόσταση **100 km**. Ως πρότυπος σειсмоγράφος χρησιμοποιήθηκε ο σειсмоγράφος Wood-Anderson. Πρόσφατα αναπτύχθηκαν και άλλες κλίμακες μεγεθών. Θεωρείται πιο ακριβής η κλίμακα **σεισμικής ροπής, Mw**.

Όπως αναφέραμε, **κατά τη γένεση ενός σεισμού η δυναμική ενέργεια που απελευθερώνεται μετατρέπεται σε σεισμική**. Από μετρήσεις προκύπτει ότι ο λογάριθμος της ενέργειας είναι γραμμική συνάρτηση του επιφανειακού μεγέθους του σεισμού. Έτσι:

$$\log E = A + B M_s$$

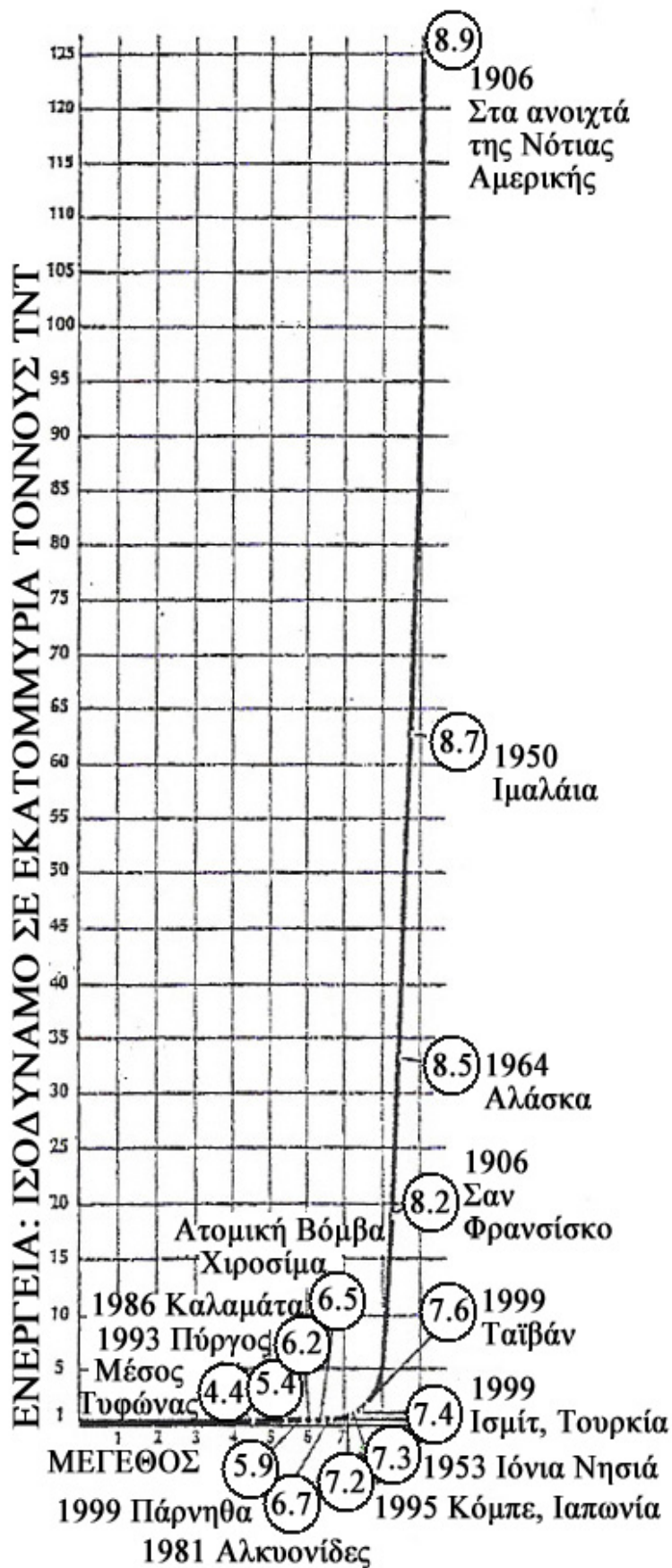
όπου  $A=2,24$  και  $B=1,44$ , όταν η ενέργεια μετριέται σε έργια και είναι  $M_s > 5$ .

Για ευκολία στο παραπάνω τύπο στο  $A$  μπορεί να μπει 10 και στο  $B$  το 2. Από τη σχέση αυτή προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές για  $\log E$  σε σχέση με το μέγεθος (κατά Gutenberg και Richter, 1956). Το παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 52) εμφανίζει την ενέργεια που εκλύεται στα διάφορα σεισμικά μεγέθη.

Δηλαδή σε σεισμό πχ. μεγέθους 3 απελευθερώνεται ενέργεια  $10^{15,3}$  και σε  $M=8$  απελευθερώνεται ενέργεια  $10^{23,1}$ .

Η **ένταση (I)** ενός σεισμού είναι το μέτρο των φυσικών καταστροφών που προκαλεί ο σεισμός και έχει εμπειρικό χαρακτήρα, δηλαδή πόσο αισθητός έγινε ο σεισμός σε μια περιοχή και τι ζημιές προκάλεσε. Με βάση υποκειμενικές παρατηρήσεις και περιγραφές έγινε η βαθμονόμηση μιας δωδεκαβάθμιας εμπειρικής κλίμακας της κλίμακας Mercalli-Sieberg.

Η ένταση μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από το επίκεντρο και επίσης επηρεάζεται από τις γεωλογικές συνθήκες. Η ένταση καθορίζεται κυρίως από την επιτάχυνση των εδαφικών μορίων, αλλά και από τη διάρκεια και τον αριθμό των ωθήσεων. Η ένταση των σεισμών εκφράζεται σε μονάδες επιτάχυνσης, μετριέται με ειδικά όργανα τα επιταχυνσιόμετρα και ελαττώνεται κατά σχέση αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης. Από όσα αναφέραμε γίνεται φανερό ότι η ένταση μεταβάλλεται από θέση σε θέση. Τα επιταχυνσιόμετρα στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά στην Τεχνική Σεισμολογία και τοποθετούνται σε κτίρια για μέτρηση της επιτάχυνση κατά τη γένεση των σεισμών.



Σχ. 52 Στο διάγραμμα φαίνεται η ενέργεια που εκλύεται στα διάφορα σεισμικά μεγέθη της κλίμακας Richter.

M	0	1	2	3	4	5	6	7	8	8,6
logE	9,4	11,5	13,5	15,3	17,4	18,8	20,3	21,7	23,1	23,8

### Κλίμακα Mercalli-Sieberg

- I Καταγράφεται μόνο από τα σεισμικά όργανα.
- II Αισθητός από μερικούς σε ηρεμία που βρίσκονται στους ψηλότερους ορόφους.
- III Αισθητός από λίγους στα σπίτια.
- IV Αισθητός από πολλούς στα σπίτια και από μερικούς στο ύπαιθρο. Ξύπνημα λίγων. Χτυπούν παράθυρα και πόρτες.
- V Αισθητός από όλους στα σπίτια και στο ύπαιθρο. Ξύπνημα πολυάριθμων. Αιώρηση ελεύθερα κρεμασμένων αντικειμένων και ανατροπή μικρών αντικειμένων. Ήχηση κουδουνιών.
- VI Ήχηση μικρών καμπάνων. Ανατροπή πολυάριθμων μεγάλων αντικειμένων. Πτώση λίγων κεραμιδιών, καπνοδόχων. Λίγες, ελαφρές βλάβες.
- VII Ήχηση μεγάλων καμπάνων. Πτώση πολυάριθμων κεραμιδιών, καπνοδόχων. Πολλές μέτριες βλάβες. Μερική καταστροφή λίγων οικοδομών.
- VIII Μερική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 25% του ολικού αριθμού των κανονικών οικοδομών. Ολική καταστροφή λίγων κτιρίων.
- IX Μερική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% του ολικού αριθμού των κανονικών οικοδομών. Ολική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 25% του ολικού αριθμού των κτιρίων.
- X Μερική καταστροφή όλων των κανονικών οικοδομών. Ολική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% του ολικού αριθμού των κτιρίων.
- XI Ολική καταστροφή όλων των κτιρίων.
- XII Κατάρρευση όλων των οικοδομών μέχρι τα θεμέλια.

Μια κίνηση του εδάφους ή μια ταλάντευση μιας οικοδομής μπορεί να κριθεί από τη μετάθεση, την ταχύτητα ή την επιτάχυνση. Η επιτάχυνση μετριέται σε μονάδες επιτάχυνσης της βαρύτητας (g). Όταν επιτάχυνση υπερβεί την τιμή g (ένταση XII) τότε τα αντικείμενα που βρίσκονται στο έδαφος εκσφενδονίζονται, η επιτάχυνση αποκτά την μέγιστη απόλυτη τιμή της. Ο λογάριθμος της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης που προκαλεί ένας σεισμός σε

ένα τόπο είναι γραμμική συνάρτηση της έντασης του σεισμού στον τόπο αυτό. Για τον ελληνικό χώρο ισχύει η σχέση:

$$\mathbf{Loga} = \mathbf{0,27 \cdot I + 0,25} \quad (\text{Θεοδουλίδης και Παπαζάχος, 1989})$$

όταν η επιτάχυνση μετριέται σε  $\text{cm/sec}^2$  και  $a$ =σταθερή. Για την παρουσίαση της γεωγραφικής κατανομής των σεισμικών εντάσεων με απλό και παραστατικό τρόπο χρησιμοποιούνται οι **ισόσειστες καμπύλες**. Περιοχές με την ίδια σεισμική ένταση περικλείονται με μια γραμμή και ορίζεται μια ζώνη στην οποία οι περιοχές που περικλείονται έχουν την ίδια ένταση. Η τιμή των εντάσεων μειώνεται από το κέντρο προς τα έξω. Η περιοχή με τη μέγιστη ένταση λέγεται **πλειόσειστη** και αντιστοιχεί στο μακροσκοπικό **επίκεντρο**.

Οι πληροφορίες που υπήρχαν παλιότερα σχετικά με τους σεισμούς έδιναν τις περιγραφές ανάλογα με τα αποτελέσματα, δηλαδή την ένταση. Προκειμένου να αξιοποιηθούν αυτά ήταν απαραίτητο υπολογιστεί η εκλυόμενη ενέργεια δηλαδή να υπολογιστεί το μέγεθός τους. Έτσι για τον ελληνικό χώρο η σχέση μεγέθους σεισμού και έντασης Mercalli δίνεται με τον εμπειρικό τύπο

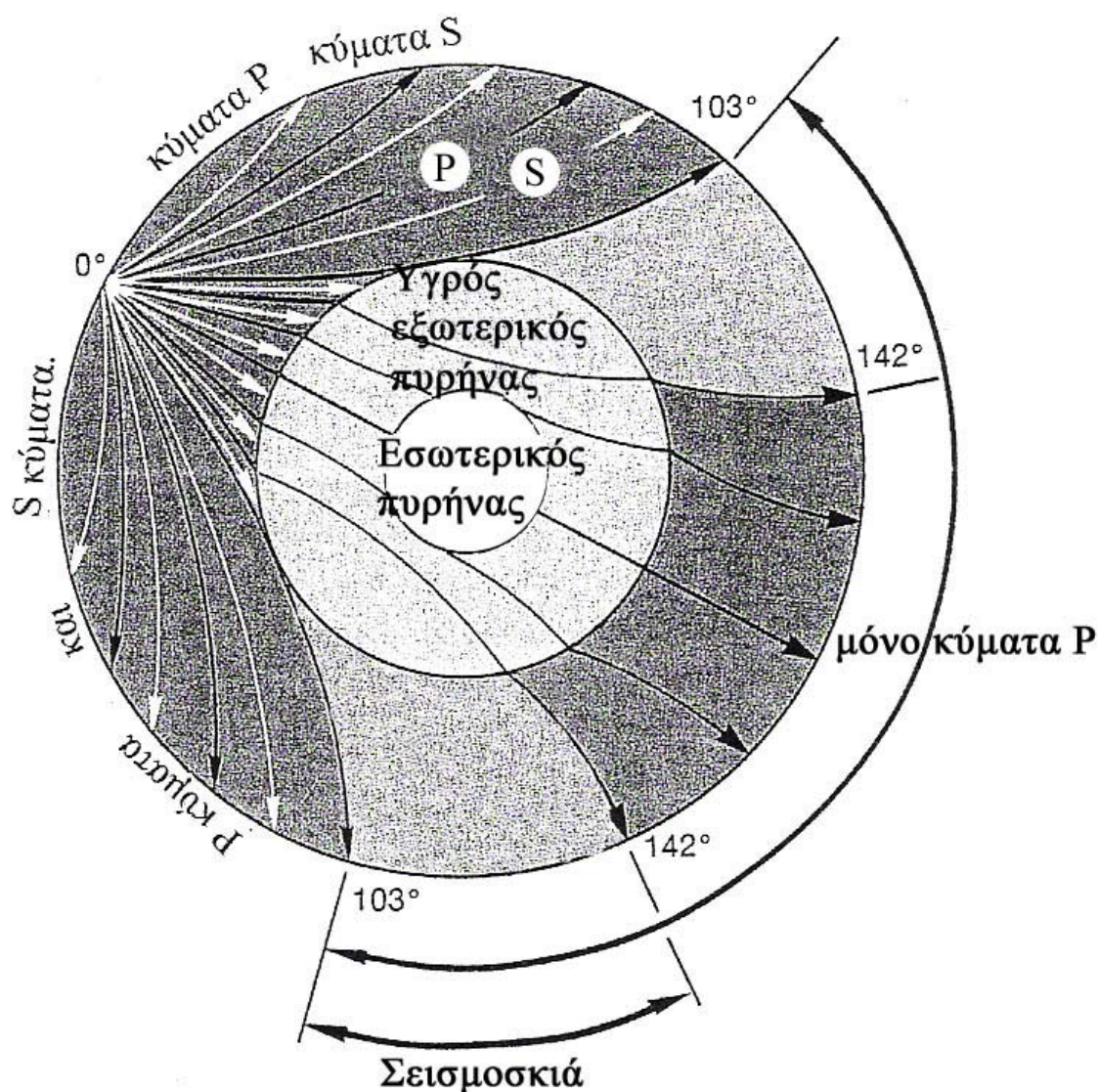
$$\mathbf{M} = \mathbf{0,621 + 2,035 \cdot \log R + 0,002 \cdot R - 0,6 - 96} \quad (\text{Παπαζάχος})$$

όπου R είναι η απόσταση από την εστία του σεισμού.

## **7.5. Διάδοση των σεισμικών κυμάτων. Οι εσωτερικές ζώνες της Γης**

Τα εγκάρσια και επιμήκη σεισμικά κύματα που παράγονται στη σεισμική εστία διαδίδονται στο εσωτερικό της Γης και φθάνουν στην επιφάνεια όπου μπορούν να καταγραφούν από τους σειсмоγράφους. Επειδή η Γη δεν είναι ομογενής, τα σεισμικά κύματα κατά τη διάδοσή τους στο εσωτερικό της, παθαίνουν ανακλάσεις και διαθλάσεις στο εσωτερικό της καθώς στην εξωτερική επιφάνεια της Γης και για το λόγο αυτό δημιουργούνται πολλές κατηγορίες κυμάτων που καταγράφονται από τα σεισμικά όργανα. Οι κατηγορίες αυτές λέγονται φάσεις και διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τις ιδιότητές τους. Η μελέτη των ιδιοτήτων αυτών οδήγησε στον καθορισμό των φυσικών χαρακτηριστικών των πετρωμάτων και τη δομή της Γης. Οι επαφή μεταξύ δύο στρωμάτων που παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στις φυσικές τους ιδιότητες που επιφέρουν έντονες μεταβολές στις ταχύτητες των σεισμικών κυμάτων χαρακτηρίζονται ως επιφάνειες ασυνέχειας.





Σχ. 53. Η δομή της Γης όπως αποκαλύπτεται από τη διάδοση των σεισμικών κυμάτων.

Οι ελαστικές παράμετροι των υλικών και η πυκνότητα καθορίζουν, όπως αναφέραμε, την ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων. Από τη μελέτη της ταχύτητας διάδοσης των διαφόρων φάσεων των σεισμικών κυμάτων διαχωρίστηκαν στο εσωτερικό της Γη οι πιο κάτω ζώνες (Σχ. 53):

**Α) Ο φλοιός** χαρακτηρίζεται από μικρή ταχύτητα σεισμικών κυμάτων. Διαχωρίζεται με την ασυνέχεια Mohorovicic από τον υποκείμενο μανδύα στον οποίο η ταχύτητες αυξάνουν απότομα. Το μέσο πάχος του φλοιού κάτω από τους ωκεανούς είναι 6 km και στις ηπείρους φθάνει 30-50 km. Στο φλοιό διακρίνουμε την ύπαρξη του γρανιτικού στρώματος πυκνότητα  $2,7\text{gr/cm}^3$  στο οποίο οι ταχύτητες των P κυμάτων είναι 5,6 km/sec και των S 3,7 Km/sec και το βασαλτικό στρώμα πυκνότητα

$3,0\text{gr/cm}^3$  με ταχύτητες των P κυμάτων  $8,1\text{ km/sec}$  και των S  $4,4\text{ km/sec}$ . Η θερμοκρασία στα όρια φλοιού-μανδύα ανέρχεται στους  $800-1.000^\circ\text{C}$ .

**Β) Ο μανδύας** είναι το τμήμα που βρίσκεται κάτω από το φλοιό και περιλαμβάνεται ανάμεσα στην ασυνέχεια Mohorovicic και την ασυνέχεια Gutenberg που βρίσκεται σε βάθος  $2.900\text{ km}$ . Αποτελεί το  $80\%$  του όγκου της Γης. Πετρώματα του μανδύα συναντώνται μόνο σε λίγες θέσεις στην επιφάνεια της Γης όπου έχει ανέλθει μανδύας παλιότερων γεωλογικών περιόδων όπου έχουν μελετηθεί. Οι πληροφορίες για τη σύστασή του προέρχονται κυρίως από την πειραματική πετρογραφία σε συνδυασμό με τις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων και θεωρείται ότι έχει υπερβασική σύσταση και αποτελείται από περιδοτίτες και εκλογίτες.

Το τμήμα του ανωτέρου μανδύα, που βρίσκεται σε βάθος από  $100\text{ km}$  έως  $300\text{ km}$ , χαρακτηρίζεται από απότομη μείωση της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων (ζώνη χαμηλών ταχυτήτων) και ονομάστηκε **ασθενόσφαιρα**. Τα υλικά στην ασθενόσφαιρα πιστεύεται ότι βρίσκονται κοντά στο σημείο τήξεως και για το λόγο αυτό παρουσιάζουν μια πλαστική συμπεριφορά και κυριαρχούν ερπυστικές κινήσεις.

Το ανώτερο τμήμα του ανωτέρου μανδύα, δηλαδή αυτό που βρίσκεται πάνω από την ασθενόσφαιρα μαζί με τον φλοιό αποτελεί τη **λιθόσφαιρα** που έχει ελαστική συμπεριφορά. Το πάχος της λιθόσφαιρας κάτω από τους ωκεανούς φθάνει τα  $70\text{ km}$  ενώ κάτω από τις ηπείρους τα  $130\text{ km}$ . Αντίθετα το πάχος της ασθενόσφαιρας αυξάνει από τις ηπείρους προς τους ωκεανούς. Η αναγνώριση της ασθενόσφαιρας και της λιθόσφαιρας ήταν σημαντικότερες για την εδραίωση της θεωρίας των λοθοσφαιρικών πλακών

Στο βάθος των  $400\text{ km}$  έως τα  $670\text{ km}$  παρατηρείται αύξηση της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων που οφείλεται σε αλλαγή του χημισμού και αποτελεί μια μεταβατική ζώνη. Στο βάθος των  $670\text{ km}$  διαπιστώνεται μια επιφάνεια ασυνέχειας δεύτερης τάξης, η ασυνέχεια Repetti που διαχωρίζει τον **ανώτερο μανδύα** από το **κατώτερο μανδύα**. Η πυκνότητα του ανώτερου μανδύα κυμαίνεται περίπου σε  $3,0\text{gr/cm}^3$  και του κατώτερου στα  $5,5\text{gr/cm}^3$  οι ταχύτητες δε των P κυμάτων στον μεν ανώτερο μανδύα είναι της τάξης των  $8,2\text{ km/sec}$  στον κατώτερο δε των  $13,6\text{ km/sec}$ . Ο ανώτερος μανδύας μαζί με το φλοιό αποτελούν την **τεκτονόσφαιρα** που είναι το τμήμα της Γης μέσα στο οποίο παράγονται οι σεισμοί.

Ο μανδύας συνίσταται από υπερβασικά πετρώματα, όπως περιδοτίτες και εκλογίτες. Τα πετρώματα αυτά αποτελούνται από ολιβίνη, πυρόξενους και γρανάτες.

**Γ) Ο πυρήνας** διαχωρίζεται από τον μανδύα με την ασυνέχεια Gutenberg που βρίσκεται σε βάθος  $2.920\text{ Km}$  από την επιφάνεια και καταλαμβάνει το κεντρικό

τιμήμα της γήινης σφαίρας. Η ύπαρξη της σκιερής ζώνης των κυμάτων P και δεδομένου ότι τα κύματα S δεν διαδίδονται στα υγρά θεωρήθηκε ότι ολόκληρος ο πυρήνας είναι σε ρευστή κατάσταση. Σε βάθος όμως 4.970 km διαπιστώθηκε απότομη αύξηση της ταχύτητας των P σεισμικών κυμάτων που δείχνει την ύπαρξη μιας ασυνέχειας, της ασυνέχειας Lehman, που χωρίζει τον εξωτερικό από τον εσωτερικό πυρήνα. Η αύξηση της ταχύτητας των P κυμάτων σημαίνει ότι αντίθετα προς τον εξωτερικό πυρήνα που είναι σε ρευστή κατάσταση, ο εσωτερικός είναι σε στερεά κατάσταση. Η θερμοκρασία στον εξωτερικό πυρήνα είναι της τάξης των 3.000° C και η πυκνότητα 8-9,5gr/cm<sup>3</sup>, ενώ στον εσωτερικό πυρήνα η θερμοκρασία φθάνει τους 6.000° C και η πυκνότητα 10-13.

Ο πυρήνας είναι πλούσιος σε σίδηρο και νικέλιο. Στον εξωτερικό πυρήνα εκτός από σίδηρο και νικέλιο, πιθανώς υπάρχουν και άλλα στοιχεία μικρότερης πυκνότητας όπως S, O, He που χαμηλώνουν το σημείο τήξεως και για το λόγο αυτό ο εξωτερικός πυρήνας είναι σε ρευστή κατάσταση. Το μαγνητικό πεδίο της Γης πιστεύεται ότι οφείλεται στην ύπαρξη του ρευστού εξωτερικού πυρήνα.

## 7.6. Σεισμοσκιά

Με τη μελέτη των αναγραφών των διαφόρων φάσεων από σεισμούς, που οι επικεντρικές τους αποστάσεις από τους σταθμούς αναγραφής απέχουν μέχρι 1.000 km, έγινε δυνατός ο καθορισμός των φυσικών ιδιοτήτων του φλοιού της Γης. Τα κύματα που αναχωρούν από μια εστία που βρίσκεται μέσα στο φλοιό διασχίζουν τις διάφορες ζώνες που αποτελείται η Γη και υφίστανται ανακλάσεις ή διαθλάσεις κατά τη διαδρομή μέσα σ' αυτές, που οφείλονται στις διαφορετικές φυσικοχημικές τους ιδιότητες και στη γωνία πρόσπτωσης των σεισμικών κυμάτων στις διάφορες επιφάνειες ασυνέχειας. Ένας σεισμός είναι δυνατόν να καταγραφεί από σεισμολογικούς σταθμούς που βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις από τη σεισμική εστία. Τα κύματα διαγράφουν όλες τις δυνατές διαδρομές. Π.χ. μπορεί να ανακλαστούν μια ή περισσότερες φορές στην επιφάνεια της Γης, ή να ανακλαστούν στην επιφάνεια που διαχωρίζει το φλοιό από το μανδύα, τον μανδύα από τον πυρήνα κλπ. (Σχ. 53). Αυτό που είναι αξιοσημείωτο είναι ότι τα κύματα P εμφανίζονται μέχρι την επικεντρική απόσταση των 11.600 km ή των 103° περίπου, δηλαδή μέχρι την απόσταση που αναδύεται η σεισμική ακτίνα που περνάει από την εστία και εφάπτεται εξωτερικά στον πυρήνα. Από το σημείο αυτό μέχρι την απόσταση των 16.000 km ή τις 142° δημιουργείται μια σκιερή ζώνη,

που χαρακτηρίζεται ως **σεισμοσκιά** δηλαδή δεν καταγράφονται σεισμικά κύματα ούτε εγκάρσια ούτε επιμήκη.

## 7.7. Αποτελέσματα των σεισμών

Τα τελευταία χρόνια έχουμε αναφορές για πολλούς σεισμούς και γεννάται το ερώτημα αν πράγματι έχουν πυκνώσει οι σεισμοί τα τελευταία χρόνια. Για παράδειγμα το 1999 ο Εγκέλαδος έκανε το γύρο του κόσμου μέσα σε 45 ημέρες με τους σεισμούς στην Τουρκία, την Ελλάδα, την Ταϊβάν και την Κεντρική Αμερική. Μέσα σε ένα χρόνο 19 σεισμοί σε όλο τον κόσμο ξεπέρασαν τα 7 Ρίχτερ. Η απάντηση στο ερώτημα είναι όχι. Ο αριθμός αυτός είναι απόλυτα φυσιολογικός και πολύ κοντά στο μέσο όρο. Αυτό όμως που συμβαίνει είναι ότι τελευταία χρόνια αφενός όλο και περισσότεροι σταθμοί καταγράφουν και την παραμικρή σεισμική δόνηση σε όλα τα μήκη και τα πλάτη της Γης και αφετέρου η πληροφόρηση είναι μεγαλύτερη και ταχύτερη δημιουργώντας την αίσθηση αυτή.

Το πρόβλημα των σεισμών όμως είναι υπαρκτό και είμαστε αναγκασμένοι να το αντιμετωπίσουμε. Άλλες περιοχές έχουν έντονο πρόβλημα και άλλες όχι. Οι πόλεις σήμερα είναι μεγάλες σε έκταση με πολύ πληθυσμό και μεγάλα κτίρια τόσο σε όγκο όσο και σε ύψος, ενώ παράλληλα κατασκευάζονται και μεγάλα τεχνικά έργα: οδικοί άξονες και υπερυψωμένοι κόμβοι, υπόγειοι σιδηρόδρομοι κλπ. Για το λόγο αυτό σε όλες τις προηγμένες χώρες γίνονται έρευνες και δημιουργούνται κατασκευές που να μπορούν να ανθίστανται σε μια δεδομένη σεισμική κίνηση και να προφυλάσσουν τη ζωή των κατοίκων και την περιουσία τους. Ο σεισμός που πολλές φορές συνοδεύεται από βοή προκαλεί φόβο στους ανθρώπους. Οι άνθρωποι είναι πιο ευαίσθητοι στις κατακόρυφες δονήσεις παρά στις οριζόντιες.

Η Ελλάδα δεν θα μπορούσε να αποτελέσει εξαίρεση, λαμβάνοντας υπόψη και την έντονη σεισμικότητα της χώρας μας. Από τους σεισμούς του ελληνικού χώρου που έγιναν κατά τους τελευταίους δύο αιώνες τα περισσότερα θύματα είχε ο σεισμός της Χίου (3 Απριλίου 1881) με 3.550 νεκρούς και 7.000 βαριά τραυματισμένους. Υπολογίζεται ότι κατά μέσο όρο ο αριθμός των θυμάτων σε ολόκληρη τη Γη ετησίως φθάνει τις 10.000. Για το λόγο αυτό απαιτείται καλός σχεδιασμός και να ληφθούν μέτρα ώστε κατά το δυνατόν να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι από φυσικές καταστροφές.

Ο σχεδιασμός αυτός περιλαμβάνει ένα σύνολο πολύπλοκων κατασκευαστικών υπολογισμών και σύγχρονων μεθόδων που διαρκώς εξελίσσονται και αποτελούν νόμους της πολιτείας, τους γνωστούς Αντισεισμικούς Κανονισμούς.

Στη χώρα μας έως το 1959 δεν υπήρχε αντισεισμικός κανονισμός. Από τότε όμως λόγω του σεισμικού κινδύνου, οι κανονισμοί αυτοί στη χώρα μας, έχουν εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό και είναι εφάμιλλοι των αντίστοιχων αμερικανικών και ιαπωνικών. Ο πιο πρόσφατος κανονισμός στην Ελλάδα, γνωστός και ως Νέος Αντισεισμικός Κανονισμός, εφαρμόζεται από το σεισμό των Γρεβενών του 1995, και προβλέπει κατασκευές που να μπορούν να αποτρέψουν σε μεγάλο βαθμό σοβαρές ζημιές και καταρρεύσεις σε κτίρια, έστω και αν αυτά προσβληθούν από ένα σεισμό μεγέθους 6 ή 7 Ρίχτερ.

Το γερό κτίριο είναι πρώτα απ' όλα απλό με απλή και συμμετρική κάτοψη, ορθά κατανεμημένο όγκο, και -αν πρόκειται για μεγάλη κατασκευή – να διαχωρίζεται σε επιμέρους τμήματα με αντισεισμικούς αρμούς. Γενικά, ένα συμμετρικό κτίριο κινδυνεύει πολύ λιγότερο από ένα ασύμμετρο ή από κάποιο κτίριο με πολλές αρχιτεκτονικές ιδιομορφίες και ιδιαιτερότητες.

Στη συνέχεια, εκείνο το οποίο πρέπει στις να επιδιώκεται είναι να δημιουργούνται κατασκευές τέτοιες που να απορροφούν και να καταναλώνουν εύκολα τη σεισμική ενέργεια, ώστε οι τυχόν μετακινήσεις και παραμορφώσεις του σκελετού, όπως επίσης και τριβές μεταξύ τοιχοποιίας και σκελετού, να μην προκαλούν πολλές και μεγάλες θραύσεις που μπορεί να οδηγήσουν σε κατάρρευση.

Ένα οξύ πρόβλημα που διαπιστώθηκε με τους μεγάλους σεισμούς που έπληξαν τις κατοικίες των ελληνικών πόλεων είναι οι πιλοτές (pilotis). Οι κατασκευές με πιλοτή γίνονται πολύ ευάλωτες γιατί δεν υπάρχουν οι απαραίτητες αντιστάσεις που δημιουργούν οι τοίχοι του ισογείου, ενώ παράλληλα, το κέντρο βάρους της οικοδομής είναι πολύ ψηλά με αποτέλεσμα η ταλάντωση να καταπονεί και να προκαλεί σοβαρές βλάβες στις κολόνες του ισογείου.

Κάτι άλλο που δεν πρέπει να ξεχνάμε είναι ότι μια αντισεισμική κατασκευή πρέπει να είναι το ίδιο ασφαλής σε σεισμούς κάθε είδους. Σεισμούς, δηλαδή, που έχουν κοντινή ή μακρινή εστιακή απόσταση. Έχει παρατηρηθεί ότι από ένα μακρινό σεισμό παθαίνουν μεγαλύτερες βλάβες κυρίως οι μεγάλοι ύψους κατασκευές, ενώ από κοντινούς σεισμούς είναι ευάλωτες οι χαμηλότερες.

Στον αντισεισμικό σχεδιασμό βασική προϋπόθεση είναι η καλή γνώση των γεωλογικών συνθηκών της περιοχής και των φυσικών ιδιοτήτων των εδαφών θεμελίωσης. Το είδος και οι φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων παίζουν καθοριστικό ρόλο στη σεισμική συμπεριφορά τους και στη συμπεριφορά των κατασκευών που θεμελιώνονται σ' αυτά. Για το λόγο αυτό έχουν θεσπιστεί οι μικροσεισμικές μελέτες ώστε να καθορίζονται οι ιδιότητές τους και να γίνεται ο σωστός σχεδιασμός για τις κατασκευές. Η πυκνότητα των πετρωμάτων και το μέτρο

ελαστικότητας καθορίζουν το πλάτος αιώρησης. Κατά Γαλανόπουλο (1971), το πλάτος αιώρησης είναι αντιστρόφως ανάλογο προς την τετάρτη ρίζα του γινομένου του μέτρου ελαστικότητας επί την πυκνότητα του μέσου μετάδοσης των σεισμικών κυμάτων.

Τα χαλαρά ιζήματα και τα αποσαθρώματα έχουν πολύ μικρό μέτρο ελαστικότητας, περίπου  $500 \text{ kp/cm}^2$ , οι ψαμμίτες  $30.000-100.000 \text{ kp/cm}^2$ , οι ασβεστόλιθοι  $50.000-200.000 \text{ kp/cm}^2$  κλπ. Τα βραχώδη πετρώματα έχουν υψηλό μέτρο ελαστικότητας και υψηλές τιμές αντοχής σε θλίψη και αποτελούν πιο ασφαλή εδάφη θεμελίωσης.

Το πλάτος αιώρησης μειώνεται σε μεγάλου πάχους χαλαρά ιζήματα. Όταν όμως χαλαρά εδάφη βρίσκονται πάνω από σκληρά εδάφη, το πλάτος αιώρησης κατά τη μετάβαση από τα σκληρά πετρώματα, που έχουν μεγάλο μέτρο ελαστικότητας στα μαλακά, το πλάτος αιώρησης αυξάνεται και κατά συνέπεια αυξάνει και η ένταση.

Από συστηματικές μελέτες διαπιστώθηκε η σχέση σεισμικής επιτάχυνσης με την ιδιοπερίοδο των κτιρίων. Οι υψηλές επιταχύνσεις είναι υπεύθυνες για τις βλάβες, σε οικοδομές μικρών ιδιοπεριόδων ( $T_0 < 0,5 \text{ sec}$ ), σε οικοδομές με ενδιάμεση ιδιοπερίοδο ( $0,5 \text{ sec} \leq T_0 \leq 3 \text{ sec}$ ) οι βλάβες οφείλονται στις μεγάλες σεισμικές ταχύτητες, ενώ σε οικοδομές μεγάλων ιδιοπεριόδων ( $T_0 > 3 \text{ sec}$ ) προκαλούν βλάβες οι μεγάλες μεταθέσεις της σεισμικής κίνησης.

Από όσα αναφέραμε πιο πάνω πρέπει να γνωρίζει ο μηχανικός τη σύσταση και τις ιδιότητες των εδαφών θεμελίωσης ώστε το ύψος των κατασκευών και τα υλικά να είναι κατάλληλα επιλεγμένα ώστε να αποφεύγεται ο συντονισμός των ταλαντώσεων του κτιρίου και των εδαφών για να ελαχιστοποιούνται οι ζημιές.

Τα αποτελέσματα των σεισμών στην επιφάνεια της Γης είναι σημαντικά. Τα πιο συνηθισμένα είναι διάφορες διαρρήξεις, κατολισθήσεις, ρευστοποιήσεις, καθιζήσεις και υψομετρικές μεταβολές.

## 7.8. Τσουνάμι (Tsunamis)

Τσουνάμι ή θαλάσσια κύματα βαρύτητας. Αυτά έχουν σχετικά μεγάλο μήκος κύματος και διαδίδονται στην επιφάνεια της θάλασσας και οφείλονται στις τοπογραφικές μεταβολές του πυθμένα της θάλασσας, που προκαλούνται από ισχυρές κινήσεις σε μεγάλα βάθη αλλά και από υποθαλάσσιες κατολισθήσεις και ηφαιστειακές εκρήξεις. (Σχ. 53, 54). Τσουνάμι μπορεί να προκληθούν επίσης από υποθαλάσσιες κατολισθήσεις ή υποθαλάσσιες ηφαιστειακές εκρήξεις. Τα μεγαλύτερα κύματα βαρύτητας γεννιούνται στις μεγάλες ωκεάνιες

τάφρους του Ειρηνικού ωκεανού από σεισμούς των οποίων τα επίκεντρα βρίσκονται στα περιθώρια των τάφρων αυτών προς το ηπειρωτικό μέρος. Στον ελληνικό χώρο έχουν παρατηρηθεί πολλές φορές κύματα βαρύτητας αλλά από τα πρόσφατα σημαντικότερο ήταν αυτό που δημιουργήθηκε κατά σεισμό μεγέθους 7,5 που έγινε στις 9-7-1956 με επίκεντρο την Αμοργό και δημιούργησε κύματα που έφθασαν 20-25m (Γαλανόπουλος 1971) και έγιναν αντιληπτά ως την Παλαιστίνη.

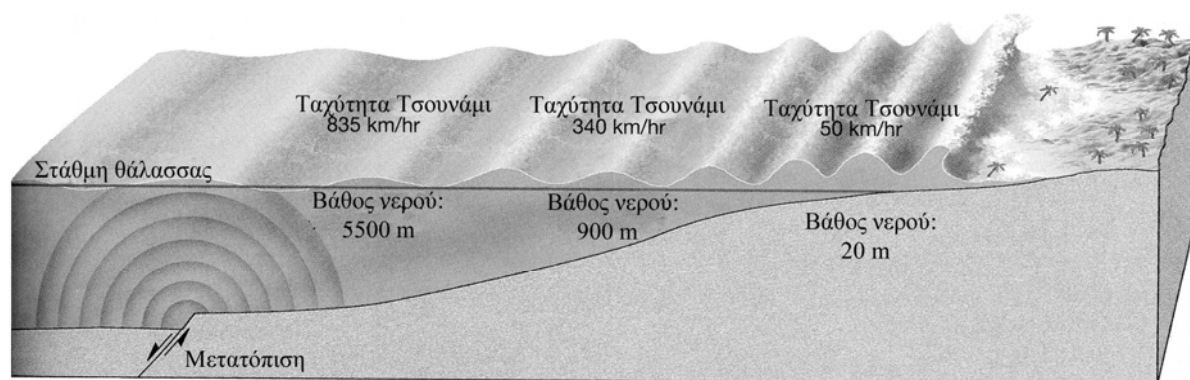
Παρατηρήσεις που έγιναν με παλιρροιογράφους έδειξαν ότι οι ταχύτητες των κυμάτων αυτών καθορίζεται από το πεδίο βαρύτητας και δίνεται από τη σχέση

$$V = \sqrt{g \cdot h}$$

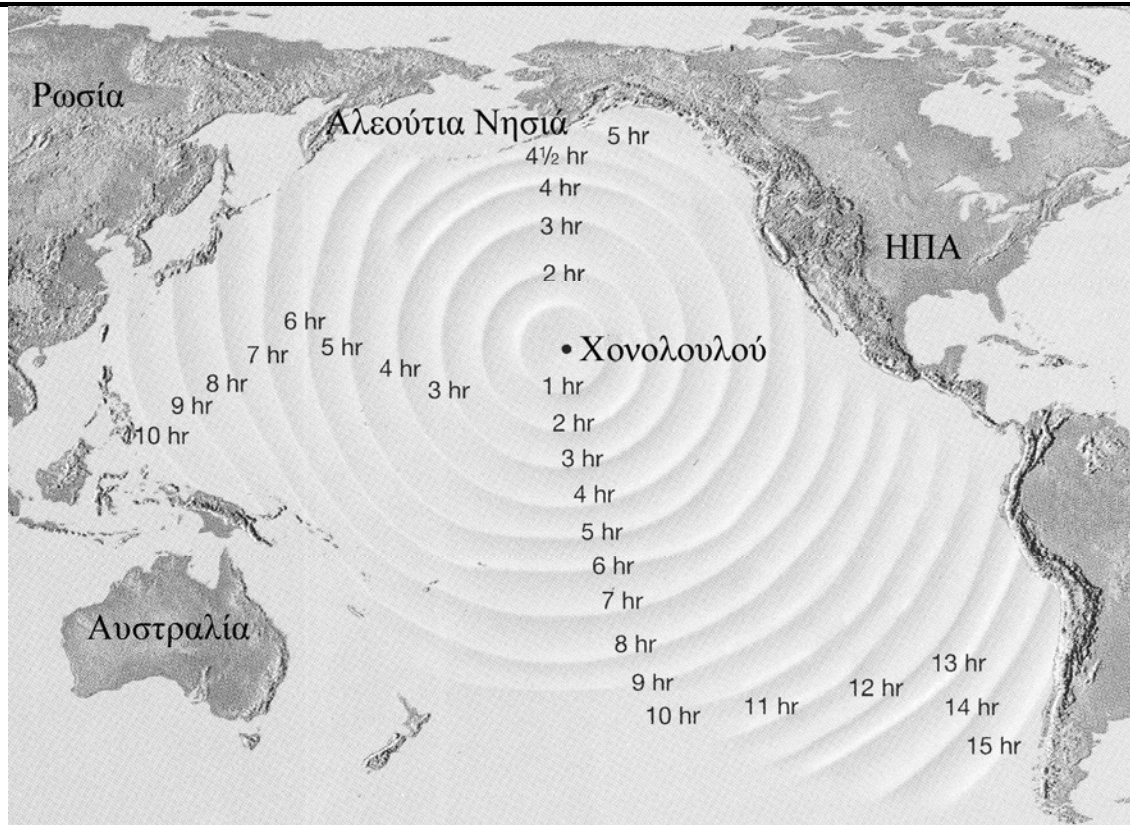
όπου  $h$  είναι το πάχος του νερού. Η μέση ταχύτητα των κυμάτων αυτών στους ωκεανούς είναι 200m/sec. Σε μικρά βάθη οι ταχύτητες μειώνονται πολύ και αυξάνουν τα πλάτη για να διατηρηθεί η κινητική ενέργεια σταθερή. Στο πέλαγος τα πλάτη είναι μικρότερα του 1m ενώ στις ακτές μπορεί να αποκτήσουν ύψος αρκετών δεκάδων μέτρων. Η ενέργεια  $E$  εξαρτάται από το μέγεθος του σεισμού.

$$\text{Log} E_t = 10,3 + 1,5M$$

Η ενέργεια αυτή είναι περίπου το 1/10 της ενέργειας του σεισμού που προκάλεσε το κύμα.



Σχ. 53. Σχηματική αναπαράσταση δημιουργίας Τσουνάμι εξαιτίας μετακίνησης στον Ωκεάνιο πυθμένα. Όπως φαίνεται η ταχύτητα μετακίνησης του Τσουνάμι μειώνεται με το βάθος του νερού και αυξάνει το ύψος του κύματος.



Σχ. 54. Σημειώνεται ο χρόνος διαδρομής των Τσουνάμι στις διάφορες περιοχές.

## 7.9. Πρόγνωση των σεισμών

Ένα από τα πιο σημαντικά ερωτήματα που θέτονται κάθε φορά που ακούμε για σεισμούς είναι εάν υπάρχει δυνατότητα πρόγνωσης των σεισμών. Μια ακριβής πρόγνωση θα πρέπει να πληροί τρία στοιχεία. Πρέπει να προσδιορίζει τον ακριβή χρόνο, τη θέση και το μέγεθος του αναμενόμενου σεισμού.

Η έρευνα για την πρόγνωση των σεισμών έχει δύο σκέλη. Το ένα διερευνά τη δυνατότητα πρόγνωσης των σεισμών στα προσεχή χρόνια, με ακρίβεια ετών, που αποτελεί **πρόγνωση μακράς διάρκειας**. Το δεύτερο την πρόγνωση με την μεγαλύτερη χρονική και τοπική προσέγγιση, με ακρίβεια ημερών, που είναι η **πρόγνωση μικρής διάρκειας**.

α) Η **πρόγνωση μακράς διάρκειας** περιλαμβάνει τη μελέτη της σεισμικότητας της περιοχής, την καλή γνώση των γεωλογικών και τεκτονικών συνθηκών της και τέλος την καταγραφή, από ιστορικές πηγές, του χρόνου και του μεγέθους των σεισμών που έπληξαν την περιοχή κατά το παρελθόν. Ο **χρόνος επανάληψης** ενός σεισμού που προέρχεται από σεισμική εστία που βρίσκεται σε κάποιο γνωστό ρήγμα αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο στοιχείο για την πρόγνωση, δεδομένου ότι στατιστικά μας δίνει το μέσο όρο του χρόνου που



απαιτείται για τη συσσώρευση των απαιτούμενων τάσεων προκειμένου να ξαναενεργοποιηθεί και να δώσει ένα νέο σεισμό.

β) Η πρόγνωση μικρής διάρκειας είναι πολύ πιο δύσκολη γιατί η προσέγγιση πρέπει να γίνεται με ακρίβεια όσο το δυνατόν λιγότερων ημερών. Όπως αναφέραμε πριν από κάθε σεισμό συσσωρεύεται στην εστία ενέργεια, η οποία με τη διάρρηξη μετατρέπεται σε σεισμική ενέργεια. Η ενέργεια που συσσωρεύεται προκαλεί μια συνολική αλλαγή των φυσικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων που προκαλούν την εμφάνιση πρόδρομων σεισμικών φαινομένων. Τα φαινόμενα αυτά αποτελούν προειδοποίηση για επερχόμενο σεισμό. Μερικά από αυτά είναι:

- α) αύξηση του αριθμού των προσεισμών
- β) μεταβολές στη στάθμη του νερού των πηγαδιών
- γ) μεταβολή των επιφανειακών κλίσεων
- δ) μεταβολή του γεωηλεκτρικού πεδίου, κλπ.

## 8. ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΟΣ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

---

Στη διάρκεια της γεωλογικής ιστορίας, συνέβησαν πολλές και σημαντικές αλλαγές στον ελληνικό χώρο, που οφείλονται σε συνεχείς και έντονες γεωτεκτονικές διεργασίες από το τέλος του Παλαιοζωικού αιώνα έως σήμερα.

Στο τέλος του Παλαιοζωικού οι ήπειροι που ξέρουμε σήμερα ήταν ενωμένες και αποτελούσαν μια ενιαία γιγαντιαία ήπειρο την **Παγγαία**, ανατολικά της οποίας αναπτύσσονταν ένα σύστημα ωκεάνιων λεκανών η **Πανθάλασσα**, της οποίας μια προεκβολή προς τα δυτικά ήταν η **Τηθύς** θάλασσα. Το βόρειο τμήμα της Παγγαίας αποτελούσε τη **Λαυρασία** και το νότιο την **Γκοντβάνα**.

Κατά την διάρκεια του Μεσοζωικού, με αλλεπάλληλες διαρρήξεις, αποσπάστηκαν από την Γκοντβάνα μικροπλάκες που ονομάστηκαν **Κιμμέριοι ήπειροι** και ανάμεσά τους αναπτύχθηκαν μικρές ωκεάνιες λεκάνες. Μερικές από τις μικροπλάκες αυτές, κινήθηκαν βόρεια και συγκρούστηκαν με την Ευρασία, ενώ άλλες καταβυθίστηκαν. Τα παλιότερα τμήματα του ωκεανού της Τηθύος, που αποτελούσαν την **Παλαιοτηθύ** (Πρωτοτηθύς) καταστράφηκαν. Το νότιο περιθώριο της Ευρασίας παρέμενε ενεργό κατά την διάρκεια του Μεσοζωικού και προσανξήθηκε με την οροσειρά των Ποντίδων, ενώ αντίθετα, τα περιθώρια της Γκοντβάνας αλλά και πλήθος από τις Κιμμέριες μικροπλάκες προς βορρά, όπως της **Απουλίας** και της **Πελαγονικής** εξελίσσονταν ως παθητικά περιθώρια και συνόρευαν με στενές και επιμήκεις ωκεάνιες λεκάνες οι νοτιότερες των οποίων αποτέλεσαν την **Νεοτηθύ**.

## 8.1. Κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών στην ελληνική χερσόνησο

Το ανατολικό τμήμα της Απουλίας μικροπλάκας αποτέλεσε το ανατολικό περιθώριο των Εξωτερικών Ελληνίδων. Οι Εξωτερικές Ελληνίδες συγκροτούσαν στην αρχή του Μεσοζωικού μια ανθρακική πλατφόρμα, η οποία αργότερα κατά την διάρκεια του Άνω Ιουρασικού διανοίχτηκε και σχηματίστηκαν βαθιές αύλακες και ρηχά υβώματα (Δυο υβώματα με ασβεστόλιθους και δολομίτες, δηλ. νηριτική ανθρακική ιζηματογένεση), αποτέλεσαν την Προ-Απούλια ζώνη και τη ζώνη της Τρίπολης, που χωρίζονταν από μια αύλακα, την Ιόνιο ζώνη με αργιλικούς σχιστόλιθους, κερατόλιθους και ασβεστόλιθους (πελαγικά- ημιπελαγικά ιζήματα). Η ζώνη της Τρίπολης, προς τα ανατολικά, μεταβαίνει προοδευτικά στη ζώνη της Πίνδου, που αποτελείται από λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους που εναλλάσσονται με κερατολίθους και ραδιολαρίτες (πελαγικά ιζήματα. Στη ζώνη της Πίνδου διαπιστώθηκαν ωκεάνιοι βασάλτες και αυτό της προσδίδει χαρακτήρα ωκεάνιας λιθόσφαιρας. Ο ωκεανός που σχηματίστηκε ονομάστηκε ωκεανός της Πίνδου και διασπάστηκε σε μικρότερες ηπείρους ενώ συγχρόνως σχηματίστηκαν ο Ατλαντικός και ο Ινδικός ωκεανός.

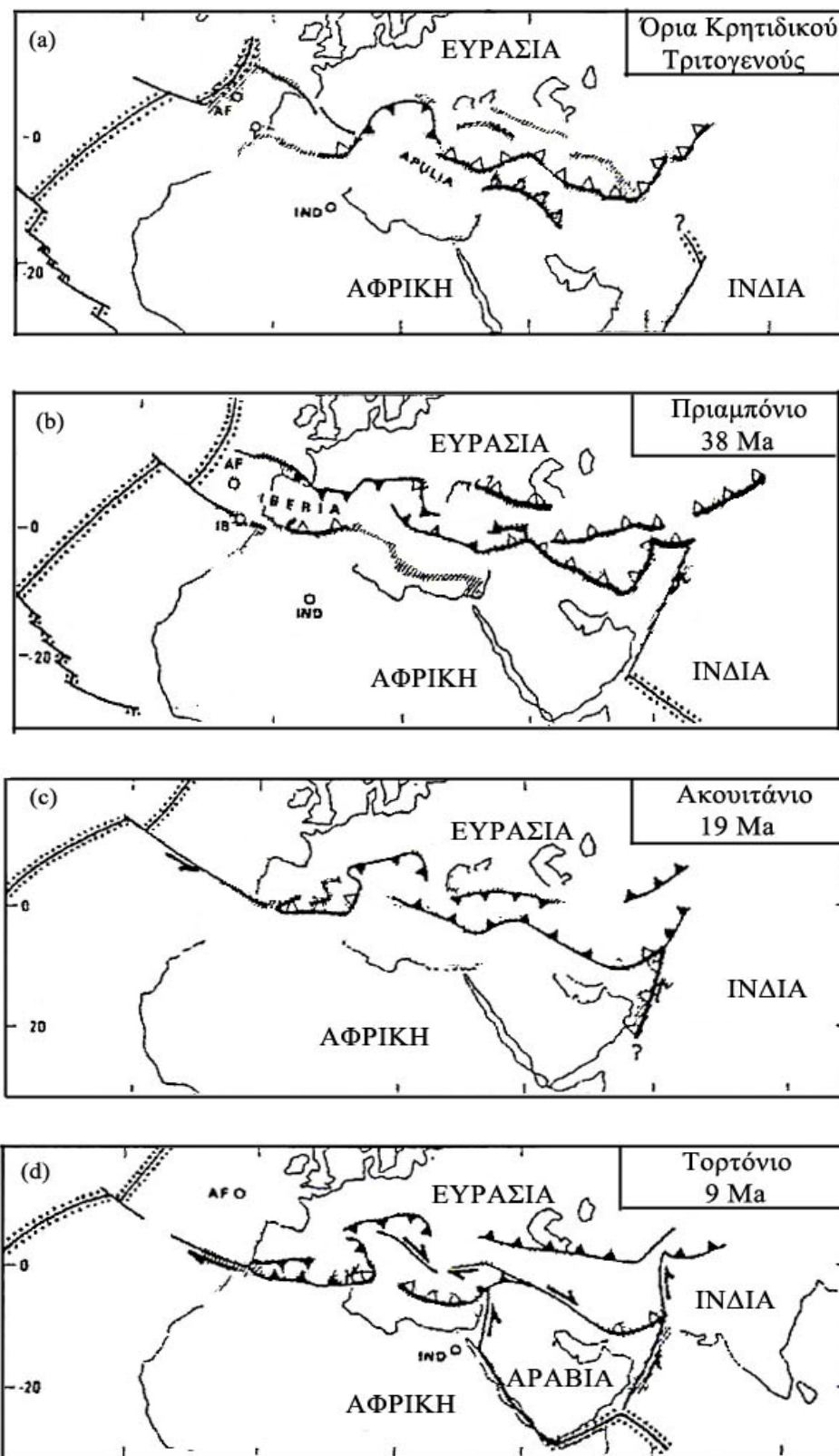
Στη συνέχεια ακολούθησε σύγκλιση των ηπείρων στο χώρο της Τηθύος, με αποτέλεσμα να καταστραφούν οι ωκεάνιες λεκάνες που περιγράφηκαν πιο πάνω και η σημερινή Μεσόγειος θάλασσα αποτελεί ένα υπόλειμμα της Τηθύος (Σχ.55).

Τα γεωτεκτονικά στάδια εξέλιξης του Αλπικού κύκλου της Τηθύος κατά Παπανικολάου 1986, θα μπορούσαν να συνοψιστούν στα ακόλουθα:

- α) Στάδιο ανοίγματος του ωκεανού της Τηθύος (Τριαδικό-Λιάσιο)
- β) Στάδιο μερικής συμπίεσης-δημιουργίας ορογενετικού τόξου (Μάλμιο-Παλαιοκρητιδικό)
- γ) Στάδιο ολικής συμπίεσης-καταστροφής του ωκεάνιου φλοιού (Ηώκαινο-Ολιγόκαινο)
- δ) Στάδιο σύγκρουσης των ηπειρωτικών πλακών Ανώτερο Μειόκαινο-Σήμερα.

Η κορύφωση της ορογένεσης επιτελέστηκε κατά το τρίτο στάδιο, κατά το οποίο έγινε η μέγιστη ανύψωση των αλπικών οροσειρών (Άλπεις, Καύκασος-Ιρανίδες (Ζάργκος), Ιμαλία). Πρέπει να σημειώσουμε ότι τα στάδια που αναφέραμε παραπάνω είχαν διαφορετικό χρόνο έναρξης και λήξης στα διάφορα σημεία της Τηθύος και υπάρχουν ακόμη μικρά τμήματα κατά μήκος των υπολειμμάτων της Τηθύος, που δεν έχει ολοκληρωθεί ακόμη η ορογένεση. Ο

θαλάσσιος χώρος της Ανατολικής Μεσογείου αποτελεί το σημαντικότερο υπόλειμμα του περιθωρίου της Γκοντβάνας.



Σχ.55. Απλοποιημένα σχήματα που δείχνουν την εξέλιξη της Τηθύος από το Κρητιδικό έως Το Ανωτ. Μειόκαινο (από Muller and Kahle, 1993).

## 8.2. Γεωτεκτονικές ζώνες ή ενότητες του ελληνικού χώρου

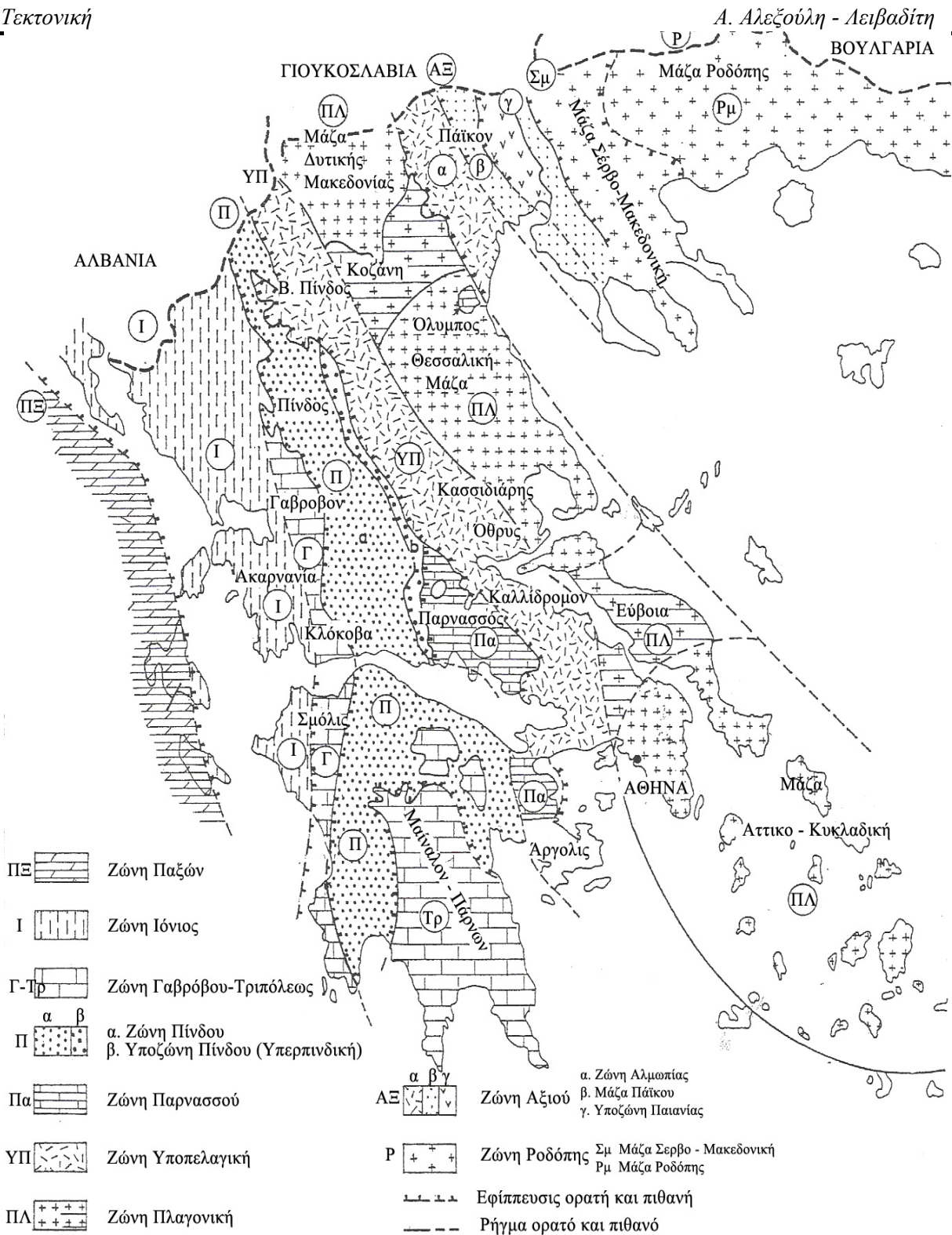
Στον Ελληνικό χώρο διακρίνονται γεωτεκτονικές ζώνες ή ενότητες, με βάση ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά, που δηλώνουν την εξέλιξη της περιοχής από την απόθεση των ιζημάτων και τη δημιουργία των ιζηματογενών αποθέσεων μέχρι την ορογενετική διεργασία με τις πτυχώσεις, τα ρήγματα και τη μεταμόρφωση. Στην ερμηνεία του σχηματισμού των γεωτεκτονικών ζωνών κατ' αρχήν βασίστηκαν στη θεωρία του Αλπικού γεωσυγκλίνου (Aubouin, 1965), αλλά στη συνέχεια επικράτησαν οι νεότερες απόψεις οι σχετικές με τις Τεκτονικές πλάκες. Σύμφωνα με αυτήν η διάκριση των γεωτεκτονικών ζωνών βασίζεται τόσο στον παλαιογεωγραφικό χώρο που αποτέθηκαν τα ιζήματα όσο και στη γεωδυναμική εξέλιξή του.

Οι γεωτεκτονικές ζώνες διακρίνονται από τα δυτικά προς τα ανατολικά στις «Εξωτερικές» και τις «Εσωτερικές» τις ζώνες ή ενότητες (Σχ.56). Η διάκριση αυτή γίνεται ανάλογα με τη θέση που έχουν στα τόξα των ελληνικών οροσειρών και τις ορογενετικές φάσεις που έχουν υποστεί. Όλες οι ζώνες έχουν υποστεί την τελική ορογενετική φάση του Τριτογενούς, ενώ οι εσωτερικές ζώνες έχουν υποστεί μια επί πλέον ορογενετική φάση κατά το Ανωτ. Ιουρασικό-Κατ. Κρητιδικό. Μια άλλη χαρακτηριστική διαφορά μεταξύ των Εσωτερικών και Εξωτερικών ζωνών είναι η παρουσία στις Εσωτερικές ζώνες μεταμορφωσιγενών και πυριγενών πετρωμάτων (Παλαιοζωικής όσο και Μεσοζωικής έως Τριτογενούς ηλικίας). Στις εξωτερικές ζώνες σχεδόν απουσιάζουν τα μεταμορφωσιγενή πετρώματα, ενώ στη ζώνη Ωλονού-Πίνδου υπάρχουν μερικές σπάνιες ηφαιστειακές εμφανίσεις.

## 8.3. Εξωτερικές ζώνες

**Ζώνη Παξών (ή προαπούλια):** Αποτελείται από ασβεστολιθικά ιζήματα του Κρητιδικού έως το Κατώτερο Μειόκαινο, χωρίς φλύσχη.

**Ζώνη Ιόνιος (ή Αδριατικοϊόνιος):** Δομείται από ιζήματα εβαποριτών, ασβεστολίθων πελαγικής και νηριτικής φάσης, τα οποία αποτέθηκαν σε αύλακα κατά την περίοδο Ανώτερο Τριαδικό – Κατώτερο Μειόκαινο. Στο Ανωτ. Ηώκαινο-Κατ. Μειόκαινο αποτέθηκε φλύσχη (κλαστική ιζηματογένεση).



Σχ. 56. Χάρτης Γεωτεκτονικών ζωνών της Ελλάδας υπό J. Aubouin, J. Brunn, R. Cellet, J. Dercourt, J. Godfriaux, J. Mercier, O. Kockel, M. Walter και I.F.P.

**Ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως:** Χαρακτηρίζεται από ιζήματα ασβεστολίθων και δολομιτών νηρητικής φάσης, τα οποία αποτέθηκαν από το Τριαδικό έως το Ηώκαινο και στη συνέχεια στο Αν.Ηώκαινο-Ανωτ. Ολιγόκαινο αποτέθηκε φλύσχης.

**Ζώνη Ωλονού-Πίνδου:** Αποτελεί την τυπική γεωσυγκλιτή αύλακα με ιζήματα ασβεστολίθων, ραδιολαριτών, λεπτοπλακωδών ασβεστολίθων, τα οποία αποτέθηκαν κατά την περίοδο Ανώτερου Τριαδικού – Παλαιόκαινου και στη συνέχεια στο Παλαιόκαινο-Αν. Ηώκαινο αποτέθηκε φλύσχη.

**Ζώνη Παρνασσού-Γκιόνας:** Δομείται από νηρητικά ασβεστολιθικά ιζήματα με τρεις τουλάχιστον διακοπές ιζηματογένεσης και αντίστοιχη βωξιτογένεση. Βρίσκεται σε ενδιάμεση θέση μεταξύ εξωτερικών και εσωτερικών ζωνών και τα ιζήματα της ζώνης αποτέθηκαν από το Ανώτερο Τριαδικό έως το Παλαιόκαινο και στη συνέχεια έως το Κατ. Ηώκαινο αποτέθηκε φλύσχη.

## 8.4. Εσωτερικές ζώνες

Υποπελαγονική ζώνη (ή ζώνη ανατολικής Ελλάδος). Αποτελείται από ιζήματα ενδιάμεσου χαρακτήρα μεταξύ της ζώνης Ωλονού-Πίνδου και της Πελαγονικής, που βρίσκεται πιο ανατολικά. Χαρακτηριστικά ιζήματα της Υποπελαγονικής ζώνης είναι η σχιστοκερατολιθική διάπλαση με εκχύσεις οφιολίθων και οι επικλυσιογενείς ασβεστόλιθοι του Ανώτερου Κρητιδικού.

Πελαγονική ζώνη. Χαρακτηρίζεται από μάζες κρυσταλλοσχιτοδών (μεταμορφωμένων) πετρωμάτων με παρεμβολές οφιολίθων, ηλικίας από το Κατ. Τριαδικό μέχρι το Ιουρασικό και ακολουθούν αποθέσεις της Ανωκρητιδικής επίκλυσης και φλύσχη.

Αττικο-Κυκλαδική ζώνη. Η ύπαρξη της ζώνης αυτής αμφισβητείται. Υπάρχουν απόψεις που υποστηρίζουν ότι πρόκειται για ανεξάρτητη ζώνη ηπειρωτικής προέλευσης (τέμαχος ηπειρωτικού φλοιού) και άλλες ότι πρόκειται για την προς νότο προέκταση της Πελαγονικής ζώνης (μεταμορφωμένη Πελαγονική).

Ζώνη Αξιού. Περιλαμβάνει ιζήματα ασβεστολίθων, δολομιτών με εκχύσεις οφιολίθων και φλύσχη ηλικίας Τριαδικού – Κατώτερου Ηωκαίνου. Η ζώνη αυτή διαιρέθηκε αργότερα από τον Mercier (1973) σε τρεις υποζώνες.

Ζώνη Ροδόπης. Περιλαμβάνει μεταμορφωμένα πετρώματα με μαγματικές διεισδύσεις καθώς και ιζηματογενείς σχηματισμούς Μέσου Τριαδικού έως Κάτω Ιουρασικού. Η ζώνη της Ροδόπης διαχωρίστηκε: α) στη μάζα Ροδόπης και β) στη Σερβομακεδονική μάζα.

Οι γεωλογικές συστηματικές έρευνες της τελευταίας 50ετίας έδειξαν ότι οι παραπάνω γεωτεκτονικές ζώνες είναι επωθημένες από τα ΒΑ προς τα ΝΔ. Η δομή αυτή δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια της ορογένεσης.

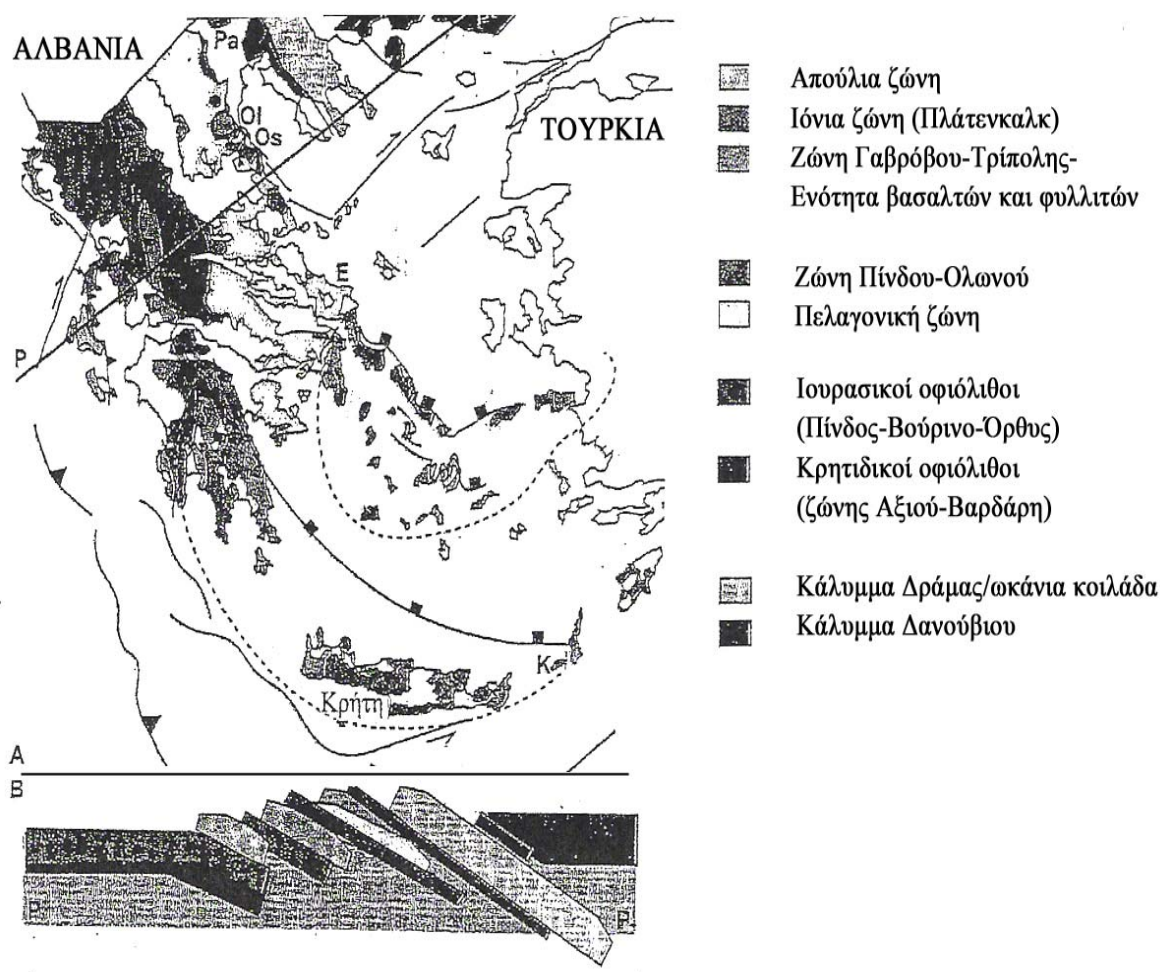
## **8.5. Η εξέλιξη του Ελληνικού Χώρου στα πλαίσια της θεωρίας των λιθοσφαιρικών πλακών.**

Στα πλαίσια της θεωρίας των λιθοσφαιρικών πλακών (Σχ. 57) ο Ελληνικός χώρος (Ελληνίδες οροσειρές) θεωρείται τμήμα του νοτίου ορογενετικού συστήματος της Τηθούς και αποτελεί μέρος του τμήματος που ορίζεται από τις Δειναρίδες οροσειρές με την εγκάρσια τεκτονική ζώνη Scutari-Pec (στην Αλβανία) στα βόρεια και στα ανατολικά από τις Ταυρίδες οροσειρές με την ακμή του ορογενετικού τόξου στην περιοχή Αντάλνα της Τουρκίας. Το Ελληνικό τόξο είναι ένα τμήμα του αλπικού ορογενετικού συστήματος της Τηθούς, στο οποίο συνεχίζεται σήμερα η ορογένεση με συνέπεια την έντονη σεισμικότητα του ευρύτερου γεωγραφικού χώρου.

Ο παλαιογεωγραφικός χώρος απόθεσης των αλπικών ιζημάτων αναπτύχθηκε μεταξύ του Αφρικανο-Απούλιου κρατόν (Ηπειρωτικό χείλος) και της μάζας της Ροδόπης που θεωρείται μεσοωκεάνια περιοχή, αντίστοιχη της σημερινής περιοχής του Ατλαντικού ωκεανού. Κατά τη διάρκεια του Ανώτερο Ιουρασικό (Μάλμιου) ο υποθαλάσσιος ωκεάνιος φλοιός της Τηθούς άρχισε να συνθλίβεται, με αποτέλεσμα τη δημιουργία επιπτεύσεων πάνω στα ιζήματα του ωκεάνιου φλοιού προς τα δυτικά. Η σύγκρουση αυτή συνεχίζεται μέχρι σήμερα στην περιοχή της Ελληνικής τάφρου με καταστροφή του φλοιού της Μεσογείου, που αποτελεί υπόλειμμα της Τηθούς. Ο Ελληνικός χώρος αποτελεί την οπισθόταφρο της σημερινής ζώνης υποβύθισης που βρίσκεται στην περιοχή του Ιονίου και νότια της Κρήτης. Όπως διαπιστώνεται από ωκεανογραφικά και σεισμικά δεδομένα στη ζώνη υποβύθισης, καθώς και από την ύπαρξη του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου, ο αλπικός κύκλος ορογένεσης βρίσκεται σήμερα σε εξέλιξη. Η γεωτεκτονική δομή των Ελληνίδων οροσειρών, αποτελείται από αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα (Σχ.44) τα οποία δημιουργήθηκαν από την εποχή του Αν Ιουρασικού (Μάλμιου) έως το Κατώτερο Μειόκαινο και διακρίνονται τρεις ζώνες υποβύθισης. Ωστόσο έχουν διατυπωθεί και διαφορετικές απόψεις πάνω στα θέματα αυτά. Η παλαιογεωγραφική οργάνωση και γεωδυναμική εξέλιξη του Ελληνικού χώρου στο πλαίσιο της θεωρίας των λιθοσφαιρικών πλακών βρίσκεται ακόμη υπό έρευνα.



Η γεωδυναμική εξέλιξη του Ελληνικού χώρου μετά το Κατώτερο Μειόκαινο συνεχίστηκε με την ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων, οι οποίες είχαν ως αποτέλεσμα την κατάρρευση και κατάτμηση του αλπικού ορογενετικού οικοδομήματος. Έτσι, δημιουργήθηκαν ρήγματα μεγάλης κλίμακας τα οποία διαμόρφωσαν νεοτεκτονικές δομές με εξάρσεις (κέρατα) και τάφρους (Horst και Graben). Μέσα στις τάφρους αποτέθηκαν μεταλλικά ιζήματα νεότερης ηλικίας από το Ανώτερο Μειόκαινο μέχρι και σήμερα. Κατά τη διάρκεια του Μειόκαινου θεωρείται ότι εξήλθαν στην επιφάνεια λόγω του εφελκυσμού, οι μεταμορφωμένες μάζες πετρωμάτων.



Σχ. 57. Στο χάρτη φαίνεται η διάταξη των διαδοχικών καλυμμάτων.

### **8.5.1. Το γεωδυναμικό καθεστώς στον ελληνικό χώρο και την ανατολική μεσογείο.**

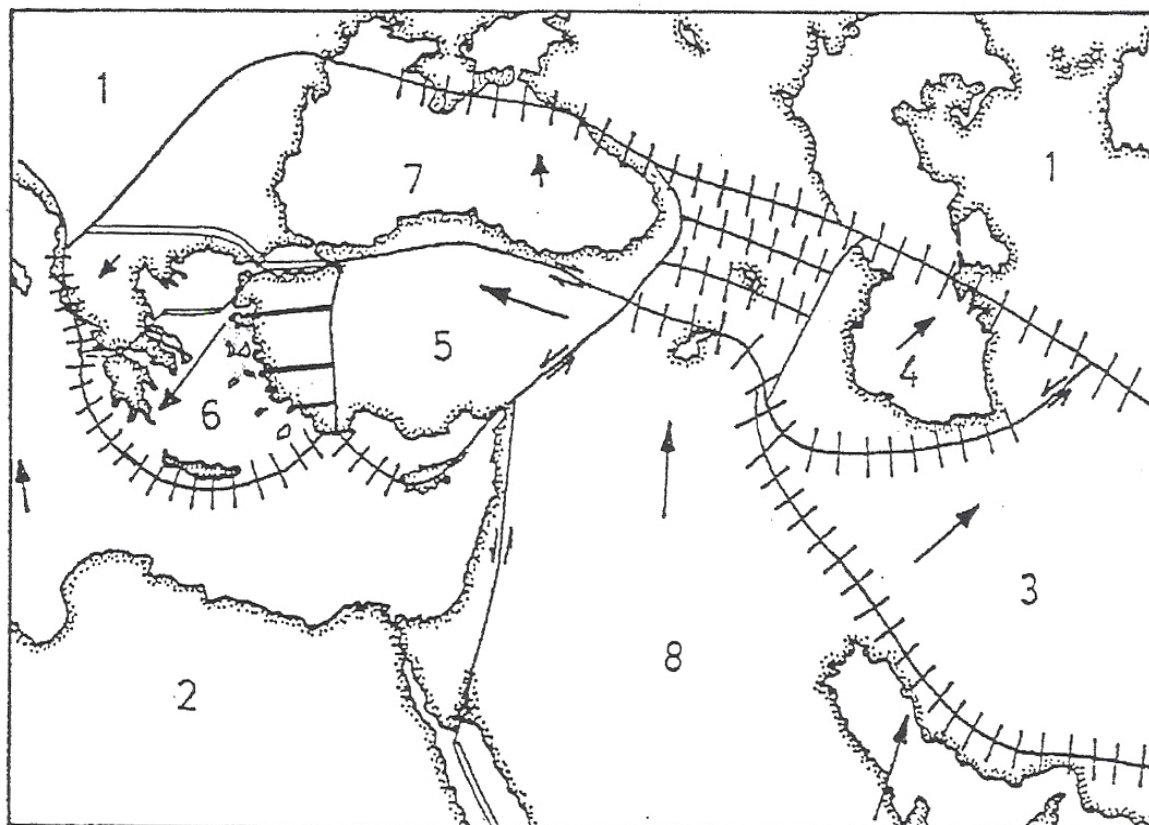
Στο σημερινό γεωδυναμικό καθεστώς των λιθοσφαιρικών πλακών στο χώρο της ανατολικής Μεσογείου, κυριαρχεί η σύγκρουση της Αφρικανικής πλάκας με την Ευρασιατική κατά μήκος του Ελληνικού και Κυπριακού τόξου (Σχ. 58). Το είδος της λιθόσφαιρας που βυθίζεται κάτω από το Αιγαίο δεν είναι ακόμη γνωστό μετά βεβαιότητας, δηλαδή αν πρόκειται για μια λεπτή ηπειρωτική λιθόσφαιρα ή για ωκεάνια, που καλύπτεται από μεγάλο πάχους ιζήματα (8km στην Ιόνια λεκάνη και 16 km στην Λεβαντίνια). Από τις ταχύτητες των σεισμικών κυμάτων όμως οι ερευνητές θεωρούν ότι πρόκειται μάλλον για ωκεάνια λιθόσφαιρα.

Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι ΝΝΔ της νήσου Γαύδου (νότια της Κρήτης) η φύση του φλοιού δεν είναι ίδια και υπάρχουν στοιχεία (απόσταση της τάφρου και τις ακτές της Λιβύης, βάθος της Moho που είναι 32 km, μεγάλο ύψος της μεσογειακής ράχης), που δείχνουν ότι στο σημείο αυτό είναι πιθανόν το ηπειρωτικό περιθώριο της αφρικανικής πλάκας που βρίσκεται πάνω σ' ένα λεπυρμένο ηπειρωτικό φλοιό, να έφτασε στην ελληνική τάφρο και να έχει ήδη αρχίσει το φαινόμενο της «σύγκρουσης» μετά από την εξαφάνιση του ωκεάνιου τμήματος της λιθόσφαιρας.

Η βύθιση (Subduction) στην περιοχή του Αιγαίου έχει μία ιδιαίτερη δυναμική και δημιουργεί στο Αιγαίο ένα ιδιαίτερο τεκτονικό καθεστώς που το διαφοροποιεί από την υπόλοιπη Ευρώπη, παρ' ότι δεν παρατηρείται καμιά συνεχής διακοπή στη λιθόσφαιρα που να μπορεί να διαχωρίσει το Αιγαίο από την Ευρωπαϊκή πλάκα.

Η Αφρικανική πλάκα κινείται προς ΒΒΑ κατεύθυνση με ταχύτητα 10 mm/y (Argus et al, 1989). Επίσης η Αραβική πλάκα κινείται προς ΒΒΔ με ταχύτητα 25 mm/y (Reinger et al, 1997). Αυτό δημιουργεί μία διαφορετική κίνηση μεταξύ Αφρικής και Αραβίας της τάξης των 15 mm/y, η οποία δημιουργεί το ρήγμα του Λεβαντίνιου στην περιοχή Συρίας-Ισραήλ.

Η κίνηση της Αραβικής πλάκας (8) προς τα ΒΒΔ προκαλεί σύγκρουση στην ορεινή αλυσίδα Bitlis-Zagros και τον σχηματισμό υψηλής μορφολογίας στην ανατολική Τουρκία. Τα ρήγματα ανατολικής και βόρειας Ανατολίας προκαλούν κίνηση της μικροπλάκας της Ανατολίας (5, Τουρκία) προς τα ΝΔ (Σχ. 58). Η ταχύτητα κίνησης του δεξιόστροφου ρήγματος της βόρειας Ανατολίας προς τα Δ, όπως μετρήθηκε από τα γεωδαιτικά συστήματα G.P.S. και S.L.R., είναι της τάξης των 25 mm/y ((Le Pichon et al. 1995, McClusky et al. 2000).



Σχ. 58. Οι κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών που επηρεάζουν την τεκτονική του ελληνικού χώρου.

Το ρήγμα της βόρειας Ανατολίας φτάνει στην περιοχή του βόρειου Αιγαίου. Η κίνηση της μικροπλάκας της Ανατολίας προς τα ΝΔ, προκαλεί αντίστοιχη κίνηση του μπλοκ του Αιγαίου (6), η ταχύτητα του οποίου υπολογίζεται σε 20-30 mm/y (Σχ. 58). Η δεξιόστροφη κίνηση του ρήγματος της βόρειας Ανατολίας μπορεί να περιγραφεί ως μια περιστροφή με φορά αντίθετη των δεικτών του ρολογιού στο σύστημα Ανατολία (Τουρκία)-Αιγαίο, γύρω από ένα πόλο που τοποθετείται στην περιοχή του Νείλου.

Η προς τα ΝΔ κίνηση του Αιγαίου δημιουργεί κίνηση της κεντρικής και νότιας Ελλάδας με ταχύτητα της τάξης των 15-20 mm/y. Το Αιγαϊκό τέμαχος συγκρούεται με την πλάκα της Αφρικής κατά μήκος της αβυσσικής πεδιάδας του Ιονίου και νότια της Κρήτης (Ελληνικό τόξο) καθώς και νότια της Κύπρου (Κυπριακό τόξο). Οι περιοχές αυτές αποτελούν τις ζώνες υποβύθισης της Αφρικανικής πλάκας (2) κάτω από την Ευρασιατική (1). Νότια των ζωνών υποβύθισης, στην περιοχή των Μεσογειακών ράχων, αναπτύσσεται το πρίσμα προσαύξησης της Ευρασιατικής πλάκας.

Τα γεωδαιτικά στοιχεία δείχνουν ότι η ταχύτητα υποβύθισης φτάνει τα 40 mm/y, δηλαδή είναι 4 φορές μεγαλύτερη από την ταχύτητα κίνησης Αφρικής/Ευρασίας (10 mm/y).

Οι κινήσεις που περιγράφηκαν πιο πάνω έχουν διαμορφωθεί πριν 5εκ. χρόνια, ηλικία κατά την οποία προωθήθηκε προς την περιοχή του Αιγαίου το ρήγμα της βόρειας Ανατολίας. Κατά τον Hatzfeld (1994), με βάση τα μικροσεισμικά δεδομένα το επίπεδο υποβύθισης της Αφρικανικής πλάκας έχει κλίση μικρότερη των 15° μέχρι το βάθος των 200 km και φτάνει μέχρι την περιοχή του Κορινθιακού κόλπου, ενώ σεισμικές τομογραφίες δείχνουν ότι η βύθιση της πλάκας κάτω από την περιοχή του Αιγαίου φτάνει σε βάθος 600 km (Spakman et al. 1988).

### 8.5.2. Οι μορφοτεκτονικές δομές και ο σχηματισμός του Αιγαίου

Η Μεσόγειος είναι μια περιοχή έντονης σεισμικής δραστηριότητας. Το τόξο του Αιγαίου βρίσκεται στην Ανατολική Μεσόγειο, που χαρακτηρίζεται από πολύ ισχυρή σύγχρονη σεισμικότητα (Mckenzie, 1972).

Το τόξο του Αιγαίου περιλαμβάνει την περιοχή της νότιας Ελλάδας, το Αιγαίο πέλαγος και τη δυτική Ανατολία. Το τόξο του Αιγαίου είναι ένα νησιωτικό τόξο το οποίο διαφέρει από τα νησιωτικά τόξα που βρίσκονται στον Ειρηνικό στα ακόλουθα:

Το μη ηφαιστειακό εξωτερικό τόξο είναι ημικυκλικό με ισχυρή καμπυλότητα (ακτίνας περίπου 400 km) και στο βόρειο τμήμα συνδέεται με την ελληνική χερσόνησο, που ανήκει στην ευρωπαϊκή ήπειρο.

Χαρακτηρίζεται από τάφρους στο δυτικό τμήμα μικρού βάθους (3km, που αυξάνει και διπλασιάζεται στα ανατολικά στις τάφρους του Πλίνιου και του Στράβωνα.

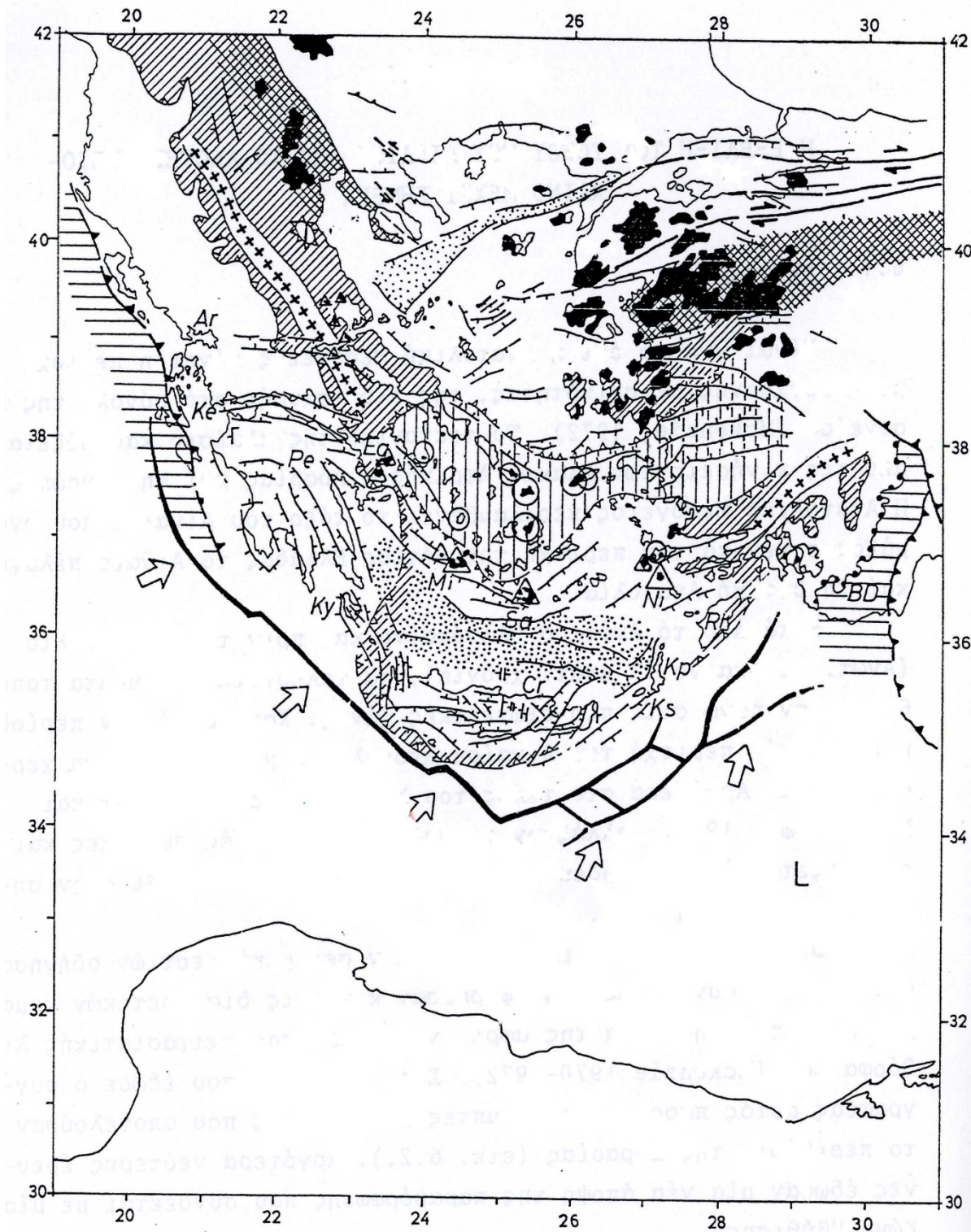
Χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη μιας λεκάνης, του Κρητικού πελάγους, που βρίσκεται μεταξύ της τάφρου και του ηφαιστειακού τόξου. Η λεκάνη αυτή σε άλλα τόξα βρίσκεται μετά το ηφαιστειακό τόξο.

Πίσω από το ηφαιστειακό τόξο, προς βορά, υπάρχει και άλλη λεκάνη, η λεκάνη του βόρειου Αιγαίου.

Η κίνηση στο χώρο του Αιγαίου χαρακτηρίζεται από μια περιστροφή 30° γύρω από ένα πόλο που βρίσκεται κοντά στην Κεφαλονιά (Le Pichon et Angelier, 1979).

Στο χώρο του Αιγαίου διακρίνουμε τέσσερις μεγάλες μορφοτεκτονικές ενότητες.

A) Την τάφρο του βόρειου Αιγαίου, που φαίνεται ως συνέχεια του ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας. Έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και δημιουργήθηκε στο Ανωτ. Μειόκαινο.



Σχ.59

**Σχ 59.**: Στο σχήμα φαίνονται οι κύριες μορφολογικές και γεωγραφικές ενότητες του στην περιοχή του Αιγαίου (Από Le Pichon et Angelier, 1979): Τα διπλά βέλη στην περιοχή του Βόρειου Αιγαίου, δείχνουν την φορά των ρηγμάτων με οριζόντια μετάπτωση και τα μεγάλα βέλη κοντά στην ελληνική τάφρο δείχνουν την διεύθυνση τής σχετικής κίνησης Αφρικής - Ελληνικού τόξου, όπως εξάγεται από την ανάλυση του μηχανισμού των σεισμικών εστιών

- 1 Ελληνική τάφρος** (με παχιές μαύρες γραμμές).
- 2 Οι κύριες λεκάνες του Αιγαίου:** (θάλασσα Κρήτης και τάφρος του Βόρειου Αιγαίου. (περιοχές με τελείες).
- 3 Εξωτερικό ελληνικό τόξο:** περιλαμβάνει την περιοχή μεταξύ του κόλπου της Άρτας (Ατ) και της περιοχής Bey-Daglari (BD).
- 4 Εσωτερικό ελληνικό ηφαιστειακό τόξο** (Αίγινα (Eg), Μήλος (Μί), Σαντορίνη (Sa), Νίσυρος (Νί)).
- 5 Μεσοελληνική αύλακα** (η περιοχή με σταυρούς).
- 6 Ολιγο-μειοκαινική πλουτώνια και ηφαιστειακή δραστηριότητα της βόρειας Ελλάδας και της Βορειοδυτικής Ανατόλιας.** (με μαύρο).
- 7 Γρανодиוריτικοί σχηματισμοί του Μειοκαίνου στην περιοχή του κεντρικού Αιγαίου.** (με κύκλους).
- 8 Πλειοτεταρτογενή ηφαίστεια του εσωτερικού ελληνικού τόξου.** (με τρίγωνα).
- 9 Τα κύρια κανονικά ρήγματα και οι τεκτονικές τάφροι του Ανωτ. Μειοκαίνου και του Πλειοτεταρτογενούς.** ( με λεπτές ακιδωτές γραμμές).

- Β) Τη λεκάνη βόρεια της Κρήτης, που βρίσκεται μεταξύ του εσωτερικού ελληνικού τόξου και του ηφαιστειακού τόξου. Η λεκάνη αποτελείται από σύνολο μικρών λεκανών με βάθη, που στο ανατολικό τμήμα, στην Κάρπαθο-Κάσο είναι 2.500 m, στην Καμηλόνησο 2.200 m, ενώ προς τα δυτικά μειώνονται και φθάνουν στο κεντρικό τμήμα τα 1.800 m και στο δυτικό τμήμα τα 1.300m. Ο σχηματισμός της λεκάνης αυτής συνδέεται με εφελκυστικά ρήγματα που άρχισαν να λειτουργούν στο Ανωτ. Μειόκαινο.
- Γ) Την ελληνική τάφρο, μήκους 1.000 m που αρχίζει βορειοδυτικά της Κεφαλονιάς, περνάει νότια της Κρήτης και φθάνει στη Ρόδο, σχηματίζοντας τις τάφρους του Πλίνιου και του Στράβωνα.
- Δ) Τη μεσογειακή ράχη που είναι μια μορφολογική ανύψωση με μικρές κλίσεις  $1^{\circ}$  -  $4^{\circ}$  γύρω από το αιγαιακό τόξο, που άρχισε να σχηματίζεται στο Μέσο-Ανωτ. Μειοκαίνο και είναι ενεργή ακόμη και σήμερα.

Στην περιοχή του τόξου του Αιγαίου έγιναν πολλές μεταβολές κατά τη διάρκεια των τεκτονικών φάσεων σύγκλισης και σύγκρουσης της ευρασιατικής και αφρικανικής πλάκας που συνέβησαν στα πλαίσια της αλπικής ορογένεσης. Κατά τις φάσεις αυτές, που άρχισαν από το Μέσο Μεσοζωικό και ολοκληρώθηκαν στο Μέσο Μειόκαινο, εξαφανίστηκαν πολλές ηπειρωτικές και ωκεάνιες περιοχές.

Η δημιουργία του Αιγαίου άρχισε κατά το Ανωτ. Μειόκαινο, αλλά η εξέλιξη του ευρύτερου τόξου του Αιγαίου δεν ήταν η ίδια σε όλη τη διάρκεια του χρόνου. Στην πρώτη φάση διαμορφώθηκε η εσωτερική και νότια πλευρά του Αιγαίου που περιλαμβάνει τη θάλασσα του σημερινού Αιγαίου και τις βυθισμένες νεογενείς λεκάνες. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε η εξωτερική δυτική περιοχή του Αιγαίου, που περιλαμβάνει το τμήμα που βρίσκεται μεταξύ του εξωτερικού τόξου και των τάφρων (Σχ. 59)

Το σημερινό Αιγαίο κατά το Ανωτ. Μειόκαινο αποτελούσε μια εκτεταμένη ξηρά. Αργότερα μεταβλήθηκαν οι γεωτεκτονικές συνθήκες και άρχισε ένας προοδευτικός κατακερματισμός που οδήγησε σταδιακά στη σημερινή κατάσταση.

Από τις συνεχιζόμενες γεωλογικές, σεισμολογικές και γεωφυσικές μελέτες αλλά και από τη μεγάλη σεισμικότητα και την πρόσφατη ηφαιστειακή δραστηριότητα διαπιστώνεται ότι γεωτεκτονικές ανακατατάξεις συνεχίζονται ακόμη και σήμερα.

## 9. ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΙ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

---

### 9.1. ΟΡΥΚΤΑ

Ορυκτό είναι ένα στερεό ανόργανο σώμα που έχει ορισμένο χημικό τύπο και καθορισμένη τρισδιάστατη κρυσταλλική δομή, με ορισμένες ανυσματικές ιδιότητες.

Τα ορυκτά συνίστανται από ένα περισσότερα από τα 94 χημικά στοιχεία που απαντώνται ελεύθερα στο στερεό φλοιό, απ' αυτά τα κυριότερα είναι τα ακόλουθα 12: O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Ti, H, Mn, και P που συγκροτούν το 99,23% της μάζας του. Τα στοιχεία αυτά δημιουργούν ενώσεις και δίνουν τα ορυκτά. Τα γνωστά σήμερα ορυκτά ξεπερνούν τις 6.5000 και κάθε χρόνο αναγνωρίζεται ένας αρκετά μεγάλος αριθμός ορυκτών. Από αυτά 250 περίπου ορυκτά αποτελούν τα κύρια συστατικά των πετρωμάτων και χαρακτηρίζονται ως πετρογενετικά. Ανάλογα με το δομικό συγκρότημα που τα χαρακτηρίζει κατατάσσονται σε ομάδες. Οι κυριότερες είναι: πυριτικά, οξείδια, σουλφίδια και ανθρακικά.

Τα ορυκτά τα αναγνωρίζουμε βάση ορισμένων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων τους και η αναγνώριση μπορεί σε αρκετές περιπτώσεις να γίνει μακροσκοπικά ή να χρειάζεται μια πιο εκτεταμένη διερεύνηση που γίνεται με το μικροσκόπιο ή με ακτινογραφική μέθοδο ή με συνδυασμό των μεθόδων αυτών.

Θα αναφερθούμε στις ιδιότητες των ορυκτών που χρησιμοποιούμε για τον μακροσκοπικό προσδιορισμό τους.

**Κρυσταλλικό σχήμα.** Τα ορυκτά συνήθως σχηματίζουν κρυστάλλους διαφόρων μεγεθών, που όμως δεν είναι δυνατόν να διαπιστώσουμε τη γεωμετρική συμμετρία τους παρά μόνο με ακτίνες X. Χημικές ενώσεις χωρίς κρυσταλλική δομή δεν είναι ορυκτά. Για παράδειγμα το γυαλί είναι στερεό άμορφο και δεν είναι ορυκτό. Τα στοιχεία που συνιστούν ένα ορυκτό δομούνται με συγκεκριμένη γεωμετρική διάταξη. Υπάρχουν όμως χημικές ενώσεις που κρυσταλλώνονται με περισσότερες της μιας κρυσταλλικές δομές σε



διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασιών και πιέσεων. Τα ορυκτά αυτά λέγονται πολυμορφικά. Παράδειγμα ο άνθρακας σε υψηλές πιέσεις δίνει το διαμάντι και σε χαμηλότερες το γραφίτη.

Με βάση το μέγεθος των κρυστάλλων τα διακρίνουμε σε μακροκρυσταλλικά, όταν έχουν κρυστάλλους που διακρίνονται με γυμνό μάτι, μικροκρυσταλλικά, όταν οι κρύσταλλοι διακρίνονται στο μικροσκόπιο, και στιφρά όταν το κρυσταλλικό πλέγμα διαπιστώνεται με ακτίνες Χ. Όσον αφορά στο σχήμα των κρυστάλλων, όταν δημιουργούν συσσωματώματα δεν αναπτύσσονται καλά όλες οι επιφάνειες γιατί ο ένας ακουμπά στον άλλο και φαίνονται σαν μικροί κόκκοι.

**Σκληρότητα** είναι η αντίσταση που παρουσιάζουν τα ορυκτά στην προσπάθεια να χαράξουμε την επιφάνειά τους. Η σκληρότητα καθορίζει το πόσο εύκολα μπορούμε να επεξεργαστούμε ένα ορυκτό. Προσδιορίζεται με ειδικά όργανα που λέγονται σκληρόμετρα, αλλά και με χάραξη με ορυκτά γνωστής σκληρότητας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται μια εμπειρική δεκαβάθμια κλίμακα η κλίμακα Mohs. Ο αύξων αριθμός των ορυκτών που αποτελούν την κλίμακα αντιστοιχεί στη σκληρότητά του στην κλίμακα. Κάθε ορυκτό χαράζει τα προηγούμενά του στην κλίμακα. Στην πράξη τα ορυκτά με σκληρότητα 1 και 2 χαράζονται με το νύχι, από τη σκληρότητα 3 έως 6 χαράζονται με ένα αιχμηρό μαχαιράκι και τα ορυκτά με μεγαλύτερη σκληρότητα χαράζουν το τζάμι. Από την ευκολία που χαράζονται ή χαράζουν το τζάμι τα κατατάσσουμε στον αντίστοιχο βαθμό σκληρότητας. Η κλίμακα Mohs είναι η ακόλουθη:

<b>1</b>	Τάλκης
<b>2</b>	Γύψος
<b>3</b>	Ασβεστίτης
<b>4</b>	Φθορίτης
<b>5</b>	Απατίτης

<b>6</b>	Ορθόκλαστο
<b>7</b>	Χαλαζίας
<b>8</b>	Τοπάζι
<b>9</b>	Κορούνδιο
<b>10</b>	Διαμάντι

Τα ορυκτά που αποτελούν ένα πέτρωμα καθορίζουν την αντίσταση που προβάλλει στη διάτρηση, την τριβή και γενικά την επεξεργασία αλλά δεν μετριέται η σκληρότητα των πετρωμάτων με την κλίμακα Mohs.

**Το χρώμα.** Τα ορυκτά που έχουν πάντα το ίδιο χρώμα λέγονται αυτόχρωμα και οφείλεται σε χημικά στοιχεία που συμμετέχουν στην κρυσταλλική τους δομή. Πολλά ορυκτά δεν έχουν χρώμα ή είναι λευκά ή παρουσιάζουν διάφορες αποχρώσεις. Το χρώμα των ορυκτών ευθύνεται για τις αποχρώσεις των πετρωμάτων

Πιο κάτω θα αναφερθούμε μερικά από τα σπουδαιότερα πετρογενετικά ορυκτά.

### 9.1.1. Πυριτικά ορυκτά

**Τα πυριτικά ορυκτά** είναι η πιο μεγάλη ομάδα ορυκτών και αποτελούν το 90% της μάζας του φλοιού. Δημιουργούνται από τη ένωση των στοιχείων οξυγόνου και πυριτίου που παράγουν το πυριτικό τετράεδρο ( $\text{SiO}_4$ )<sup>4-</sup>, που είναι το θεμελιώδες δομικό συστατικό των πυριτικών ορυκτών. Τα πυριτικά ορυκτά διακρίνονται σε τέσσερις υποομάδες στις οποίες ανήκουν οι άστριοι, ο ολιβίνης, οι αμφίβολοι, οι πυρόξενοι, οι χλωρίτες, οι μαρμαρυγίες και τα αργιλικά ορυκτά.

**Χαλαζίας.** Ο χαλαζίας είναι σημαντικό ορυκτό της λιθόσφαιρας και συμμετέχει στα συστατικά της με ποσοστό περίπου 12%. Είναι το μοναδικό ορυκτό που αποτελείται αποκλειστικά από πυρίτιο και οξυγόνο. Τα ιόντα του ορυκτού αυτού είναι πολύ ισχυρά συνδεδεμένα και γι αυτό έχει τόσο μεγάλη σκληρότητα. Είναι ορυκτό άχρωμο ή λευκό αλλά ανάλογα με τις προσμίξεις παρουσιάζει διάφορα χρώματα όπως ιώδες που ονομάζεται αμέθυστος, μαύρος που λέγεται καπνίας, ροδόχρους κλπ. Διαυγείς κρύσταλλοι του ορυκτού θεωρούνται ημιπολύτιμοι λίθοι. Στα πετρώματα συναντάται σε κοκκώδη ή κρυσταλλική μορφή. Αποτελεί ορυκτολογικό συστατικό των όξινων εκρηξιγενών πετρωμάτων, όπως γρανιτών, καθώς και μεταμορφωσιγενών και ιζηματογενών πετρωμάτων. Είναι πολύ ανθεκτικός στην αποσάθρωση και στα οξέα. Χρησιμοποιείται στην υαλουργία και την κεραμική. Παρουσιάζει τα φαινόμενο του πιεζοηλεκτρισμού.

Στην άμορφη ή μικροκρυσταλλική μορφή αποτελεί το ορυκτό χαλκιδόνιο ο οποίος όταν έχει έντονα χρώματα λέγεται αχάτης που θεωρείται ημιπολύτιμος λίθος. οπάλιος,

**Άστριοι.** Οι άστριοι αποτελούν τα κύρια συστατικά πολλών πετρωμάτων και το 60% του στερεού φλοιού. Οι άστριοι αποτελούνται από μια αργιλοπυριτική ρίζα ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) και από τα στοιχεία K, Na ή Ca. Είναι ανοιχτόχρωμα ορυκτά. Αν συμμετέχει στο πλέγμα το K τότε δημιουργείται το ορθόκλαστο, ενώ αν συμμετέχουν το Na ή Ca. παίρνουμε τα πλαγιόκλαστα. Τα πλαγιόκλαστα αποτελούν μια ισόμορφη σειρά με ακραία μέλη από τη μια τον νατριούχο άστρο, που είναι ο αλβίτης και από την άλλη τον ασβεστούχο άστρο που είναι ο ανορθίτης. Ενδιάμεσα σε σ' αυτά παρεμβάλλεται ολόκληρη η σειρά των πλαγιόκλαστων στον χημικό τύπο των οποίων συμμετέχουν και το Na και το Ca σε διάφορες αναλογίες. Οι άστριοι αποσαθρώνονται εύκολα και σχηματίζουν καολινίτη, εμπλουτίζουν το έδαφος με K και Ca ενώ το Na παρασύρεται από τα νερά προς τη θάλασσα.. Τα ορθόκλαστα αποτελούν την πρώτη ύλη στη βιομηχανία της πορσελάνης.

**Πυρόξενοι.** Είναι πολύπλοκες ενώσεις με  $\text{SiO}_2$ , Mg, CaO, Fe,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Αποτελούν κύρια συστατικά των βασικών εκρηξιγενών πετρωμάτων. Στην ομάδα των πυροξένων ανήκουν ο

διοψίδιος, ο αυγίτης, ενστατίτης, κλπ. Είναι πρασινόμαυρα ορυκτά και εξαλλοιώνονται σε μαρμαρυγίες και χλωρίτες.

**Αμφίβολοι.** Αποτελούν κύρια συστατικά των εκρηξιγενών και μεταμορφωσιγενών πετρωμάτων. Έχουν πρασινωπό χρώμα και εξαλλοιώνονται σε μαρμαρυγίες και χλωρίτες. Είναι ανθεκτικά στα οξέα. Στην ομάδα των αμφιβόλων ανήκουν η κεροσίλβη, ο ακτινόλιθος, (αμίαντος) κλπ. Ο αμίαντος χρησιμοποιείται στην κατασκευή θερμομονωτικών, πυρίμαχων και οξύμαχων υλικών. Αποτελεί πολύ επικίνδυνο υλικό για την υγεία προκαλώντας πνευμονοκοκκιάσεις και καρκίνο.

**Μαρμαρυγίες.** Είναι μια ομάδα ορυκτών που αποτελούν το 4% του στερεού φλοιού. Είναι λεπτοφυλλώδη και χωρίζονται εύκολα σε φυλλάρια. Κύρια ορυκτά της ομάδας αυτής είναι ο βιοτίτης, που έχει μαύρο χρώμα και ο μοσχοβίτης που είναι άχρωμος. Αποτελούν κύριο συστατικό των εκρηξιγενών και των μεταμορφωσιγενών πετρωμάτων, ενώ συναντώνται λιγότερο σε ιζηματογενή πετρώματα. Αποτελούν προϊόντα εξαλλοίωσης άλλων ορυκτών και γι αυτό είναι πολύ σταθερά. Ο μοσχοβίτης έχει εξαιρετικές ηλεκτρομονωτικές και θερμομονωτικές ιδιότητες. Η παρουσία μαρμαρυγιών σε αδρανή υλικά και στο σκυρόδεμα είναι βλαβερή, αλλά επίσης είναι ανεπιθύμητη σε διακοσμητικά υλικά, υλικά επενδύσεων, όπως στα μάρμαρα, γιατί επηρεάζει τη στίλβωση και ο βιοτίτης δημιουργεί καστανόχρωες κηλίδες

### 9.1.2. Αργιλικά ορυκτά

Τα αργιλικά ορυκτά είναι πολύ λεπτοκοκκώδη έως σιφρά (με μέγεθος 0,01-0,001mm). Έχουν παρόμοια κρυσταλλική δομή με τους μαρμαρυγίες. Αργιλικά ορυκτά είναι ο **μοντμοριλονίτης**, ο **ιλίτης**, ο **σμεκτίτης**, ο **καολινίτης** κλπ. Είναι λευκά αλλά ανάλογα με τις προσμίξεις παρουσιάζουν διάφορα χρώματα. Τα αργιλικά ορυκτά μπορούν να διακριθούν μεταξύ τους μόνο ακτινοσκοπικά, ενώ η διάκριση από άλλα ορυκτά γίνεται εύκολα με τη χρήση ορισμένων χαρακτηριστικών τους ιδιοτήτων. Έχουν φυλλώδη κρυσταλλική δομή που οφείλεται στη στρωματοειδή πλεγματική δομή. Αποτελούν κύρια συστατικά των αργίλων και των πηλών, στα οποία προσδίδουν και τις ιδιότητες που παίζουν πρωταρχικό ρόλο στη μηχανική συμπεριφορά τους. Πιο κάτω θα αναφέρουμε τις ιδιότητες των αργιλικών ορυκτών που αποτελούν επίσης και ιδιότητες των πετρωμάτων των οποίων αποτελούν τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά.

- α) Υδροαπορροφητικότητα:** Τα αργιλικά ορυκτά λόγω του πλέγματός τους προσροφούν μεγάλη ποσότητα νερού.

- β) Πλαστικότητα:** Τα αργιλικά ορυκτά συγκρατούνται μεταξύ τους με ισχυρές ηλεκτροστατικές δυνάμεις, οι οποίες εξασθενούν όταν αυτά έρθουν σε επαφή με το νερό που δημιουργεί γύρω τους μια μεμβράνη και έτσι γίνεται δυνατή η μετατόπιση του ενός ως προς το άλλο και αποκτούν πλαστικότητα, αλλά όταν η ποσότητα αυξηθεί τότε ρευστοποιούνται.
- γ) Θιξοτροπία:** Τα αργιλικά ορυκτά, όπως αναφέραμε, όταν προσροφήσουν μια ποσότητα νερού ρευστοποιούνται και να δημιουργούν ένα πολτό, ο οποίος μετά από ένα χρονικό διάστημα στερεοποιείται. Αν προσθέσουμε και άλλο νερό και χτυπήσουμε τα τοιχώματα του δοχείου στο οποίο είναι το υλικό, ο πολτός ρευστοποιείται και μετά παρέλευση κάποιου χρόνου ξαναστεροποιείται. Την ιδιότητα αυτή εκμεταλλευόμαστε στις γεωτρήσεις και τα ορύγματα για να σταθεροποιήσουμε τα πρανή έως ότου επενδυθούν. Δημιουργούμε έναν πολτό από μπεντονίτη (του οποίου κύριο συστατικό είναι ο μοντμοριλονίτης) και το ρίχνουμε στο ορύγμα ή τη γεώτρηση και συγκρατεί τα τοιχώματα.
- γ) Υδροστεγανότητα:** Στα αργιλικά ορυκτά λόγω των πού μικρών κενών που δημιουργούνται ανάμεσά τους αναπτύσσονται ισχυρές επιφανειακές τάσεις (τριχοειδή φαινόμενα) και το νερό εγκλωβίζεται και δεν κυκλοφορεί.
- δ) Ανταλλαγή ιόντων:** Το πλέγμα των αργιλικών ορυκτών έχει μια στρωματοειδή δομή που επιτρέπει να εισχωρούν μέσα σ' αυτό κατιόντα τα οποία συγκρατούνται με ηλεκτροστατικές δυνάμεις αλλά προκαλούν αύξηση της απόστασης μεταξύ των στρωματιδίων. Πολλά από αυτά τα κατιόντα δημιουργούν ισχυρότερους δεσμούς και ανταλλάσσονται με άλλα όπως τα κατιόντα Ca συγκρατούνται και ανταλλάσσονται με αυτά του Na. Αυτό χρησιμοποιείται για την αποσκλήρυνση του νερού. Τα ιόντα Ca μειώνουν την πλαστικότητα και συμπιεστότητα των αργίλων.
- ε) Συμπιεστότητα:** Παρουσιάζουν συνήθως μεγάλη συμπιεστότητα, που εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε νερό, σε οργανικά, στο είδος των αργιλικών ορυκτών και στο βαθμό στερεοποίησης.
- στ) Διασπορά και θρόμβωση:** Τα αργιλικά ορυκτά δημιουργούν συσσωματώματα που παραμένουν διασκορπισμένα στο νερό και με την προσθήκη ηλεκτρολύτη κροκιδώνονται και καθιζάνουν.

Τα αργιλικά ορυκτά χρησιμοποιούνται στην αγγειοπλαστική και στην παρασκευή τσιμέντου, ο καολίνης στην βιομηχανία πορσελάνης και ο μπεντονίτης στις γεωτρήσεις, τη βιομηχανία πετρελαίου, κλπ.

**Ολιβίνης:** Έχει κοκκώδη μορφή και είναι πράσινος ή και κόκκινος. Είναι συστατικό των βασικών εκρηξιγενών πετρωμάτων, αλλά βρίσκεται και στους μετεωρίτες. Αποσαθρώνεται σε σερπεντίνη (σερπεντινίωση). Χρησιμοποιείται για την κατασκευή πυρίμαχων υλικών. Στην κρυσταλλική μορφή θεωρείται ως πολύτιμος λίθος, ο χρυσόλιθος.

**Σερπεντίνης.** Είναι ένα πρασινωπό ορυκτό με ινώδη μορφή. Είναι συστατικό των βασικών και υπερβασικών εκρηξιγενών πετρωμάτων καθώς και των μεταμορφωσιγενών πετρωμάτων. Δημιουργείται από την αποσάθρωση του ολιβίνης. Προσβάλλεται από τα οξέα. Χρησιμοποιείται για την κατασκευή διακοσμητικών αντικειμένων, αλλά και σαν πράσινο μάρμαρο. Τα πράσινα μάρμαρα της Τήνου είναι σερπεντινικά.

**Χλωρίτης.** Είναι ένα πράσινο φυλλώδες ορυκτό. Πολλά πετρώματα όπως οι χλωριτικοί σχιστόλιθοι οφείλουν το χρώμα τους σ' αυτό το ορυκτό. Είναι συστατικό των μεταμορφωσιγενών πετρωμάτων και αποτελούν προϊόντα αποσάθρωσης των μαρμαρυγιών.

**Τάλκης.** Είναι το μαλακότερο ορυκτό και έχει σκληρότητα 1 στην κλίμακα Mohs, δηλαδή χαράζεται με το νύχι. Συναντάται στα μεταμορφωσιγενή πετρώματα και είναι το κύριο ορυκτό στους ταλκικούς σχιστόλιθους. Με τη θέρμανση αποβάλλει νερό και αυξάνει η σκληρότητά του (σκληρότητα 6). Χρησιμοποιείται στη φαρμακευτική και στην κατασκευή διακοσμητικών αντικειμένων.

### 9.1.3. Θειικά Ορυκτά:

Στην ομάδα αυτή ανήκουν η γύψος και ο ανυδρίτης.

**Γύψος** ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Είναι ινώδης και λεπτοκοκκώδης. Πολλές φορές συναντάται σε μεγάλους ωραίους δίδυμους κρυστάλλους που ονομάζονται «ουρά χελιδόνος». Σε συμπαγείς λεπτοκοκκώδεις μάζες ονομάζεται αλάβαστρο, που σε λεπτά φύλλα έχει μεγάλη διαφάνεια και το χρησιμοποιούσαν ως τζάμια. Είναι άχρωμη αλλά οι προσμίξεις της προσδίδουν διάφορα χρώματα. Συναντάται σε ιζηματογενή κοιτάσματα στην Ήπειρο, τη Ζάκυνθο, την Κρήτη και αλλού. Χρησιμοποιείται στην οικοδομική ως δομικός λίθος, γυψοσανίδες, στη γλυπτική, τη βιομηχανία τσιμέντου, λιπασμάτων, στην παραγωγή θειικού οξέος, κλπ.

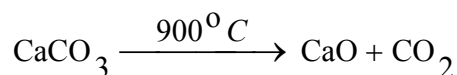
Η γύψος όταν υποστεί επεξεργασία μετατρέπεται σε πλαστική γύψο. Με θέρμανση στους  $110-120^\circ \text{C}$  χάνει το μισό από το νερό της και γίνεται η «πλαστική γύψος», που όταν αναμιχθεί με νερό γίνεται γρήγορα μια σκληρή μάζα κατάλληλη για επιδέσμους και εκμαγεία. Για την οικοδομική η γύψος θερμαίνεται στους  $250^\circ \text{C}$  και τότε χάνει όλο το νερό. Η μορφή αυτή διαλύεται στο νερό σε αναλογία 2gr/l και στερεοποιείται λίγες μέρες αργότερα.

**Ανυδρίτης** (  $\text{CaSO}_4$ ). Συναντάται σε ιζηματογενή κοιτάσματα μαζί με τη γύψο, τους δολομίτες και το ορυκτό άλας. Απορροφά νερό και μετατρέπεται σε γύψο με σύγχρονη αύξηση του όγκου.

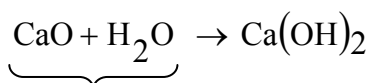
Χρησιμοποιείται στη βιομηχανία τσιμέντου και ως διακοσμητικοί λίθοι.

#### 9.1.4. Ανθρακικά Ορυκτά Στην ομάδα αυτή ανήκουν ο ασβεστίτης, ο αραγωνίτης, ο δολομίτης και ο μαγνησίτης.

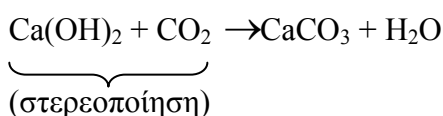
**Ασβεστίτης-Αραγωνίτης** ( $\text{CaCO}_3$ ) Είναι λευκά ή άχρωμα και ανάλογα με τις προσμίξεις παίρνουν διάφορα χρώματα. Τον ασβεστίτη συνήθως τον συναντάμε σε μικροκρυσταλλική ή κοκκώδη μορφή, αλλά σε κατάλληλες συνθήκες αναπτύσσει πολύ ωραίους κρυστάλλους με ρομβοεδρική μορφή, που είναι στο τριγωνικό σύστημα κρυστάλλωσης. Σε υψηλότερη θερμοκρασία σχηματίζει στηλοειδείς και βελονοειδείς κρυστάλλους του ρομβικού συστήματος κρυστάλλωσης και αποτελεί τον αραγωνίτη, ο οποίος είναι σε ασταθή μορφή και μεταπίπτει σε ασβεστίτη. Οι σταλακτίτες και οι σταλαγμίτες που συναντάμε στα σπήλαια αποτελούνται από αραγωνίτη. Ο ασβεστίτης είναι το κύριο ορυκτολογικό συστατικό των ασβεστολίθων και των μαρμάρων, αλλά και πολλών σχιστολίθων και ιζηματογενών πετρωμάτων. Προσβάλλεται από οξέα και διαλύεται σε νερό εμπλουτισμένο σε  $\text{CO}_2$ . Ο ασβεστίτης με θέρμανση στους  $900^\circ \text{C}$  διασπάται σε  $\text{CaO}$  (που είναι ο ασβέστης) και  $\text{CO}_2$



Ο ασβέστης με προσθήκη νερού μετατρέπεται σε σβησμένο ασβέστη



(σβησμένος ασβέστης)



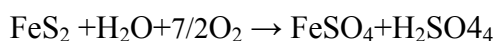
**Δολομίτης** ( $\text{MgCa}$ ) ( $\text{CaCO}_3$ )<sub>2</sub>. Είναι όμοιος με τον ασβεστίτη και σχηματίζεται σε ιζηματογενή περιβάλλοντα. Ο δολομίτης είναι το κύριο ορυκτολογικό συστατικό του ομώνυμου πετρώματος. Διαλύεται στα οξέα αλλά δυσκολότερα από τον ασβεστίτη.

Χρησιμοποιείται στην κατασκευή πυρίμαχων υλικών και την οικοδομική. Θεωρείται μεταλλευτικό ορυκτό κατά τη νομοθεσία και όχι λατομικό.

**Μαγνησίτης** ( $MgCO_3$ ) Όπως ο ασβεστίτης κρυσταλλώνεται στο τριγωνικό σύστημα και είναι λευκός. Σχηματίζεται από υδροθερμικά διαλύματα και συναντάται στα μεταμορφωσιγενή πετρώματα. Χρησιμοποιείται στην κατασκευή πυρίμαχων υλικών και ως δομικό υλικό. Θερμαινόμενο στους  $400^{\circ}$ - $600^{\circ}$  C διασπάται σε  $MgO$  που είναι η μαγνησία και  $CO_2$ . Η μαγνησία αλέθεται σε σκόνη και χρησιμοποιείται στη φαρμακευτική. Με την προσθήκη σ' αυτή νερού και θεικού ή χλωριούχου μαγνήσιου σκληραίνει σαν κονίαμα.

### 9.1.5. Θειούχα ορυκτά του σιδήρου

**Σιδηροπυρίτης-Μαρκασίτης** ( $FeS_2$ )-**Μαγνητοπυρίτης** ( $FeS$ ). Είναι μεταλλικά ορυκτά με το βρονζοκίτρινο χρώμα. Ο σιδηροπυρίτης και ο μαρκασίτης είναι πολύμορφα, ο πρώτος κρυσταλλώνεται στο κυβικό σύστημα και ο δεύτερος στο ρομβικό. Περιέχονται σε ασήμαντες ποσότητες στα πετρώματα αλλά είναι βλαβερά. Σε επαφή με τον υγρό αέρα διασπώνται



Ο  $FeSO_4$  σχηματίζει πάλι θεικό οξύ και λειμονίτη. Το θεικό οξύ είναι βλαβερό στο σκυρόδεμα και μετατρέπει τα ορυκτά σε άλλες ενώσεις πχ. τον ασβεστίτη σε γύψο. Ο λειμονίτης δημιουργεί καστανές κηλίδες σε δομικούς λίθους, όπως σε μάρμαρα επενδύσεων.

## 9.2. Πετρώματα

**Πέτρωμα** είναι μια φυσικό συσσωμάτωμα ενός ή πολλών διαφορετικών ορυκτών ή άμορφων υλικών, όπως είναι το ηφαιστειακό γυαλί. Τα πετρώματα που αποτελούνται από ένα ορυκτό καλούνται μονόμικτα, ενώ αν αποτελούνται από περισσότερα ορυκτά πολύμικτα.

Τα πετρώματα μπορεί να δημιουργηθούν με κρυστάλλωση των ορυκτών τους από το μάγμα ή από διαλύματα, με συνεκτικοποίηση και διαγένεση κόκκων διαφόρων ορυκτών ή από μεταμόρφωση προϋπαρχόντων πετρωμάτων σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων.

Τα πετρώματα ανάλογα με την προέλευσή τους διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

Τα **εκρηξιγενή** ή **μαγματικά** πετρώματα σχηματίζονται με στερεοποίηση του μάγματος, υλικού που προέρχεται από τον μανδύα, κατά την ψύξη του στο εσωτερικό του φλοιού ή στην επιφάνεια της Γης.

Τα **ιζηματογενή πετρώματα** σχηματίζονται στην επιφάνεια της γης με συνεκτικοποίηση χαλαρών συστατικών ή κρυστάλλωση διαλυμάτων που προέρχονται από καταστροφή προϋπαρχόντων πετρωμάτων

Τα **μεταμορφωσιγενή ή κρυσταλλοσχιστώδη** πετρώματα σχηματίζονται από αλλαγές στην ορυκτολογική ή χημική σύσταση, στον ιστό και στην υφή προϋπαρχόντων πετρωμάτων όταν βρεθούν κάτω από συνθήκες υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών.

Ο στερεός φλοιός της Γης αποτελείται κατά το 95% από εκρηξιγενή πετρώματα ενώ τα ιζηματογενή και μεταμορφωσιγενή συμμετέχουν μόνο στο 5% ενώ η επιφάνεια της γης αποτελείται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό από ιζηματογενή πετρώματα.

### 9.2.1. Εκρηξιγενή ή μαγματικά πετρώματα

Το διάπυρο πυκνότερο υλικό του μανδύα καλείται μάγμα. Καθώς το μάγμα ανέρχεται από το μανδύα προς την επιφάνεια ψύχεται και στερεοποιείται σε διάφορα βάθη και δημιουργούνται τα εκρηξιγενή ή μαγματικά πετρώματα. Ανάλογα με το βάθος που στερεοποιούνται τα πετρώματα διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- α) Τα **πλουτώνια ή πλουτωνίτες**, που σχηματίζονται σε μεγάλα βάθη κάτω από την επιφάνεια της Γης και αποκαλύπτονται στη συνέχεια εξαιτίας της αποσάθρωσης και της διάβρωσης.
- β) Τα **ηφαιστειακά ή ηφαιστίτες ή έκχυτα** πετρώματα σχηματίζονται από την στερεοποίηση του μάγματος στην επιφάνεια της Γης εξαιτίας της ηφαιστειότητας.
- γ) Τα **φλεβικά** πετρώματα δημιουργούνται από τη στερεοποίηση του μάγματος κατά μήκος ρηγμάτων ή ρωγμών ή τη στρώση των στρωμάτων κατά την άνοδό του προς την επιφάνεια.

Η διάκριση των εκρηξιγενών πετρωμάτων στις κατηγορίες που αναφέραμε γίνεται με βάση τον ιστό τους. Ο ιστός χαρακτηρίζει το σχετικό μέγεθος και το σχήμα των ορυκτολογικών σχηματισμών. Τα πλουτώνια πετρώματα ψύχονται αργά και κρυσταλλώνονται σε μεγάλα βάθη και δημιουργήθηκε ολοκρυσταλλικός ιστός. Αντίθετα στα ηφαιστειακά πετρώματα η ψύξη και κρυστάλλωση των συστατικών έγινε πολύ γρήγορα στην επιφάνεια και δεν πρόλαβε να γίνει πλήρης κρυστάλλωση και έτσι δημιουργήθηκε είτε μια υαλώδης μάζα, όπως ο οψιδιανός και η κίσηρης, είτε ένα μέρος του πετρώματος είναι σε άμορφη κατάσταση και ένα μέρος σε κρυσταλλική.



Υπάρχουν διάφοροι τύποι εκρηξιγενών πετρωμάτων που διαφέρουν στην ορυκτολογική σύσταση και στον ιστό. Ο διαχωρισμός των πετρωμάτων σε διάφορους τύπους μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Μπορούμε να τα διαχωρίσουμε με βάση τη θερμοκρασία σχηματισμού κατά την οποία πρώτα δημιουργούνται οι περιδοτίτες, μετά οι γάββροι, διορίτες και τελευταίοι οι γρανίτες. Επίσης η ταξινόμηση των πετρωμάτων μπορεί να γίνει με βάση είτε στην ορυκτολογική τους σύσταση είτε στη χημική τους σύσταση.

Με βάση το ποσοστό συμμετοχής του SiO<sub>2</sub> διακρίνονται: σε όξινα αυτά που η περιεκτικότητα είναι μεγαλύτερη από 65%, ενδιάμεσα με περιεκτικότητα 52-65%, βασικά από 45-52% και υπερβασικά με μικρότερη από 45%.

Πιο κάτω θα παραθέσουμε πίνακα με τη μέση ορυκτολογική σύσταση κατά βάρος των εκρηξιγενών πετρωμάτων.

Αλκαλιούχοι άστριοι	31,0%
Πλαγιόκλαστα	29,2%
Χαλαζίας	12,4%
Πυρόξενοι	12,0%
Αμφίβολοι	1,7%
Μαρμαρυγίες	5,2%
Ολιβίνης	2,6%
Μεταλλικά ορυκτά	4,1%
Λοιπά	1,8%

Τα εκρηξιγενή πετρώματα συνδέονται με τη γένεση πλήθους κοιτασμάτων και γι αυτό έχουν ιδιαίτερη οικονομική σημασία.

Πιο κάτω θα κάνουμε μια σύντομη περιγραφή των εκρηξιγενών πετρωμάτων αρχίζοντας από τα όξινα προς τα υπερβασικά.

Ο **Γρανίτης** είναι το πιο συνηθισμένο πέτρωμα και αποτελεί το 60% του στερεού φλοιού. Είναι όξινο πέτρωμα με μεγάλη περιεκτικότητα σε χαλαζία (15-42%) και αστρίους (20-40% ορθόκλαστα και 18-35% πλαγιόκλαστα). Είναι πλουτώνιο πέτρωμα και το αντίστοιχό του ηφαιστειακό είναι ο **Ρυόλιθος**. Εξαιτίας του χαλαζία έχουν πολύ μεγάλη σκληρότητα, και αντοχή που αυξάνει όσο είναι πιο λεπτοκρυσταλλικό είναι το πέτρωμα. Οι γρανίτες ιδιαίτερα αν είναι ρωγματομένοι αποσαθρώνονται εξαιτίας των αστρίων και παθαίνουν καολινιτίωση και σερικιτίωση. Τυπική αποσάθρωση του γρανίτη παρατηρούμε στην Τήνο αλλά και σε άλλα νησιά των Κυκλάδων με τη δημιουργία σφαιρικών όγκων, που είναι περισσότερο εξαλλοιωμένοι στο εξωτερικό τμήμα κι όσο πάμε προς το κέντρο είναι

υγείς. Ο γρανίτης χρησιμοποιείται στην οικοδομική, την οδοστρωσία, στη γλυπτική και με στίλβωση χρησιμοποιείται σαν μάρμαρο. Τον ίδιο χημισμό έχει και ο **οψιδιανός** που είναι έκχυτο πέτρωμα με υαλώδη ιστό το λεγόμενο ηφαιστειακό γυαλί. Είναι φτωχός σε νερό. Έχει μαύρο χρώμα και είχε χρησιμοποιηθεί στην αρχαιότητα για την κατασκευή κοπτικών εργαλείων.

Η **Κίσσηρης** είναι σπογγώδες υαλώδες πέτρωμα γκρίζου χρώματος. Είναι και αυτή έκχυτο πέτρωμα. Οι πόροι της κίσσηρης είναι κλειστοί με αποτέλεσμα το μικρό φαινόμενο ειδικό βάρος, μικρότερο του  $1\text{gr/cm}^3$ .

Ο **Περλίτης** είναι έκχυτο πέτρωμα παρουσιάζει περλιτική υφή (εξ ου και το όνομά του) με περιεκτικότητα σε νερό που κυμαίνεται από 2-4%. Θερμαινόμενος στους  $1000^\circ\text{C}$  διογκώνεται και εικοσαπλασιάζεται ο όγκος του και δημιουργεί ένα αφρώδες πέτρωμα που μοιάζει με κίσσηρη. Τόσο η κίσσηρης όσο και ο περλίτης είναι ηχομονωτικά και θερμομονωτικά υλικά και χρησιμοποιούνται επίσης ως αδρανή στο μπετό για ελαφρές κατασκευές ιδιαίτερα για υψηλά κτήρια.

Ο **Συηνίτης** μοιάζει με γρανίτη αλλά είναι λιγότερο ανθεκτικός στην αποσάθρωση. Το αντίστοιχο ηφαιστειακό πέτρωμα είναι ο **Τραχείτης**, που έχει γκρίζο χρώμα και προσβάλλεται εύκολα από το θειώδες οξύ. Αν και δεν είναι πολύ ανθεκτικό χρησιμοποιείται σε πλακοστρώσεις, σε σκυροστρώσεις, σαν δομικός λίθος και σαν μυλόπετρα.

Ο **Γρανοδιορίτης**, και **Διορίτης** είναι τα επόμενα στη σειρά πλουτώνια πετρώματα με βασική χημική σύσταση και τα αντίστοιχά τους ηφαιστειακά είναι ο **Δακίτης** και ο **Ανδεσίτης**. Παρατηρείται σταδιακή μείωση σε χαλαζία και αύξηση σε πυρόξενους και αμφίβλους. Ο ανδεσίτης είναι πορώδες και γι αυτό αποσαθρώνεται και δημιουργεί αργιλικό έδαφος πλούσιο σε σίδηρο. Τα άλλα πετρώματα χρησιμοποιούνται στην οικοδομική και οδοστρωσία και με στίλβωση σαν μάρμαρα.

Ο **Γάββρος** (πλουτώνιο) με αντίστοιχο ηφαιστειακό το **Βασάλτη** είναι τα επόμενα στη σειρά από πλευράς χημισμού και είναι υπερβασικά πετρώματα στα οποία έχει μειωθεί ραγδαία η περιεκτικότητα σε  $\text{SiO}_2$  και έχει αυξηθεί το μαγνήσιο. Επικρατούν οι πυρόξενοι και ο ολιβίνης. Είναι ανθεκτικά στην αποσάθρωση και χρησιμοποιούνται στην οικοδομική και οδοστρωσία.

Ο **Περιδοτίτης** είναι πλουτώνιο πέτρωμα και αποτελεί το χαρακτηριστικό πέτρωμα του συμπλέγματος των βασικών και υπερβασικών που χαρακτηρίζουμε με τον όρο **οφιόλιθοι** και επικρατεί το ορυκτό ολιβίνης. Οι οφιόλιθοι έχουν δημιουργηθεί στις μεσοωκεάνιες ράχες από στερεοποίηση του μάγματος που ανέρχεται από το μανδύα κατά την απομάκρυνση των

λιθόσφαιρικών πλακών. Εξαλλοιώνονται σε σερπεντίνη και μειώνεται η αντοχή τους σε θλίψη. Οι περιδοτίτες συνδέονται με σημαντική μεταλλοφορία χρωμίτη, νικελίου και πλατίνας. Στον ελληνικό χώρο καλύπτονται από παχύ κάλυμμα αργιλικών αποσαθρωμάτων που δημιουργούν προβλήματα ευστάθειας των πρανών.

### **Ιδιότητες των εκρηξιγενών πετρωμάτων.**

Τα εκρηξιγενή πετρώματα έχουν αντοχή στη θλίψη που κυμαίνεται μεταξύ 900 και 2.500 kg/cm<sup>2</sup>

Όλα σχεδόν όταν δεν είναι καταπονημένα μπορεί να χρησιμοποιηθούν σαν αδρανή υλικά στο σκυρόδεμα και σαν σκύρο για οδοστρώσεις. Έχουν καλή πρόσφυση με το τσιμέντο.

Τα υλικά της αποσάθρωσης των εκρηξιγενών πετρωμάτων σχηματίζουν αργιλικά εδάφη πλούσια σε K, Na, Mg, και Fe, κατάλληλα για διάφορες καλλιέργειες. Τα όξινα πετρώματα που έχουν χαλαζία σχηματίζουν πιο ελαφρά εδάφη, ενώ τα βασικά και υπερβασικά σχηματίζουν βαρύ αργιλικό έδαφος.

### **9.2.2. Ιζηματογενή πετρώματα**

Τα ιζηματογενή πετρώματα προέρχονται από καταστροφή προϋπαρχόντων πετρωμάτων με μηχανική ή χημική ή βιογενή δράση. Στη συνέχεια τα υλικά μεταφέρονται σε χώρους ιζηματογένεσης και αποτίθενται σε χαλαρή κατάσταση. Συνήθως σχηματίζουν στρώματα και με την πίεση που ασκείται από το βάρος των υπερκείμενων στρωμάτων, με σύγχρονη αύξηση της θερμοκρασίας και αποβολή νερού και με χημικές διαδικασίες και συγκόλληση συνεκτικοποιούνται. Η διαδικασία αυτή συνεκτικοποίησης καλείται **διαγένεση**.

Κατά τη διαγένεση γεμίζουν οι πόροι του πετρώματος από το συνδετικό υλικό.

Τα ιζηματογενή πετρώματα όπως έχουμε αναφέρει αντιπροσωπεύουν μόνο το 5% της λιθόσφαιρας, αλλά καλύπτουν τα 2/3 της επιφάνειας των ηπείρων και σχεδόν το σύνολο των πυθμένων των ωκεανών και των θαλασσών.

Τα ιζηματογενή πετρώματα ανάλογα με το είδος των διαδικασιών που δημιουργήθηκαν τα ιζήματα τα κατατάσσουμε σε τρεις κατηγορίες:

**Μηχανικά ή κλαστικά:** μηχανικά θρυμματισμένα κομμάτια πετρωμάτων διαφόρων μεγεθών μεταφέρονται και αποτίθενται σε λεκάνες ιζηματογένεσης. Τα θραύσματα έχουν τη σύσταση του μητρικού πετρώματος.

**Χημικά ιζήματα** που δημιουργούνται από τα διαλύματα που σχηματίζουν χημικές ενώσεις οι οποίες κρυσταλλώνονται και αποτίθενται

**Οργανικά (βιογενή ή βιοχημικά)** παράγονται στο χώρο προέλευσής τους κυρίως από κελύφη οργανισμών.

**Τα μηχανικά ή κλαστικά ιζήματα** μπορεί να είναι ασύνδετα ή χαλαρά, ή να έχουν υποστεί διαγένεση και τότε σχηματίζουν τα κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα. Ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων ταξινομούνται στις ακόλουθες υποκατηγορίες:

Στους ογκόλιθους ή μπλοκ με μέγεθος  $\geq 200$  mm. Τα κλάσματα αυτά λόγω του μεγέθους δεν μεταφέρονται συνήθως μακριά από το χώρο που παράγονται και τα συναντάμε στους πρόποδες των βουνών.

Στους χάλικες (200-2 mm), που μπορεί να είναι γωνιώδεις, όταν δεν έχουν υποστεί επεξεργασία από τη μεταφορά τους και λέγονται λατύπες ή να είναι αποστρογγλωμένοι και λέγονται κροκάλες. Τα συμπαγή πετρώματα λέγονται λατυποπαγή και κροκαλοπαγή αντίστοιχα.

Στις άμμους με μέγεθος 2-0,63 mm και διακρίνονται σε χονδρόκοκη, μέτρια και λεπτόκοκη. Σε ασύνδετη μορφή λέγεται άμμος, ενώ τα συνεκτικά πετρώματα ψαμμίτες.

Στους πηλίτες ( $\leq 0,063$  mm), που τα πιο χονδρόκοκκα (0,063-0,04mm) αποτελούν την ιλύ και το πέτρωμα που συνίσταται από ιλύ λέγεται ιλυόλιθος και τα πιο λεπτόκοκκα  $\leq 0,004$  είναι η άργιλος και τα πετρώματα που συνίστανται από άργιλο, αργιλόλιθοι.

Στα κλαστικά ιζήματα επικρατούν τα ορυκτά χαλαζίας και άστριοι, που είναι ορυκτά ανθεκτικά στην αποσάθρωση. Οι αμφίβολοι, οι πυρόξενοι και χλωρίτες, οι μαρμαρυγίες μετατρέπονται σταδιακά με την αποσάθρωση στα αργιλικά ορυκτά ιλίτη μοντμοριλονίτη και καολινίτη. Επίσης σε μικρά ποσοστά συναντώνται βαρέα ορυκτά όπως τουρμαλίνη, επίδοτο τοπάζι, κλπ.

**Λατύπες, κροκάλες.** Διαφέρουν στη μορφή γιατί οι λατύπες είναι γωνιώδεις και συναντώνται στα πλευρικά κορήματα ενώ οι κροκάλες είναι αποστρογγλωμένες. Λόγω μεταφοράς και συναντώνται στις κοίτες των ποταμών και τις ακτές. Έχουν πορώδες 25-30%. Τα αντίστοιχα τους συνεκτικά πετρώματα είναι τα λατυποπαγή και τα κροκαλοπαγή. Η συγκόλληση των θραυσμάτων γίνεται με ορυκτή κόλλα ανθρακική ή πυριτική και προσδίδει μικρότερη ή μεγαλύτερη αντοχή στο πέτρωμα. Το είδος των λατυπών ή των κροκαλών εξαρτάται από το μητρικό πέτρωμα και μπορεί να προέρχονται από ένα ή περισσότερα πετρώματα. Έχουν συνήθως μεγάλη υδροπερατότητα και η αντοχή τους εξαρτάται από το

πορώδες και τη σύσταση της ορυκτής τους κόλλας. Χρησιμοποιούνται ως δομικό και διακοσμητικό υλικό.

Τα τεκτονικά λατυποπαγή σχηματίζονται από την ανασυγκόλληση τεμαχίων σε ρηξιγενείς ζώνες και δεν χαρακτηρίζονται ως ιζηματογενή πετρώματα.

**Άμμοι-Ψαμμίτες.** Ανάλογα με το συστατικό που επικρατεί χαρακτηρίζονται ως χαλαζιακές, ασβεστιτικές, δολομιτικές, κλπ. Έχουν υψηλό πορώδες, 25-35% και μεγάλη υδροπερατότητα. Η άμμος είναι δυνατόν με φορτίσεις να συμπυκνωθεί και να δημιουργηθούν καθιζήσεις, αλλά παθαίνει και αναδιαστολή.

Οι ψαμμίτες αποτελούνται κυρίως από χαλαζιακούς κόκκους αλλά χαρακτηρίζονται από το είδος της ορυκτής κόλλας από την οποία παίρνουν και το όνομά τους, ασβεστιτικός, χαλαζιακός ψαμμίτης κλπ. Η αντοχή τους εξαρτάται από την ορυκτή κόλλα. Η αντοχή στην αποσάθρωση μειώνεται σημαντικά όταν η ορυκτή κόλλα είναι ευδιάλυτη ή αργιλική.

**Άργιλοι-Σχιστές άργιλοι, Πηλοί-Στιφοί πηλοί.** Ο όρος άργιλος περιλαμβάνει τόσο την έννοια του μεγέθους όσο και της ορυκτολογικής σύστασης. Οι άργιλοι είναι πλαστικά υλικά και αναλόγως των συστατικών που περιέχουν χαρακτηρίζονται ως ισχνές άργιλοι όταν περιέχουν χαλαζία, αστρίους και μαρμαρυγίες, ενώ ως παχιές άργιλοι όταν επικρατούν τα αργιλικά ορυκτά και τα υδροξείδια του σιδήρου.

Οι άργιλοι με περιεκτικότητα μικρή περιεκτικότητα σε  $\text{CaCO}_3$  χαρακτηρίζονται ως αργιλικές μάργες, με μεγάλη ως μάργες. Η άργιλοι με διαγένεση σχηματίζουν τους αργιλικούς σχιστόλιθους.

Οι άργιλοι χρησιμοποιούνται στην Παρασκευή τούβλων, κεραμιδιών, τσιμέντου, κλπ. Ως υλικό θεμελίωσης παρουσιάζει τα προβλήματα που δημιουργούν τα αργιλικά ορυκτά. Οι αργιλικοί σχιστόλιθοι παρουσιάζουν διαφορετική αντοχή στις διάφορες διευθύνσεις. Η αντοχή τους σε διεύθυνση κάθετη προς τη σχιστότητα είναι αισθητά μεγαλύτερη απ' ότι σε διεύθυνση παράλληλη.

Τα **χημικά ιζήματα** σχηματίζονται σε υδάτινους χώρους και ιδιαίτερα στη θάλασσα, όπου υπάρχουν διαλυμένα άλατα, που αν μεταβληθεί η συγκέντρωσή τους ή οι φυσικοχημικές συνθήκες στο χώρο και τα διαλύματα γίνουν υπέρκορα, σχηματίζονται κρυσταλλικές ενώσεις. Η συμπύκνωση των διαλυμάτων μπορεί να γίνει και εξαιτίας έντονης εξάτμισης και τα πετρώματα που δημιουργούνται λέγονται εβαπορίτες. Τα ορυκτά που δημιουργούνται ανήκουν στις ομάδες των ανθρακικών και των θειούχων και είναι ο ασβεστίτης, ο αραγωνίτης, η γύψος, κλπ. Τα πετρώματα που δημιουργούνται από τα χημικά ιζήματα είναι οι ασβεστόλιθοι, ο δολομίτης, ο τραβερτίνης, οι λατερίτες, κλπ.

Οι χρήσεις και οι ιδιότητες των ασβεστολίθων και του δολομίτη είναι αντίστοιχες με αυτές που περιγράψαμε στα ορυκτά ασβεστίτη και δολομίτη αντίστοιχα.

Ο **τραβερίτης** είναι ασβεστόλιθος πορώδης που σχηματίζεται εκεί που αναβλύζουν πηγές πλούσιες σε ανθρακικό ασβέστιο και σε θερμές πηγές. Αποτίθεται και περιβάλλει διάφορα αντικείμενα και φυτά με μορφή κρούστας. Χρησιμοποιείται ως διακοσμητικό υλικό.

Οι **λατερίτες** προκύπτουν από τη χημική εξαλλοίωση των πετρωμάτων σε θερμό και υγρό κλίμα. Αποτελούνται από υδροξείδια του σιδήρου και του αργιλίου. Από αυτά δημιουργούνται κοιτάσματα βωξιτών και σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα.

**Τα οργανικά (βιογενή ή βιοχημικά) ιζήματα** δημιουργούνται από σκελετικά στοιχεία, όστρακα και κελύφη, τα οποία αποτίθενται στους χώρους που ζούσαν οι οργανισμοί. Όταν επικρατούν βιοκλαστικά στοιχεία ανθρακικής σύστασης δημιουργούνται οι ασβεστόλιθοι, αν επικρατούν τα πυριτικά δημιουργούνται οι κερατόλιθοι.

### 9.2.3. Μεταμορφωσιγενή πετρώματα

Τα μεταμορφωσιγενή πετρώματα σχηματίστηκαν στο εσωτερικό της Γης από προϋπάρχοντα πετρώματα σε συνθήκες υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών. Κατά τη μεταμόρφωση μεταβλήθηκε ο ιστός τους και η ορυκτολογική τους σύσταση. Χαρακτηριστικό των μεταμορφωσιγενών πετρωμάτων είναι η σχιστότητα και η παράλληλη διάταξη των ορυκτολογικών τους συστατικών.

Οι συνθήκες που προκαλούν τη μεταμόρφωση, όπως αναφέραμε, είναι οι υψηλές θερμοκρασίες και οι πιέσεις οι οποίες δρουν μαζί ή και χωριστά. Οι δυνάμεις που επενεργούν στα πετρώματα είναι η λιθοστατική πίεση, δηλαδή η πίεση που ασκεί το βάρος των υπερκείμενων πετρωμάτων, οι τάσεις ολίσθησης καθώς επίσης και συμπιεστικές ή εφελκυστικές τάσεις. Η μεταμόρφωση που παθαίνουν τα πετρώματα είναι διαφόρων βαθμών και εξαρτάται από τους παράγοντες που επικρατούν. Επίσης ανάλογα με τους παράγοντες που επικρατούν διακρίνουμε διάφορα είδη μεταμόρφωσης.

- α) Η μεταμόρφωση που προκαλείται από υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλές πιέσεις χαρακτηρίζεται ως **θερμική μεταμόρφωση**. Ως **μεταμόρφωση επαφής** χαρακτηρίζουμε τη μεταμόρφωση που παθαίνουν τα πετρώματα που έρχονται σε επαφή με υπέρθερμα μαγματικά σώματα, όπως συμβαίνει στις μαγματικές φλέβες.
- β) **Δυναμομεταμόρφωση** ή **δυναμική μεταμόρφωση** παθαίνουν τα πετρώματα από την επίδραση ισχυρών τάσεων σε συνδυασμό με χαμηλές θερμοκρασίες και λιθοστατικές πιέσεις.

Τόσο η θερμική όσο και η δυναμική μεταμόρφωση έχουν περιορισμένη εξάπλωση στο χώρο.

γ) **Καθολική μεταμόρφωση** υφίστανται τα πετρώματα με την επίδραση όλων των παραγόντων (υψηλές θερμοκρασίες πιέσεις και παραμορφωτικές τάσεις), συμβαίνει κυρίως κατά την ορογένεση και προσβάλλει πετρώματα σε μεγάλες εκτάσεις.

Τα μεταμορφωσιγενή πετρώματα χαρακτηρίζονται από προσανατολισμό των ορυκτών κάθετα προς τον άξονα της μεγαλύτερης τάσης, έχουν σχιστότητα και χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες ορυκτολογικές παραγενέσεις.

Γνωστά μεταμορφωσιγενή πετρώματα είναι οι σχιστόλιθοι, τα μάρμαρα, οι χαλαζίτες, γνεύσιοι, κλπ.

Η τεχνική συμπεριφορά τους εξαρτάται από τον ιστό τους και τη σχιστότητα. Τα πετρώματα που έχουν καλή σχιστότητα, επιτρέπουν την εύκολη εξόρυξη πλακών. Η μεγάλη περιεκτικότητα σε φυλλώδη ορυκτά δυσκολεύει τη στίλβωση. Η αντοχή στα φορτία, την κάμψη και τη διάτμηση μεταβάλλονται με τη διεύθυνση. Οι ιδιότητες αυτές είναι μεγάλες όταν η καταπόνηση ασκείται κάθετα στη σχιστότητα και αποκτούν τις μικρότερες τιμές σε γωνία  $45^\circ$ .

**Γνεύσιοι.** Είναι κοκκώδεις και μοιάζουν με τους γρανίτες αλλά παρουσιάζουν παράλληλη διάταξη των ορυκτολογικών τους συστατικών. Μπορεί να προέθει από εκρηξιγενή πετρώματα, οπότε ονομάζεται ορθογνεύσιος ή από ιζηματογενή και ονομάζεται παραγνεύσιος. Όταν έχει σχιστότητα αποσαθρώνεται εύκολα από παγετό. Χρησιμοποιείται όπου και ο γρανίτης.

**Σχιστόλιθοι.** Παρουσιάζουν έντονη σχιστότητα και αποχωρίζονται εύκολα σε πλάκες. Χρησιμοποιούνται ως δομικό υλικό, σε πλακοστρώσεις και διακοσμητικό. Είναι υδροστεγανά πετρώματα. Ανάλογα με τα ορυκτολογικά συστατικά που επικρατούν ονομάζονται, μαρμαρυγικοί ασβεστιτικοί, χαλαζιακοί, χλωριτικοί κλπ. Οι αργιλικοί σχιστόλιθοι αποτελούν μετάβαση από τους σχιστόλιθους στους φυλλίτες και χρησιμοποιούνται για κάλυψη των στεγών, γι αυτό λέγονται και στεγαστήρες σχιστόλιθοι. Όταν τα ορυκτολογικά τους συστατικά δεν διακρίνονται μακροσκοπικά ονομάζονται φυλλίτες.

**Χαλαζίτες.** Προέρχονται από μεταμόρφωση ψαμμιτών. Έχουν μεγάλη σκληρότητα και αντοχή και χρησιμοποιούνται στις οδοστρώσεις. Έχουν αντολισθηρές ιδιότητες, αν και τώρα θεωρούνται πολλά εκρηξιγενή πετρώματα και γνεύσιοι ότι παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά.

**Σερπεντινίτες.** Αποτελούνται από σερπεντίνη. Άλλα συστατικά τους είναι ο ασβεστίτης, ο ακτινολίθος, ο ολιβίνης, κλπ. Πρόκειται για πολύ καλά διακοσμητικά πετρώματα, που στίλβώνονται και γίνονται σαν μάρμαρα. Είναι γνωστά το πράσινο μάρμαρο της Λάρισας, που είναι σερπεντινικό κροκαλοπαγές και τα πράσινα μάρμαρα της Τήνου (οφίτης λίθος)

**Μάρμαρα.** Προέρχονται από τη μεταμόρφωση των ασβεστολίθων και είναι τα πραγματικά μάρμαρα. Στο εμπόριο με τον όρο μάρμαρα περιγράφονται όλα τα πετρώματα που επιδέχονται στίλβωση. Κύριο συστατικό των μαρμάρων είναι ο ασβεστίτης. Είναι κοκκώδη, (λεπτοκοκκώδη ή χονδροκοκκώδη) και το χρώμα ποικίλει, άσπρο καστανό κλπ.. Το φως εισχωρεί μέσα στους κρυστάλλους και ανακλάται και το μάρμαρο λαμπυρίζει. Από την ιδιότητά τους αυτή πήραν το όνομά τους από την αρχαία ελληνική λέξη «μαρμαίρω». Η ιδιότητα αυτή αποτελεί κριτήριο για την ποιότητα των μαρμάρων. Τα μάρμαρα της Πάρου θεωρούνται εξαιρετικής ποιότητας. Τα μάρμαρα είναι διαφώτιστα. Ανεπιθύμητες προσμίξεις είναι τα ορυκτά αιματίτης, σιδηροπυρίτης και άλλα που οξειδώνονται και αλλοιώνουν την επιφάνεια των μαρμάρων. Επίσης το θειικό οξύ της ατμόσφαιρας αντιδρά με τον ασβεστίτη και δημιουργεί γύψο που αλλοιώνει την επιφάνεια.

### 9.3. Λιθολογικοί σχηματισμοί

**Φλύσχη:** Ο όρος χαρακτηρίζει σύνολο ιζημάτων που αποτελούνται από εναλλαγές κροκαλοπαγών, ψαμμιτικών, μαργαϊκών, αργιλικών και ασβεστολιθικών στρωμάτων. Τα υλικά του φλύσχη είναι χερσογενούς προέλευσης και προέρχονται από την καταστροφή των οροσειρών κατά την παροξυσμική φάση του ορογενούς. Ο φλύσχη βρίσκεται μπροστά από τις οροσειρές που σχηματίζονται με την πτύχωση (στην Προχώρα) και τα ιζήματά του πτυχώνονται μαζί με τους άλλους σχηματισμούς και πολλές φορές βυθίζονται κάτω από την πτυχωσιγενή οροσειρά. Για το λόγο αυτό ο φλύσχη είναι τεκτονικά καταπονημένος και μπορεί να εγκλείει υπολειμματικές τάσεις. Το πάχος των στρωμάτων που αποτελούν το φλύσχη δεν είναι το ίδιο σε όλες τις αποθέσεις. Αλλού παρατηρείται ρυθμική εναλλαγή λεπτών στρωμάτων αργίλων, ψαμμιτών ή κροκαλοπαγών και αλλού να υπερτερούν οι άργιλοι ή ψαμμίτες μεγάλου πάχους, κλπ. Οι ιδιότητες και η συμπεριφορά των σχηματισμών αυτών καθορίζεται από τη φύση των στρωμάτων που αποτελούν το φλύσχη σε κάθε περιοχή και την κλίση των στρωμάτων. Όπως είναι γνωστό τόσο οι μηχανικές ιδιότητες των διαφόρων στρωμάτων όσο και η υδρολογική συμπεριφορά τους είναι διαφορετικές. Γενικά όταν υπερτερούν σε πάχος οι στρώσεις των αργίλων, ο λιθολογικός σχηματισμός χαρακτηρίζεται



από τις αργιλικές ιδιότητες, που είναι η πλαστικότητα, η υδατοστεγανότητα, υδροαπορροφητικότητα και κατολισθητικές τάσεις. Αντίθετα όταν υπερτερούν τα ψαμμικά στρώματα, έχει ευστάθεια πρανών και υψηλή αντοχή στα φορτία. Για τους λόγους που αναφέραμε οι μηχανικοί πρέπει να γνωρίζουν την ακριβή λιθολογική σύσταση του φλύσχη στις περιοχές που πρόκειται να εργαστούν.

**Οφιόλιθοι:** Είναι κομμάτια του ωκεάνιου φλοιού και του ανώτερου μανδύα, που αποσπάστηκαν κατά τη σύγκρουση των λιθοσφαιρικών πλακών και τοποθετήθηκαν πάνω στις ηπείρους ως τεκτονικά καλύμματα.

**Μολάσα:** Σύνολο ιζημάτων που αποτελείται κυρίως από εναλλαγές κροκαλοπαγών, ψαμμιτών και αργίλων που έχουν αποθεθεί σε λιμναίο ή θαλάσσιο περιβάλλον, που έχουν προέλθει από τη διάβρωση των οροσειρών που είχαν δημιουργηθεί κατά την παροξυσμική ορογενετική φάση του Τριτογενούς. Έχουν αποθεθεί πίσω από το μέτωπο του ορογενετικού τόξου, στην Οπισθοχώρα, με προσανατολισμό παράλληλο προς τις προσχωσιγενείς οροσειρές. Η διαφορά με το φλύσχη είναι ότι ο φλύσχη βρίσκεται μπροστά από τις οροσειρές που σχηματίζονται με την πτύχωση (στην Προχώρα) και τα ιζήματά του πτυχώνονται μαζί με τους άλλους σχηματισμούς και πολλές φορές βυθίζονται κάτω από την πτυχωσιγενή οροσειρά, ενώ οι μολάσες αποτίθενται και παραμένουν πάνω στην πτυχωμένη οροσειρά

Οι μολάσες είναι κλαστικές αποθέσεις, που χαρακτηρίζονται από κακή κοκκομετρική ταξιθέτηση και από μεγάλη ποικιλία φάσεων. Αποτέλεσμα του τεκτοϊζηματογενούς τρόπου γένεσης των μολασικών σχηματισμών είναι ότι βρίσκονται πάντοτε σε ασυμφωνία με τους υποκείμενους σχηματισμούς και δεν έχουν πτυχωθεί, εκτός από σπάνιες περιπτώσεις, που τότε αναφέρεται ως πτυχωσιγενής μολάσα.

## 9.4. Αποθέσεις

Ιδιαίτερη σημασία για τους μηχανικούς έχει η αναγνώριση των διαφόρων αποθέσεων και η γνώση των τεχνικών ιδιοτήτων τους. Πιο κάτω θα αναφερθούμε σε μερικές από τις πιο κοινές και σημαντικές.

**α) Προσχωσιγενείς αποθέσεις:** Σε πεδινές εκτάσεις, οριζόντιες ή με μικρή κλίση, κοντά στους πρόποδες ορεινών όγκων συσσωρεύονται υλικά είτε λόγω βαρύτητας είτε με μεταφορά εξαιτίας της επιφανειακής απορροής. Οι σχηματισμοί αυτοί μπορεί να αποτελούνται από χαλαρά (ασύνδετα υλικά), αλλά επίσης μπορεί να έχουν υποστεί κάποιο

βαθμό συγκόλλησης, (συνεκτικοποίησης). Οι σχηματισμοί αυτοί από τους γεωλόγους χαρακτηρίζονται ως αλλουβιακά ριπίδια, κώνοι κορημάτων ή πλευρικά κορήματα. Χαρακτηρίζονται λιθολογικά από λεπτόκοκκο αδρομερές υλικό αργιλικής ή αμμώδους σύστασης, γενικά διάφορης κοκκομετρίας, δεν έχουν καλή διαβάθμιση και η λιθολογική τους σύσταση παρουσιάζει μεγάλες και απότομες μεταβολές.

Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούν λιθολογικά σύνθετες αποθέσεις, παρουσιάζουν μεγάλη ανομοιογένεια και για το λόγο αυτό δεν επιτρέπεται η γενίκευση των συμπερασμάτων αλλά επιβάλλεται προσεκτική γεωτεχνική έρευνα σε πολλές θέσεις.

**β) Νεογενείς αποθέσεις:** Ιζηματογενείς αποθέσεις αποτελούμενες από μάργες, αργίλους, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, που αποτέθηκαν κατά την Νεογενή περίοδο (23-5 εκατ. χρόνια) χαρακτηρίζονται με τον γενικό όρο Νεογενείς αποθέσεις. Χαρακτηρίζονται από στρώσεις και πολλές φορές εναλλάσσονται διάφοροι σχηματισμοί, όπως συμβαίνει στο φλύσχη . Σημαντική διαφορά μεταξύ τους είναι ότι ο φλύσχης σχηματίστηκε κατά την ορογένεση και για το λόγο αυτό τα στρώματα που τον αποτελούν είναι τεκτονισμένα και καταπονημένα, ενώ τα νεογενή στρώματα αποτέθηκαν μετά την ορογένεση και δεν έχουν πτυχωθεί και καταπονηθεί, αλλά μπορεί να είναι λίγο ανορθωμένα ή κεκλιμένα. Η απόθεση των στρωμάτων γίνεται σε θαλάσσιο ή λιμναίο περιβάλλον. Τα στρώματα που έχουν αποτεθεί σε κλειστές λίμνες είναι ενδεχόμενο να εγκλείουν στρώματα λιγνιτών, ενώ σε θαλάσσιο περιβάλλον, κλειστές θαλάσσιες λεκάνες, μπορεί να εγκλείουν κοιτάσματα άλατος ή ανυδρίτη, κλπ. Τα οργανικά και χημικά ιζήματα μέσα στις νεογενείς αποθέσεις δημιουργούν σοβαρά προβλήματα στα τεχνικά έργα.

**γ) Ποταμοχειμάρριες αποθέσεις:** Τα ποτάμια έχουν μεγάλη μεταφορική ικανότητα που είναι συνάρτηση της ταχύτητάς τους και των πετρωμάτων πάνω στα οποία ρέουν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μεγάλες ποσότητες στερεών υλικών να μεταφέρονται και να αποθέτονται στις θάλασσες, στις λίμνες αλλά και στην κοίτη και τις όχθες των ποταμών δημιουργώντας αποθέσεις μεγάλου πάχους. Τα υλικά που μεταφέρονται είναι διαφορετικής κοκκομετρίας, με αποτέλεσμα οι αποθέσεις να παρουσιάζουν μεγάλες και απότομες μεταβολές, τόσο στην κατακόρυφη όσο και στην οριζόντια λιθολογική τους σύσταση. Τα υλικά αυτά δεν παρουσιάζουν ικανοποιητική συμπίκνωση των κλασμάτων και έχουν μεγάλη χαλαρότητα, με αποτέλεσμα να δημιουργούν σοβαρά προβλήματα στα τεχνικά έργα, όπως καθιζήσεις, κλπ.

## 10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

1. Aubuin, J., Brousse, R., Lehman, J.P., 1975: Précis de géologie. -3.Tectonique, tectonophysique, morphologie. Paris.
2. Aubouin, J., Blanchet, R., Stephan, J.F., et Tardy, M., 1977 : Théthys (Mésogée) et Atlantique: données de la géologie. C. R. Ac. Paris, (D), 285, p. 1025-1028.
3. Αυγουστίδης, Σ.Σ., 1969: Γενική Γεωλογία, Μέρος Ι Γεωμορφολογία, Αθήνα.
4. Αυγουστίδης, Σ.Σ., 1969: Εγχειρίδιον Γενικής Γεωλογίας, Μέρος ΙΙ Ενδογενετικά Διεργασίες, Αθήνα.
5. Bickford, M., Bolf, B. et al., 1974: Geology Today, CRM Books Del Mar, California.
6. Burbank, D. –Anderson, R., 2004: Tectonic Geomorphology, Blackwell Science.
7. Γαλανόπουλος, Α., 1965: Το συζυγές σύστημα μεγάλων τεκτονικών ρηγμάτων και η συμπαρομαρτούσα σεισμική δράση εν Ελλάδι. Ann. Geol. D. Pays Hellen. 18, σελ. 119-134, Αθήνα.
8. Γαλανόπουλος, Α., 1971: Στοιχεία Σεισμολογίας και Φυσικής του Εσωτερικού της Γης. Αθήνα.
9. Clifton, E., 1983: Wave formed sedimentary structures. A conceptual Model. Us. Geol. Survey, California.
10. Coates, R., 1981: Environmental Geology. John Willey and Sons Inc.
11. Cooke, Rand Warren, A., 1973: Geomorphology in deserts, Batsford, London.
12. Δούστος, Θ., 2000: Γεωλογία: Αρχές και Εφαρμογές. Leader Books Α.Ε. Αθήνα.
13. Davis, R., 1978: Coastal sedimentary Environments, Springer-Verlag.
14. Δερμιτζάκης, Μ., Λέκκας, Σ., 1982: Διερευνώντας τη Γη, εισαγωγή στη Γεν.Γεωλογία, Αθήνα.

15. Flint, R.F., Skinner, B., 1974: Physical Geology. J.Wiley and Sons New York.
16. Goudie, A., 1984: The Nature of the environment, Blackwell, Great Britain.
17. Hails, J., 1978: Applied Geomorphology, Elsevier, Amsterdam.
18. Hamblin, K., Howard, J., 1975: Exercises in Physical Geology, Burgess Publ. Co., Minnesota.
19. Hamblin, K., 1978: The Earth's Dynamic Systems. Burgess Co, Minneapolis.
20. Hatzfeld, D., 1994: On the share of the subducting slab beneath the Peloponnese, Greece. Geophys. Res. Letts. 21(3), pp. 173-176.
21. Herak, M. and Stringfield, V., 1972: Karst. Important Karst Regions on the Northern Hemisphere. Elsevier Amsterdam.
22. Holms, A., 1965: Principles of physical Geology, Th. Nelson Ltd. London 1965.
23. Jackson, J.A., 1994: Active tectonics of Aegean region. Annual Review Earth and Planetary Science, 22 p. 239-271.
24. Jakucs, L., 1977: Morphogenetics of Karst Regions. Academie Kiado, Budapest.
25. Κατσικάτσος, Γ. 1992: Γεωλογία της Ελλάδας. Αθήνα.
26. Keller, A., 1978: Environmental Geology. Charles E. Merrill Publishing Co., A. Bell and Howell Company, USA.
27. King, C., 1972: Beaches and Coast. Edward Arnold.
28. Komar, P., 1983: Handbook of coastal processes and erosion. C.R.C. Press-Boca Florida.
29. Λέκκας, Σ., 1985: Σημειώσεις Τεκτονικής Γεωλογίας, Αθήνα.
30. Le Pichon, X., Chamot-Rooke, N., Lallemand, S., Noomen, R., & Veis, G., 1995: Geodetic determination of the kinematics of the central Greece with respect to Europe : Implication for eastern Mediterranean tectonics. Jour. Of Geophys. Res. 100 (B7), pp. 12675-12690.
31. Lutgens, T., 1997: Earth Science. Prentice Hall, New Jersey 07458.
32. Κισκύρας, Δ., Αλεξούλη-Λειβαδίτη, Α., 2000: Πρακτικά πορίσματα από τη μελέτη των αποτελεσμάτων των σεισμών της Καλαμάτας το Σεπτέμβριο του 1986. Ann. Geol. Pays Hellen. Τομ. XXXVIII (σελ.233-240) Αθήνα.

33. Μαριολάκος, Η. 1976: Γεωλογία της Ελλάδος
34. Mercier, J., 1977: L'Arc Egéen, une bordure déformée de la plaque eurasiatique; réflexions sur un exemple d'étude néotectonique. Bull. Soc. Geol. Fr., (7), t. XIX, fasc. 3, p. 663-672.
35. Μιγκίρος, Γ., 1996: Βασικές αρχές και έννοιες στη Γεωλογία. Acces Pre-Press, Αθήνα.
36. Μουντράκης, Δ. 1985: Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press. Θεσσαλονίκη.
37. Montgomery, C. 1997: Environmental Geology. McGraw-Hill Boston.
38. Παπαζάχος, Β., 1990: Εισαγωγή στη Σεισμολογία, Θεσ/νίκη, Εκδόσεις Ζήτη.
39. Παπανικολάου, Δ. 1986: Γεωλογία της Ελλάδας. Αθήνα.
40. Παπανικολάου, Δ., Καροτσιέρη, Ζ., Φουντούλη, Ι., Λόζιο, Σ., Μαριολάκο, Η., 2002: Σημειώσεις Τεκτονικής Γεωλογίας.
41. Παυλίδης, Σ., Μουντράκης, Δ., 1986: Νεοτεκτονική, Εισαγωγή στη μελέτη των πρόσφατων Γεωλογικών δομών, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
42. Pethick, J., 198. (?): An Introduction to coastal Geomorphology. Edward Arnold.
43. Reilinger, R., McClusky, S., Oral, M., King, R., Toksoz, M., Barka, A, Kinik, I., Lenk, O., & Sauli, I., 1997: Global positioning system measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Eurasia plate collision zone. Geophys. Res. 102. pp.9983-9999.
44. Selby, M. J., 1985: Earth's Changing Surface, Clarendon Press, Oxford.
45. Small, R., 1972: The study of landforms, Cambridge. Univ. Press.
46. Shelton, J., 1966: Geology illustrated, Freeman, Co U.S.A.
47. Spakman, W., Wortel, M. J. R. & Vlaar, N.J., 1988: The Hellenic subduction zone: a tomographic image and its geodynamic implications. Geophys. Res. Letts. 15, pp.60-63.
48. Strahler, A. N., Strahler, A. H. 1987: Modern Physical Geography. Willey, New York.
49. Thornbury, D.W., 1969: Principles of Geomorphology J. Willey and Sons. New York.
50. Tricart, J., 1972: Landforms of the humid tropics, forests and savannas. Longman.
51. Φυτρολάκης, Ν., 1885: Γενική Γεωλογία. Αθήνα.