

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

1.1 Εισαγωγή

Γεωλογία είναι η επιστήμη που μελετά τη Γη, τόσο την επιφάνεια όσο και την εσωτερική στερεή δομή της, τα γεωυλικά και τις ιδιότητές τους, καθώς και τις διεργασίες κατά τις οποίες δημιουργούνται τα υλικά της Γης ή ακόμη και αυτές που τα επηρεάζουν. Η Γεωλογία αποτελεί μια εφαρμοσμένη επιστήμη η οποία, σε συνεργασία με άλλους επιστημονικούς κλάδους, καλείται να δώσει απαντήσεις σε σοβαρά και μεγάλης σημασίας θέματα του σύγχρονου πολιτισμού μας, όπως για παράδειγμα στην προστασία του περιβάλλοντος, τους ενεργειακούς φυσικούς πόρους, τις φυσικές καταστροφές, τα τεχνικά έργα κ.ά. Οι εξής κλάδοι δομούν την επιστήμη της Γεωλογίας:

- Η **Γενική Γεωλογία** έχει ως αντικείμενο μελέτης τη σύσταση της Γης, τη δομή της καθώς και τις δυνάμεις που διαμορφώνουν την επιφάνειά της.
- Η **Πετρολογία** μελετά τη δομή και σύσταση των πετρωμάτων καθώς και τις συνθήκες κάτω από τις οποίες προκύπτουν.
- Η **Ορυκτολογία**, της οποίας αντικείμενο είναι η κρυσταλλογραφική και κρυσταλλοχημική μελέτη των ορυκτών καθώς και η γένεση και ταξινόμησή τους.
- Η **Κοιτασματολογία** είναι ο κλάδος της Γεωλογίας ο οποίος ασχολείται με την ανεύρεση, τη μελέτη, την αξιολόγηση και την αξιοποίηση κοιτασμάτων.
- Η **Στρωματογραφία** μελετά, περιγράφει και ταξινομεί τα ιζηματογενή στρώματα με βάση τη σειρά σχηματισμού τους.
- Η **Ιζηματολογία** μελετά τη σύσταση και τη δομή των στερεών κόκκων που αποτίθενται στους πυθμένες των λεκανών. Επίσης ασχολείται με την ταξινόμησή τους και με τις διεργασίες με τις οποίες σχηματίστηκαν.
- Η **Ιστορική Γεωλογία** μελετά την εξέλιξη των περιβαλλόντων και των οργανισμών κατά τη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου. Αποτελείται από τρεις μεγάλους κλάδους: την **Παλαιοντολογία**, η οποία περιγράφει και ταξινομεί τα απολιθώματα, με στόχο να μελετήσει τους ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς κατά τη διάρκεια της γεωλογικής ιστορίας της Γης· την **Παλαιοκλιματολογία**, που μελετά τις μεταβολές του κλίματος κατά τη διάρκεια της γεωλογικής ιστορίας της Γης· και τέλος την **Παλαιογεωγραφία**, η οποία ασχολείται με τη μελέτη του περιβάλλοντος σε παλαιότερες γεωλογικές περιόδους.
- Η **Υδρογεωλογία** μελετά την αποθήκευση, κίνηση και χημική σύσταση του επιφανειακού και υπόγειου νερού και ασχολείται με την προστασία του από την ανεξέλεγκτη υδροληψία.
- Η **Τεχνική Γεωλογία** ασχολείται με την εκτίμηση των τεχνικογεωλογικών και των υδρογεωλογικών συνθηκών σε σχέση με την κατασκευή τεχνικών έργων, καθώς και με τη μελέτη των ανθρωπογενών επιδράσεων στο γεωλογικό περιβάλλον.
- Η **Γεωμορφολογία** μελετά και αναλύει το γήινο ανάγλυφο, περιγράφει τις διαδικασίες που το διαμόρφωσαν κατά τη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου και ταξινομεί τις γεωμορφές που εντοπίζονται.
- Η **Φωτογεωλογία** ασχολείται με τη μελέτη του εδάφους με βάση τη χρήση αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων, με στόχο τον καθορισμό των μορφολογικών και λιθολογικών χαρακτηριστικών του.
- Η **Γεωλογική χαρτογράφηση** ασχολείται με την αποτύπωση σε τοπογραφικό χάρτη όλων των γεωλογικών σχηματισμών και δομών που συναντώνται στην επιφάνεια της Γης.
- Η **Τεκτονική Γεωλογία** μελετά τις παραμορφώσεις των πετρωμάτων, οι οποίες οφείλονται στις τάσεις που ασκούνται στα πετρώματα ως συνέπεια της κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών.
- Η **Γεωχημεία** ασχολείται με τη μελέτη των πετρωμάτων και ορυκτών της Γης και πιο συγκεκριμένα με τη χημική σύσταση και τον τρόπο σχηματισμού τους.
- Η **Γεωφυσική** μελετά τη φυσική κατάσταση των πετρωμάτων και τη δομή του εσωτερικού της Γης.
- Η **Ηφαιστειολογία** ασχολείται με τη μελέτη των ηφαιστείων και της ηφαιστειότητας. Πιο συγκεκριμένα, μελετά τον τρόπο σχηματισμού των ηφαιστείων, τη δράση τους και την πρόβλεψη των καταστροφικών δραστηριοτήτων τους.
- Η **Γεωθερμία** ασχολείται με τη μελέτη της θερμικής ενέργειας που προέρχεται από το εσωτερικό της Γης.

- Η **Γεωλογία Περιβάλλοντος** μελετά τις διαδικασίες (ενδογενείς και εξωγενείς) που επηρεάζουν και μεταβάλλουν το περιβάλλον, τους φυσικούς πόρους και τη διάθεση των προϊόντων εκμετάλλευσης, καθώς και τους δανειοθαλάμους υλικών που χρησιμοποιούνται σε τεχνικά έργα.
- Η **Θαλάσσια Γεωλογία** μελετά τη μορφολογία του θαλάσσιου πυθμένα και τα φαινόμενα που συνδέονται με αυτήν, τα πετρώματα (δομή και σύσταση) που δομούν τον θαλάσσιο χώρο καθώς και την επίδραση του νερού και των κυμάτων στον πυθμένα και στα υλικά του.
- Η **Γεωλογία του Πετρελαίου** ασχολείται με τη μελέτη της γένεσης, της μετανάστευσης, της συσσώρευσης και του εντοπισμού των υδρογονανθράκων.
- Η **Πλανητική Γεωλογία** μελετά την ορυκτολογική, γεωχημική και τεκτονική δομή των πλανητών του ηλιακού μας συστήματος.

1.1.1 Δομή της Γης

Το σχήμα της Γης είναι πεπλατυσμένο σφαιροειδές που οφείλεται στην περιστροφή της (Δερμιτζάκης και Λέκκας, 2010). Η μέση ακτίνα της Γης είναι 6.371,0 km. Το μεγαλύτερο μήκος της γήινης ακτίνας (6.378,1 km) εντοπίζεται στον ισημερινό και το μικρότερο (6.356,8 km) στους πόλους. Το εσωτερικό της Γης (Σχ. 1.1 και σύνδεσμος 1) χωρίζεται σε τρία μεγάλα τμήματα: τον φλοιό, τον μανδύα και τον πυρήνα.

Δομή του Φλοιού

Ο φλοιός της Γης (Σχ. 1.1) αποτελεί το επιφανειακό τμήμα της Γης με πάχος που κυμαίνεται μεταξύ 5 και 80 km. Η μέση πυκνότητα του φλοιού της Γης είναι περίπου 2,7-2,8 gr/cm³. Διακρίνεται σε ωκεάνιο και ηπειρωτικό φλοιό. Οι δύο κατηγορίες φλοιών διαφέρουν ως προς τα πάχη τους, τη σύστασή τους και την πυκνότητά τους.

Ο ωκεάνιος φλοιός, με ομογενή γενικά σύσταση (βασαλτική, όπου επικρατούν τα στοιχεία πυρίτιο Si και μαγνήσιο Mg), παρουσιάζει μέσο πάχος 6-7 km και αποτελείται από δύο στρώματα, το ιζηματογενές και το βασαλτικό. Στη σύσταση του ιζηματογενούς στρώματος επικρατούν κυρίως οι ενώσεις SiO₂ και CaCO₃. Το βασαλτικό στρώμα, το οποίο υπόκειται του ιζηματογενούς στρώματος, αποτελείται από πλούσιους σε ασβέστιο άστριους (CaAl₂Si₂O₈) και πυροξένους [(Mg, Fe, Ca)SiO₃]. Το βασαλτικό στρώμα δημιουργείται στις μεσοωκεάνιες ράχες εξαιτίας της μερικής τήξης των πετρωμάτων του ανώτερου μανδύα. Ο ωκεάνιος φλοιός με τον υποκείμενό του ανώτερο μανδύα καταβυθίζονται και τήκονται στο βαθύτερο τμήμα του μανδύα, σε περιοχές που ονομάζονται ωκεάνιες τάφροι.

Ο ηπειρωτικός φλοιός της Γης παρουσιάζει μεγαλύτερη ανομοιογένεια σε σχέση με τον ωκεάνιο φλοιό, με μέσο πάχος περίπου 35 km, που μπορεί όμως να φτάσει έως και τα 60-80 km κάτω από τις μεγάλες οροσειρές. Αποτελείται από τρία στρώματα: το ιζηματογενές, το γρανιτικό και το βασαλτικό στρώμα στο κατώτερο τμήμα του. Το γρανιτικό στρώμα (Sial) έχει γενικά σύσταση πλούσια σε πυρίτιο Si και αργίλιο Al και μέση πυκνότητα 2,8 gr/cm³. Το ιζηματογενές στρώμα, το οποίο υπέρκειται του γρανιτικού στρώματος, παρουσιάζει πυκνότητα μικρότερη από 2,8 gr/cm³. Αντίθετα το βασαλτικό στρώμα, το οποίο υπόκειται του γρανιτικού, παρουσιάζει πυκνότητα μεγαλύτερη από 2,8 gr/cm³, που μπορεί να φτάσει έως και τα 3,1 gr/cm³. Η σύσταση του βασαλτικού στρώματος είναι πλούσια σε πυρίτιο Si και μαγνήσιο Mg.

Ακολουθώντας μια απλοποιημένη προσέγγιση, ο ηπειρωτικός φλοιός μπορεί να διακριθεί σε δύο κύρια τμήματα: τον ανώτερο φλοιό και τον κατώτερο φλοιό. Ο ανώτερος φλοιός αποτελείται από πετρώματα πλούσια σε πυρίτιο (π.χ. γρανίτης), ενώ ο κατώτερος φλοιός αποτελείται κυρίως από μαγματικά πετρώματα (π.χ. βασάλτης, γάββρος, αμφιβολίτης κ.ά.).

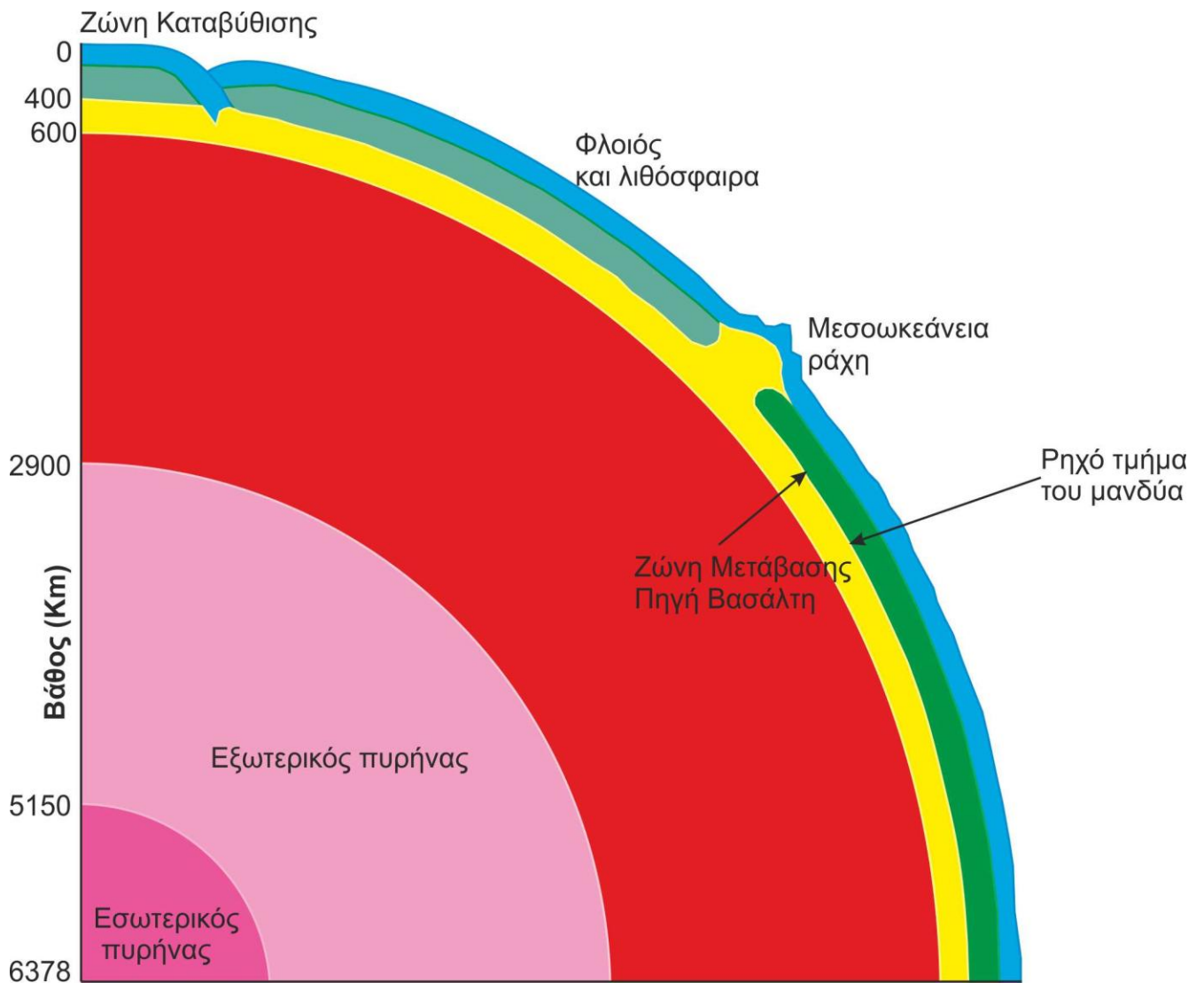
Δομή του μανδύα

Ο μανδύας της Γης (Σχ. 1.1) διαχωρίζεται από τον υπερκείμενό του φλοιό από την ασυνέχεια του Mohorovicic ή απλά Moho, η οποία αντιπροσωπεύει μια απότομη μεταβολή στην ταχύτητα των σεισμικών κυμάτων από 6-7 km/s σε 8 km/s. Η μεταβολή αυτή σχετίζεται με ραγδαία αλλαγή στη σύσταση των πετρωμάτων. Ο μανδύας διαχωρίζεται σε τρία μικρότερα τμήματα: τον ανώτερο μανδύα σε βάθος από την επιφάνεια μικρότερο από 400 km, την ενδιάμεση ζώνη (400-670 km) και τον κατώτερο μανδύα (670-2.900 km). Σύμφωνα με τον Gutenberg, σε βάθος 100-300 km παρατηρείται μια ζώνη χαμηλών σεισμικών ταχυτήτων, που οφείλεται στην πλαστική κατάσταση των υλικών σε αυτή την περιοχή του μανδύα. Η περιοχή αυτή ονομάστηκε ασθενόσφαιρα. Η σύσταση του μανδύα είναι υπερβασική, το ανώτερο τμήμα του χαρακτηρίζεται από πυριτικές ενώσεις του αργιλίου και του μαγνησίου, ενώ το κατώτερο τμήμα του από θειούχες ενώσεις. Η πυκνότητά του κυμαίνεται στο εύρος 3-5,1 gr/cm³.

Δομή του πυρήνα

Ο πυρήνας της Γης (Σχ. 1.1) εκτείνεται από τα 2.900 km έως τα 6.378,1 km και διακρίνεται στον εξωτερικό πυρήνα (2.900-5.150 km) και στον εσωτερικό πυρήνα (5.150-6.378,1 km). Με βάση πληροφορίες που σχετίζονται με τη διάδοση σεισμικών κυμάτων (δεν διαδίδονται διατμητικά σεισμικά κύματα στον εξωτερικό μανδύα) σε αυτά τα βάθη, εικάζεται ότι ο εξωτερικός πυρήνας βρίσκεται σε ρευστή κατάσταση, με πιέσεις από 1,4 εκ. Atm έως 3,7 εκ. Atm και πυκνότητα έως και 11,5 gr/cm³ (Δερμιτζάκης και Λέκκας, 2010). Ο εσωτερικός πυρήνας έχει πιθανόν σιδηρονικελιούχα σύσταση και βρίσκεται σε στερεή κατάσταση.

Η Γη περιβάλλεται από μαγνητικό πεδίο, το οποίο οφείλεται αφενός σε ηλεκτρικά ρεύματα που προέρχονται από το ρευστό τμήμα του πυρήνα (μεγάλης κλίμακας ανωμαλία) αλλά και στις μεταβολές στη σιδηρομαγνητική σύσταση των πετρωμάτων στο πιο επιφανειακό τμήμα της Γης (μικρής κλίμακας ανωμαλία). Γενικά το μαγνητικό πεδίο της Γης είναι τοπικά και χρονικά μεταβαλλόμενο, και ο μαγνητικός άξονας της Γης δεν συμπίπτει με τον γεωγραφικό άξονα, αλλά σχηματίζει μια γωνία που μπορεί να ανέλθει έως και 12°.



Σχήμα 1.1 Η δομή του εσωτερικού της Γης

1.1.2 Τα υλικά της Γης

Τα υλικά που απαντώνται στην επιφάνεια και στο εσωτερικό της Γης διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: το έδαφος, τα πετρώματα και τα ορυκτά. Το έδαφος (Σχ. 1.2) αντιπροσωπεύει το ανώτατο καλλιεργήσιμο στρώμα του φλοιού της Γης (πάχος έως και 50 cm). Το στρώμα κάτω από το έδαφος ονομάζεται υπέδαφος και εκτείνεται έως εκεί που φθάνουν οι ρίζες των φυτών (έως και 2 m).

Το πέτρωμα είναι στερεό υλικό το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο ορυκτών. Για παράδειγμα, ο γρανίτης (Σχ. 1.3α) αποτελείται κυρίως από τα ορυκτά του χαλαζία, των αστρίων, του μαρμαρυγία ή του βιοτίτη. Πολλές φορές όμως στη σύστασή του εντοπίζονται πλαγιόκλαστα και κερυστίλβη. Τα πετρώματα διακρίνονται σε μονόμεικτα και πολύμεικτα. Τα μονόμεικτα πετρώματα (π.χ. το μάρμαρο) αποτελούνται από ένα ορυκτό, ενώ τα πολύμεικτα αποτελούνται από περισσότερα ορυκτά (π.χ. ο γρανίτης).



Σχήμα 1.2 Το έδαφος

Τα ορυκτά είναι ομογενή φυσικά συστατικά από τα οποία αποτελείται ο φλοιός της Γης (Σολδάτος, 1980). Για παράδειγμα, το ορυκτό χαλαζίας (Σχ. 1.3β) είναι SiO_2 . Αντιθέτως, τα πετρώματα αποτελούν ανομοιογενή υλικά, τα οποία όπως αναφέρθηκε προηγουμένως αποτελούνται από ορυκτά με διαφορετική ορυκτολογική σύσταση.



(α),

(β)

Σχήμα 1.3 (α) Γρανίτης, (β) Χαλαζίας

1.1.3 Πετρώματα

Στην παρούσα παράγραφο εξετάζονται, από τη γεωλογική σκοπιά και πιο συγκεκριμένα ανάλογα με τον τρόπο που σχηματίζονται, οι τρεις μεγάλες κατηγορίες πετρωμάτων που συναντώνται τόσο στην επιφάνεια όσο και στο εσωτερικό της Γης.

1.1.4 Πυριγενή πετρώματα

Τα πυριγενή πετρώματα προκύπτουν από τη στερεοποίηση του μάγματος (λάβα). Το μάγμα είναι λιωμένο υλικό που σχηματίζεται στο εσωτερικό της Γης, αποτελείται κυρίως από πυριτικά άλατα και είναι πλούσιο σε πτητικά στοιχεία (Σαββίδης, 2006).

- Ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε SiO_2 τα πετρώματα χωρίζονται σε:
- Υπερβασικά ($\text{SiO}_2 < 45\%$)
- Βασικά ($\text{SiO}_2 45-52\%$)
- Ενδιάμεσα ή ουδέτερα ($\text{SiO}_2 52-66\%$)
- Όξινα ($\text{SiO}_2 > 66\%$).

Τα πυριγενή πετρώματα διακρίνονται σε:

- Βαθυγενή ή Πλουτωνίτες (Σχ. 1.4α), όταν η πήξη γίνεται σε βάθος, με αργή πτώση της πίεσης και της θερμοκρασίας. Στην επιφάνεια της Γης απαντώνται εξαιτίας της αποσάθρωσης και διάβρωσης των υπερκείμενων πετρωμάτων τους.
- Ηφαιστίτες ή έκχυτα πετρώματα (Σχ. 1.4β) όταν η πήξη γίνεται στην επιφάνεια της Γης, με αιφνίδια πτώση της πίεσης και της θερμοκρασίας.
- Φλεβικά πετρώματα, τα οποία σχηματίζονται σε ενδιάμεσες θέσεις μεταξύ των πλουτωνιτών και των ηφαιστιτών. Για την ακρίβεια, τέτοια πετρώματα προκύπτουν όταν το μάγμα, καθώς ανέρχεται στην επιφάνεια, εγκλωβίζεται και στερεοποιείται σε ρωγμές ή ρήγματα των περιβαλλόντων, ήδη στερεοποιημένων, πετρωμάτων.



(α),

(β)

Σχήμα 1.4 (α) Γρανίτης (Τήνος), (β) Βασάλτης (Σαντορίνη)

1.1.5 Ιζηματογενή πετρώματα

Ιζηματογενή (Σχ. 1.5) ονομάζονται τα πετρώματα που προκύπτουν από καθίζηση στην επιφάνεια της Γης υλικών τα οποία μεταφέρονται από τον αέρα, το νερό ή τον πάγο και στη συνέχεια συμπυκνώνονται. Τα υλικά αυτά μεταφέρονται μηχανικώς αιωρούμενα ή χημικά διαλυμένα. Τα ιζήματα προκύπτουν από μεταφορά και απόθεση των υλικών μηχανικής διάβρωσης ή χημικής αποσάθρωσης των πετρωμάτων που βρίσκονται εκτεθειμένα στην επιφάνεια της Γης. Επίσης, είναι πιθανό να προκύψουν ιζήματα από τη συσσώρευση ζωικών ή φυτικών υπολειμμάτων. Η μηχανική διάβρωση των πετρωμάτων μπορεί να συμβεί εξαιτίας της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας, θερμοκρασιακών μεταβολών, τον άνεμο ή ακόμη και από τη δράση του ριζικού συστήματος των φυτών. Η χημική αποσάθρωση οφείλεται κυρίως στη δράση του νερού.



Σχήμα 1.5 Ιζηματογενές πέτρωμα. Το γεωλογικό σφυρί στο κέντρο έχει τοποθετηθεί για να μπορεί να γίνει εκτίμηση του πάχους των στρωμάτων

Τα ιζημάτα κατά την αρχική τους απόθεση είναι χαλαρά, οριζόντια και επάλληλα. Μετά την απόθεση των ιζημάτων, ακολουθεί η διαδικασία της διαγένεσης.

Με τον όρο διαγένεση νοούνται όλες οι μεταβολές που υφίσταται ένα χαλαρό ιζηματογενές πέτρωμα από τη στιγμή που καλύπτεται από υπερκείμενα στρώματα. Για παράδειγμα, η συμπαγοποίηση των ιζημάτων αποτελεί στάδιο της διαγένεσης. Οι κύριοι παράγοντες που ευθύνονται για τη διαδικασία της διαγένεσης είναι η πίεση, η θερμοκρασία και ο χρόνος.

Το χαρακτηριστικό που διαχωρίζει τα ιζηματογενή πετρώματα από τις υπόλοιπες κατηγορίες πετρωμάτων είναι η στρώση (Σχ. 1.5). Με τον όρο στρώση νοείται η ταξινόμηση των κόκκων του πετρώματος κατά στρώματα. Πολύ σημαντικό γεγονός είναι ότι περιλαμβάνουν απολιθώματα.

1.1.6 Μεταμορφωμένα πετρώματα

Μεταμορφωμένα είναι τα πετρώματα τα οποία προκύπτουν από προϋπάρχοντα πετρώματα, μέσω ιστολογικών ή και ορυκτολογικών αλλαγών σε στερεή κατάσταση κάτω από την επίδραση υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων. Οι κύριοι παράγοντες που ευθύνονται για τη διαδικασία της μεταμόρφωσης είναι οι μεταβολές της πίεσης, της θερμοκρασίας, αλλά και οι χημικές προσκομίσεις και οι αλληλεπιδράσεις των ορυκτών. Η μεταμόρφωση συντελεί τόσο στην ορυκτολογική όσο και τη δομική μεταβολή των αρχικών πετρωμάτων. Για παράδειγμα, το μάρμαρο (Σχ. 1.6) είναι μεταμορφωμένο πέτρωμα που προκύπτει από τη μεταμόρφωση του ασβεστόλιθου.

Η προοδευτική ή προϊούσα μεταμόρφωση συμβαίνει κατά τη βύθιση των πετρωμάτων και τη σταδιακή αύξηση της πίεσης ή της θερμοκρασίας. Η ανάστροφη ή ανάδρομη μεταμόρφωση συμβαίνει κατά την άνοδο των πετρωμάτων σε μικρότερα βάθη στον φλοιό της Γης και τη μείωση της πίεσης και της θερμοκρασίας. Όταν ένα πέτρωμα έχει υποστεί περισσότερες μεταμορφώσεις, χαρακτηρίζεται ως πολυμεταμορφωμένο.



Σχήμα 1.6 Εικόνα από λατομείο μαρμάρου στην Τήνο

1.2 Γεωλογικός χρόνος

Η ηλικία της Γης με βάση ραδιοχρονολογήσεις είναι περίπου 4,6 δισ. έτη. Για να κατανοηθεί επομένως η μακριά ιστορία της Γης από τους γεωλόγους και τους υπόλοιπους γεωεπιστήμονες, να τοποθετηθούν με ακρίβεια στον χρόνο και να συσχετιστούν τα γεωλογικά γεγονότα, είναι απαραίτητο να υπάρχει μια γεωλογική κλίμακα του χρόνου. Για τους γεωλόγους η κλίμακα χρόνου είναι της τάξης δεκάδων ή εκατοντάδων χιλιάδων χρόνων και κυρίως εκατομμυρίων και δισεκατομμυρίων. Η γεωλογική χρονολόγηση μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: την απόλυτη χρονολόγηση, δηλαδή ακριβή τοποθέτηση του γεωλογικού γεγονότος στον χρόνο της γεωλογικής ιστορίας της Γης και τη σχετική χρονολόγηση, δηλαδή τοποθέτηση του γεωλογικού γεγονότος, που χρονολογείται, σε σχέση με άλλα γεγονότα.

Ο προσδιορισμός του απόλυτου γεωλογικού χρόνου γίνεται με βάση στοιχεία που προκύπτουν από τα πετρώματα, τα ορυκτά και κυρίως τα απολιθώματα οργανισμών που βρίσκονται μέσα στα πετρώματα. Ένα από τα πιο χρήσιμα εργαλεία για τη δημιουργία της γεωλογικής κλίμακας του χρόνου είναι η στρωματογραφία. Με τον όρο αυτόν περιγράφεται ο κλάδος της Γεωλογίας που μελετά τον τρόπο με τον οποίο σχηματίζονται τα στρώματα των πετρωμάτων. Η βιοστρωματογραφία και η λιθοστρωματογραφία αποτελούν πολύτιμα εργαλεία στον κλάδο της στρωματογραφίας.

Σε ό,τι αφορά τη γεωλογική χρονολογική ταξινόμηση (γεωλογική κλίμακα του χρόνου, Walker and Geissman, 2009), μερικά βασικά στοιχεία που πρέπει να θυμόμαστε είναι:

1. **Μεγα-αιώνες** που αναγνωρίζονται στη γεωλογική ιστορία της Γης: ο **Κρυπτοζωικός**, που καλύπτει χρονική διάρκεια περίπου 4 δισ. έτη· και ο **Φανεροζωικός** (εμφάνιση ζωής στην ξηρά) που αντιστοιχεί στα τελευταία 550 εκατομμύρια έτη.
2. Ο Κρυπτοζωικός μεγα-αιώνας περιλαμβάνει τον **Αρχαϊκό** αιώνα και τον **Προτεροζωικό** αιώνα.
3. Ο Φανεροζωικός μεγα-αιώνας περιλαμβάνει τον **Παλαιοζωικό** αιώνα, τον **Μεσοζωικό** αιώνα και τον **Καινοζωικό** αιώνα. Ο Παλαιοζωικός αιώνας περιλαμβάνει 6 περιόδους: το **Κάμβριο**, το **Ορδοβίσιο**, το **Σιλούριο**, το **Δεβόνιο**, το **Αιθανθρακοφόρο** και το **Πέρμιο**. Ο Μεσοζωικός αιώνας περιλαμβάνει 3 περιόδους: το **Τριαδικό**, το **Ιουρασικό** και το **Κρητιδικό**. Ο Καινοζωικός αιώνας περιλαμβάνει 2 περιόδους: το Τριτογενές και το Τεταρτογενές.

Πολλές φορές στη γεωλογία χρησιμοποιείται και η έννοια του σχετικού χρόνου. Η σχετική ηλικία μιας γεωλογικής δομής καθορίζεται σε σχέση με μια προϋπάρχουσα ή μετέπειτα δομή. Τα κριτήρια (Δερμιτζάκης και Λέκκας, 2010) που χρησιμοποιούνται είναι:

- Η παρουσία πρωτογενών δομών όπως για παράδειγμα η στρώση, η κοκκομετρική ταξινόμηση (τα λεπτόκοκκα ιζήματα είναι νεότερα), οι ιζηματογενείς ρυτίδες (οι γωνιώδεις κορυφές δείχνουν τα νεότερα στρώματα) και οι λάβες (π.χ. οι προεξοχές στο κάτω μέρος τους δείχνουν τα αρχαιότερα στρώματα).
- Η στρωματογραφική ασυμφωνία. Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια επιφάνεια, που διαχωρίζει δύο πετρώματα και παρουσιάζει ένα στρωματογραφικό κενό στον γεωλογικό χρόνο. Το κενό αυτό δημιουργείται όταν για κάποιον λόγο διακόπτεται η ιζηματογένεση ή διαβρώνονται τα υπάρχοντα ιζήματα. Για παράδειγμα, τα ιζηματογενή πετρώματα εμφανίζονται συνήθως σύμφωνα μεταξύ τους. Ένα ιζηματογενές πέτρωμα και ένα μεταμορφωμένο πέτρωμα εμφανίζονται συνήθως ασύμφωνα μεταξύ τους.
- Οι διεγκάρσιες τομές, για παράδειγμα οι φλέβες και οι πλουτωνίτες, είναι γενικά νεότερα συμβάντα.

1.3 Απολιθώματα

Ο κλάδος της Γεωλογίας ο οποίος μελετά τα φυτά και τα ζώα που έζησαν σε προηγούμενες γεωλογικές περιόδους ονομάζεται Παλαιοντολογία. Η Παλαιοντολογία (Μελέντης, 1988) αποτελεί πολύτιμο σύμμαχο της γεωλογικής έρευνας σε ό,τι αφορά: τον καθορισμό της γεωλογικής ηλικίας των σχηματισμών, την κατασκευή γεωλογικών χαρτών, την αναζήτηση κοιτασμάτων οικονομικού ενδιαφέροντος, τη μελέτη του κλίματος στο γεωλογικό παρελθόν και την επιστήμη της Βιολογίας για τη μελέτη των οργανισμών του παρελθόντος. Η Παλαιοντολογία διακρίνεται στην Παλαιοζωολογία και στην Παλαιοβοτανική, που ασχολούνται με τους αντίστοιχους οργανισμούς. Ιδιαίτερος κλάδος είναι η Μικροπαλαιοντολογία που ασχολείται με τη μελέτη φυτικών ή ζωικών μικροοργανισμών με τη βοήθεια του μικροσκοπίου.

Η κύρια πηγή πληροφορίας για τους οργανισμούς που έζησαν στο γεωλογικό παρελθόν της Γης είναι τα απολιθώματα (Σχ. 1.7). Το απολιθώμα αποτελεί το υπόλειμμα φυτικού ή ζωικού οργανισμού του παρελ-

θόντος, που εγκλωβίστηκε μέσα στα πετρώματα. Μετά τον θάνατο του οργανισμού και εφόσον σκεπαστεί με λεπτόκοκκο υλικό, στο οποίο κυκλοφορεί νερό, τα μέρη του οργανισμού αντικαθίστανται συνήθως με ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) το οποίο βρίσκεται διαλυμένο μέσα στο νερό. Η διαδικασία αυτή έχει ως συνέπεια να διατηρείται απόλυτα η μορφολογία του οργανισμού και πολλές φορές να αποτυπώνεται με εξαιρετική λεπτομέρεια. Σπανιότερα η απολίθωση μπορεί να γίνει και από άλλα υλικά εκτός του ανθρακικού ασβεστίου, όπως για παράδειγμα το πυρίτιο (SiO_2) ή ο μαρκασίτης (FeO_2).

Τα απολιθώματα που έζησαν σε μικρό χρονικό διάστημα της γεωλογικής ιστορίας της Γης και παρουσίασαν μεγάλη γεωγραφική εξάπλωση ονομάζονται καθοδηγητικά ή χαρακτηριστικά απολιθώματα (Μελέντης, 1988). Ο λόγος που ονομάζονται έτσι είναι επειδή μας βοηθούν να καθορίσουμε με σχετική ακρίβεια την ηλικία των στρωμάτων που εντοπίζονται. Για παράδειγμα, πολλά είδη Αμμωνιτών (Σύνδεσμος 2, βιβλιογραφία) αποτελούν καθοδηγητικά απολιθώματα του Μεσοζωικού αιώνα. Απολιθώματα συχνότητας (Μελέντης, 1988) ονομάζονται αυτά που εντοπίζονται σε ένα συγκεκριμένο στρώμα μιας περιοχής. Οι ψαμμίτες του Ανώτ. Μειοκαινού της Κρήτης χαρακτηρίζονται από την παρουσία του Τρηματοφόρου *Neoalveolina*, το οποίο σε άλλες περιοχές της Ελλάδας εντοπίζεται σε στρώματα νεότερης ηλικίας. Άρα το απολιθώμα συχνότητας χαρακτηρίζει περιορισμένη περιοχή και συγκεκριμένο πετρολογικό τύπο.

Ο όρος «φάση» χρησιμοποιείται στις γεωεπιστήμες για να περιγράψει τα lithολογικά και παλαιοντολογικά χαρακτηριστικά ενός ιζηματογενούς πετρώματος. Τα απολιθώματα κατηγοριοποιούνται με βάση τις φάσεις (χερσαία ή ηπειρωτική και θαλάσσια).



Σχήμα 1.7 Κοινωνία απολιθωμάτων στα Μάταλα του νομού Ηρακλείου Κρήτη

1.4 Παλαιοκλιματολογία

Ο όρος «κλίμα» χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις γενικευμένες μέσες καιρικές συνθήκες ενός τόπου κατά τη διάρκεια ενός έτους ή σειράς ετών (Γκουτσίδου-Σουραμάνη, 1988). Ο όρος «καιρός» αναφέρεται σε συνδυασμό καιρικών συνθηκών που επικρατούν για ένα μικρό χρονικό διάστημα σε έναν τόπο. Αντικείμενο της Παλαιοκλιματολογίας είναι η μελέτη του κλίματος κατά τη διάρκεια των γεωλογικών περιόδων της Γης. Η μελέτη αυτή βασίζεται κυρίως σε στοιχεία που προέρχονται από τα πετρώματα και τα απολιθώματα, ονομάζονται κλιματικοί δείκτες και είναι τριών ειδών (Γκουτσίδου-Σουραμάνη, 1988):

- Μορφολογικοί δείκτες, όπως για παράδειγμα οι παγετώδεις κοιλάδες ή οι μοραινικές αποθέσεις που δείχνουν τη δράση των παγετώνων.
- Λιθολογικοί δείκτες, οι οποίοι αναφέρονται σε πετρώματα ή ορυκτά, που σχηματίζονται σε ιδιαίτερες κλιματικές-περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι πυρηνολημίτες σε θαλάσσια και παγετώδη ιζήματα αποτελούν μια σταθερή μέθοδο που δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα.
- Βιολογικοί δείκτες μπορεί να είναι τα απολιθώματα, οι κόκκοι της γύρης, οι δακτύλιοι των δέντρων, το χρώμα των φυτικών οργανισμών, τα κοράλλια, τα φύλλα των φυτών κ.ά. Για παράδειγμα, το πλάτος στους δακτυλίους των δέντρων μπορεί να μας δώσει αρκετή πληροφορία για της συνθήκες ανάπτυξης και πιο συγκεκριμένα για τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση του CO₂. Ένα άλλο παράδειγμα είναι τα κοράλλια που αναπτύσσονται με βάση το ανθρακικό ασβέστιο της θάλασσας. Το ανθρακικό ασβέστιο περιέχει οξυγόνο και ισότοπα του οξυγόνου που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας του νερού στο οποίο αναπτύχθηκαν τα κοράλλια.

Σε ό,τι αφορά την εξέλιξη του κλίματος στους γεωλογικούς αιώνες (Γκουτσίδου-Σουραμάνη, 1988) θα πρέπει να θυμόμαστε τα παρακάτω:

- Κατά την περίοδο του Προκαμβρίου (διάρκεια πάνω από 3 δισ. έτη) τα στοιχεία είναι ελάχιστα, διότι δεν υπάρχουν ζώντες οργανισμοί πάνω στη Γη. Γνωρίζουμε μόνο ότι το Κ. Προκάμβριο ήταν θερμό με εποχιακές βροχές. Η πληροφορία αυτή σχετίζεται με τους ασβεστόλιθους και δολομίτες της Σιβηρίας, Β. Αμερικής και Αυστραλίας. Τα σκασίματα των ερυθροστρωμάτων αυτής της περιόδου δείχνουν τις εποχιακές βροχοπτώσεις. Στο Α. Προκάμβριο επικράτησε παγετώδες κλίμα σε παγκόσμια κλίμακα. Το συμπέρασμα αυτό σχετίζεται με την εκτεταμένη παρουσία των τιλλιτών (παγετώδη ιζήματα), με μεγάλο πάχος, σε πολλές περιοχές της Γης.
- Στον Μεσοζωικό αιώνα, ιδιαίτερα κατά την πρώτη περίοδό του, το Τριαδικό, το κλίμα ήταν ομοιόμορφα θερμό και ξηρό σε όλη τη γη. Η πληροφορία αυτή επιβεβαιώνεται από τη μεγάλη εξάπλωση των στεπών, των ερημικών εκτάσεων και των ψυχρόαιμων ερπετών. Κατά την περίοδο του Ιουρασικού επικράτησε μεγάλη ανομοιομορφία του κλίματος, με ψυχρές εποχές να αντικαθίστανται από θερμές και υγρές. Η περίοδος του Κρητιδικού ήταν γενικά θερμή, με εξαίρεση το Αν. Κρητιδικό, όπου υπήρξε απότομη πτώση της θερμοκρασίας, γεγονός που συνηγόρησε στην εξαφάνιση τμήματος της χλωρίδας και πανίδας της συγκεκριμένης περιόδου.
- Οι περισσότερες πληροφορίες υπάρχουν για τον Καινοζωικό αιώνα, που διακρίνεται σε δύο μεγάλες περιόδους, το Τριτογενές και το Τεταρτογενές. Ο λόγος είναι ότι πολλά από τα είδη της χλωρίδας και πανίδας είναι συγκρίσιμα με τα σημερινά είδη. Το παλαιο-κλίμα στις αρχές του Τριτογενούς ήταν γενικά θερμό και υγρό. Για παράδειγμα, στις λεκάνες του Παρισιού και του Λονδίνου έχουν εντοπιστεί τροπικά φυτά εκείνης της περιόδου. Στο Ολιγόκαινο και το Μειόκαινο ξεκίνησε η ψύξη του κλίματος, η οποία επεκτάθηκε και στο Πλειόκαινο με την εμφάνιση των πρώτων παγετώνων και τη μετατόπιση των κοραλλιογενών υφάλων (δείκτης θερμού κλίματος) προς τον ισημερινό. Χαρακτηριστικό γεγονός της μειοκαινικής εποχής ήταν η επικράτηση έντονης ξηρασίας. Κατά το Πλειστόκαινο το κλίμα έγινε τόσο ψυχρό, ώστε οι παγετώνες έφθασαν μέχρι τα μέσα γεωγραφικά πλάτη και κάλυψαν το 30% της γήινης επιφάνειας. Στην Ελλάδα οι Αλπικοί παγετώνες επέδρασαν στην Πίνδο, τη Στερεά Ελλάδα και τη Μακεδονία.

1.5 Στρωματογραφία

Αντικείμενο μελέτης της Στρωματογραφίας (Καρακίτσιος, 2001· Κουφός, 2008) είναι η περιγραφή των στρωματοποιημένων πετρωμάτων του φλοιού, η χρονολογική διαδοχή τους και, τέλος, η σύγκριση και ο συσχετισμός τους. Ο εντοπισμός απολιθωμάτων στα στρώματα αποτελεί σημαντικό στοιχείο για τη χρονολογική τους κατάταξη. Τα παραπάνω αποτυπώνονται στις στρωματογραφικές στήλες (γεωλογικοί χάρτες του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών), οι οποίες αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα των γεωλογικών χαρτών και μελετών γενικότερα. Επίσης η στρωματογραφική σειρά των γεωλογικών στρωμάτων αποδίδεται μέσω των γεωλογικών τομών (Σχ. 1.8). Ειδικότερα, οι μέθοδοι που αποτελούν πολύτιμο σύμμαχο της στρωματογραφίας στο ερευνητικό της αντικείμενο είναι οι εξής:

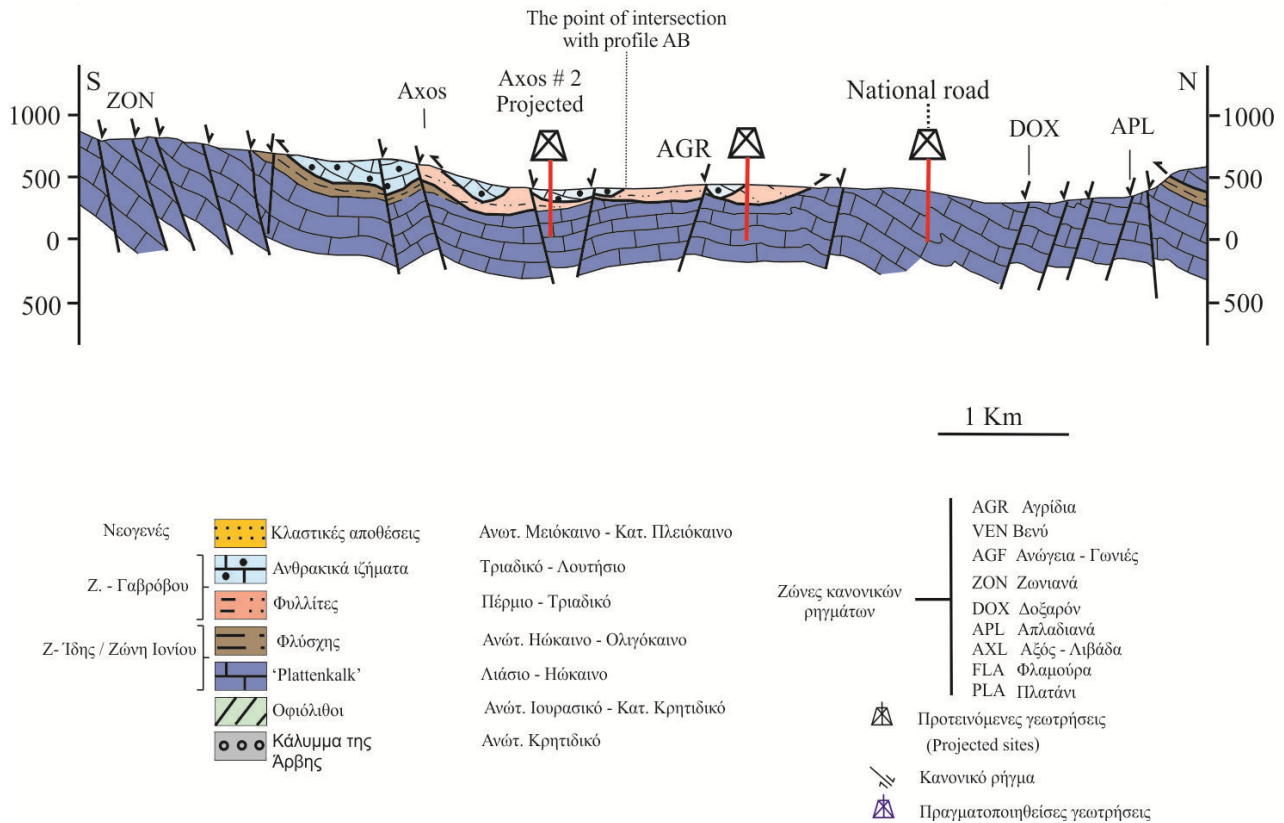
- Η **Λιθοστρωματογραφία**, η οποία ασχολείται με την περιγραφή και ταξινόμηση των στρωμάτων με βάση τα λιθολογικά χαρακτηριστικά τους (φάσεις, υφή, στρώση, δομές, χρώμα και σύσταση). Μια λιθοστρωματογραφική ενότητα καθορίζεται από μια ομάδα πετρωμάτων η οποία διαχωρίζεται από τις υπόλοιπες από συγκεκριμένα όρια. Τα όρια μπορεί να αντιστοιχούν σε: σαφείς λιθολογικές μεταβολές, αλλαγή φάσης, ασυνέχειες και πλευρικές μεταβάσεις, στρώματα οδηγούς (εμφανίζονται μία φορά, έχουν συγκεκριμένη λιθολογία και μεγάλη γεωγραφική εξάπλωση).
- Η **Βιοστρωματογραφία**, που ασχολείται με την ταξινόμηση των στρωμάτων με βάση τα απολιθώματα που εντοπίζονται μέσα σε αυτά. Στο σημείο αυτό θεωρείται απαραίτητο να εξηγηθεί η έννοια της βιοφάσης, η οποία αποτελεί την παλαιοντολογική όψη (Κουφός, 2008) ενός ή περισσότερων στρωμένων πετρωμάτων και προσδιορίζεται από τα απολιθώματα φάσης. Τα απολιθώματα αυτά μας δίνουν πληροφορίες για τον χώρο και τις συνθήκες απόθεσης.
- Η **Χρονοστρωματογραφία**, η οποία μελετά τη χρονολογική ταξινόμηση των στρωμάτων και ασχολείται με τον συσχετισμό των ισόχρονων στρωμάτων.

Οι τρεις βασικοί νόμοι που διέπουν τον κλάδο της Στρωματογραφίας διατυπώθηκαν από τον N. Steno το 1669.

Νόμος της Αρχικής Οριζοντιότητας: Όλα τα ιζήματα αρχικά αποτίθενται οριζόντια. Αν βρεθούν με κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, σημαίνει ότι έχουν δράσει τεκτονικές δυνάμεις οι οποίες τα έχουν παραμορφώσει. Η παραμόρφωση περιλαμβάνει σπάσιμο (με ή χωρίς μετακίνηση των τεμαχίων που έχουν κατατμηθεί) ή πτύχωση (κυματοειδείς σχηματισμοί μέσα στα ιζήματα).

Νόμος της Επαλληλίας: Σε μια αδιατάρακτη σειρά πετρωμάτων, κάθε υπερκείμενο στρώμα είναι χρονολογικά νεότερο του υποκείμενού του.

Νόμος της Αρχικής Συνέχειας: Τα στρώματα που σχηματίζουν τα ιζήματα καλύπτουν όλη την επιφάνεια απόθεσης. Τα πλευρικά, περατωτικά τους όρια εντοπίζονται στα περιθώρια των λεκανών απόθεσης.



Σχήμα 1.8 Γεωλογική τομή η οποία παρουσιάζει τη στρωματογραφική δομή σε ορεινή περιοχή της κεντρικής Κρήτης (Κόκκινου και Καμπέρης, 2014)

1.6 Τεκτονική γεωλογία

Αντικείμενο της Τεκτονικής γεωλογίας είναι η μελέτη, ανάλυση και ταξινόμηση των παραμορφώσεων και τεκτονικών δομών που παρατηρούνται στα πετρώματα. Ο όρος «παραμόρφωση» χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις αλλαγές στο σχήμα ενός στερεού σώματος, στη συγκεκριμένη περίπτωση, των πετρωμάτων. Η παραμόρφωση είναι το αποτέλεσμα της άσκησης τάσης/τάσεων σε ένα στερεό σώμα. Τάση είναι η δύναμη που ασκείται ανά μονάδα επιφάνειας. Οι μονάδες που μετράται η τάση είναι το pascal (Pa). Ένα Pa αντιστοιχεί στην τάση που προκαλείται από τη δύναμη ενός Newton σε μια επιφάνεια έκτασης ενός m^2 . Συνήθως χρησιμοποιείται το megapascal ($1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ pascals}$). Άλλη μονάδα μέτρησης είναι το bar ($1 \text{ bar} = 10^6 \text{ dynes/cm}^2$). 10 bars αντιστοιχούν σε 1 megapascal.

Οι τάσεις διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τη συμπιεστική και την εφελκυστική. Η συμπιεστική τάση τείνει να ελαττώσει τον χώρο, ενώ η εφελκυστική τάση τείνει να αυξήσει τον χώρο. Γενικά θα πρέπει να γνωρίζουμε ότι η παραμόρφωση των πετρωμάτων μπορεί να μετρηθεί στις περιοχές που εντοπίζεται, ενώ η τάση προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων της παραμόρφωσης στα πετρώματα.

Οι πιο σημαντικές τεκτονικές δομές που παρατηρούνται στα πετρώματα είναι τα ρήγματα, οι διακλάσεις, οι πτυχές και τα καλύμματα. Όλα αυτά αναλύονται στη συνέχεια.

1.7 Ρήγματα

Ρήγμα ονομάζεται κάθε διάρρηξη πετρώματος η οποία συνοδεύεται από μετακίνηση των τεμαχίων εκατέρωθεν της διάρρηξης. Η επιφανειακή εξάπλωση ενός ρήγματος μπορεί να είναι από πολύ μικρή (κάτω από 1 m) έως και δεκάδες ή εκατοντάδες χιλιόμετρα (Κίλιας, 1985· Δερμιτζάκης και Λέκκας, 2010). Ρήγματα εμφανίζονται σε όλες τις κατηγορίες πετρωμάτων (πυριγενή, ιζηματογενή και μεταμορφωμένα). Ιδιαίτερα, η παρουσία (κατά τη διάρκεια της ιζηματογένεσης ή μεταγενέστερα) των ρηγμάτων μέσα στα ιζηματογενή πετρώματα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη χρονολόγησή τους. Τα ρήγματα, ανάλογα με την τοποθέτησή τους ως προς το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής ή τον υπόγειο ταμιευτήρα (εφόσον τον τέμνουν), μπορεί να ευνοήσουν ή να αποτρέψουν την κίνηση του επιφανειακού ή υπόγειου νερού.

Τα ρήγματα (Bons, 2007) ανάλογα με τον τρόπο που μετακινούνται τα τμήματα του πετρώματος εκατέρωθεν της διάρρηξης, διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες (Σχ. 1.9):

1. Τα ανάστροφα ρήγματα ή ρήγματα σμίκρυνσης ή ρήγματα συμπίεσης (Σχ. 1.9α). Η κατηγορία αυτή ρηγματών προκύπτει από την άσκηση συμπιεστικών τάσεων στα πετρώματα. Στο ανάστροφο ρήγμα, το τέμαχος του πετρώματος πάνω από τη ρηξιγενή επιφάνεια κινείται προς τα πάνω, ενώ το τέμαχος του πετρώματος κάτω από τη ρηξιγενή επιφάνεια κινείται προς τα κάτω.

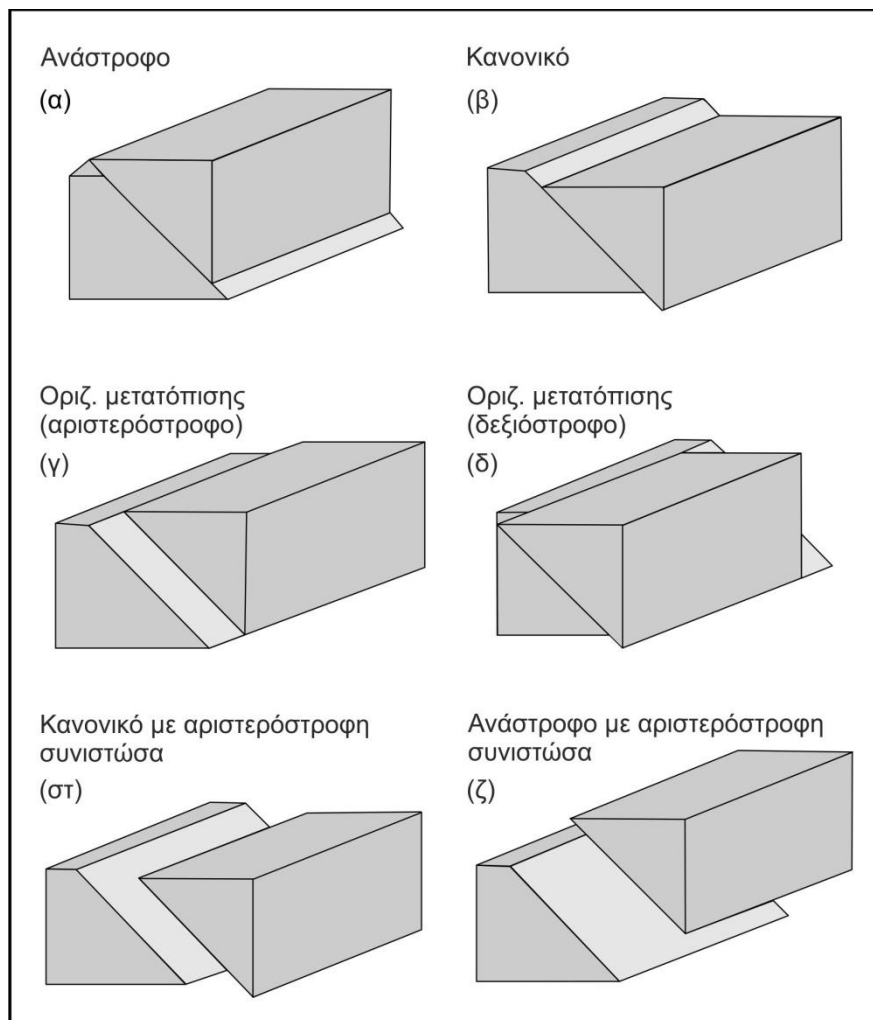
2. Τα κανονικά ρήγματα ή ρήγματα απομάκρυνσης ή ρήγματα έκτασης (Σχ. 1.9β). Η συγκεκριμένη κατηγορία ρηγματών δημιουργείται από την άσκηση εφελκυστικών τάσεων στα πετρώματα. Στο κανονικό ρήγμα, το τέμαχος του πετρώματος πάνω από τη ρηξιγενή επιφάνεια κινείται προς τα κάτω, ενώ το τέμαχος του πετρώματος κάτω από τη ρηξιγενή επιφάνεια κινείται προς τα πάνω.

3. Τα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης (Σχ. 1.9γ, δ), που προκύπτουν από την άσκηση κυρίως διατμητικών τάσεων στα πετρώματα. Ονομάζονται έτσι διότι τα τμήματα εκατέρωθεν της διάρρηξης κινούνται οριζόντια, χωρίς να μεταβάλλονται ιδιαίτερα οι διαστάσεις του γεωλογικού σχηματισμού. Διακρίνονται σε δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα ρήγματα οριζόντιων μετατοπίσεων.

4. Σε πολλές περιπτώσεις είναι δυνατόν να συναντήσουμε στη φύση σύνθετα ρήγματα, δηλαδή ρήγματα που να παρουσιάζουν κανονική και οριζόντια συνιστώσα ((Σχ. 1.9στ) ή ανάστροφη και οριζόντια συνιστώσα (Σχ. 1.9ζ).

Επίσης είναι δυνατόν ένα ρήγμα, κατά τη γεωλογική του ιστορία, να αλλάξει φορά κίνησης των τεμαχών εκατέρωθεν της ρηξιγενούς επιφάνειας – δηλαδή, ένα κανονικό ρήγμα να δράσει ως ανάστροφο ή αντίστροφο.

Πολλά κανονικά ρήγματα σε μια περιοχή συχνά δημιουργούν μεγάλης έκτασης τεκτονικές δομές, που ονομάζονται τεκτονικά κέρατα (αναθολώσεις) και τεκτονικές τάφροι (βυθίσματα).



Σχήμα 1.9 Κατηγοριοποίηση ρηγματών

1.7.1 Διακλάσεις και ρωγμές

Με τον όρο «διάκλαση» (Κίλιας, 1985) περιγράφεται κάθε διάρρηξη πετρώματος εκατέρωθεν της οποίας τα τεμάχια του πετρώματος παρουσιάζουν πολύ μικρής κλίμακας μετατόπιση ή καθόλου μετατόπιση. Μια διάκλαση μετατρέπεται σε ρώγμωση όταν τα εκατέρωθεν της διάκλασης τμήματα απομακρυνθούν οριζόντια και σε μικρή κλίμακα. Ο χώρος που προκύπτει γεμίζει συνήθως με υλικά διάβρωσης ή ακόμη και με μαγματικά υλικά (φλέβες). Οι ρωγμές παρουσιάζουν αρκετό κοιτασματολογικό ενδιαφέρον. Η τεκτονική τους μελέτη και ανάλυση αλλά και η γενετική τους σχέση είναι ίδιες με αυτήν των διακλάσεων.

Το σύνολο των διακλάσεων (Σχ. 1.10) ενός γεωλογικού σχηματισμού, ανεξάρτητα από τη διεύθυνσή τους, ονομάζεται δίκτυο διακλάσεων. Οι διακλάσεις που έχουν την ίδια περίπου διεύθυνση αποτελούν ένα σύνολο διακλάσεων, ενώ ένα σύστημα διακλάσεων περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα σύνολα διακλάσεων τα οποία έχουν προκύψει από το ίδιο τεκτονικό γεγονός.

Η μελέτη του δικτύου των διακλάσεων σε μια περιοχή είναι πολύτιμη πηγή πληροφορίας για την τεκτονική ανάλυση, σε συνδυασμό πάντα με τη μελέτη όλων των άλλων μακρο- και μικροτεκτονικών δομών. Επειδή οι διακλάσεις καταγράφονται και αναλύονται εύκολα, πρέπει γενικά να συμπεριλαμβάνονται στην τεκτονική ανάλυση μιας περιοχής. Χρειάζεται όμως προσοχή κατά την αναγνώρισή τους στην ύπαιθρο, επειδή υπάρχει η πιθανότητα να μη συνδέονται με κάποιο τεκτονικό γεγονός, αλλά η δημιουργία τους να είναι αποτέλεσμα εσωτερικών τάσεων στα ιζήματα που εντοπίζονται ή ακόμη και στο υπόβαθρο.

Η υδρογεωλογική σημασία των διακλάσεων σε έναν γεωλογικό σχηματισμό είναι ιδιαίτερης βαρύτητας, επειδή η παρουσία τους αυξάνει το δευτερογενές πορώδες και επομένως την περατότητα του σχηματισμού. Το γεγονός αυτό μπορεί να είναι θετικό ή αρνητικό. Αν ο σχηματισμός είναι κατάλληλος για ταμειωτήρας, τότε η παρουσία διακλάσεων είναι θετική. Σε περίπτωση όμως που πάνω σε έναν γεωλογικό σχηματισμό με πυκνό δίκτυο διακλάσεων πρόκειται να θεμελιωθεί ένα τεχνικό έργο, τότε απαιτείται διερεύνηση.



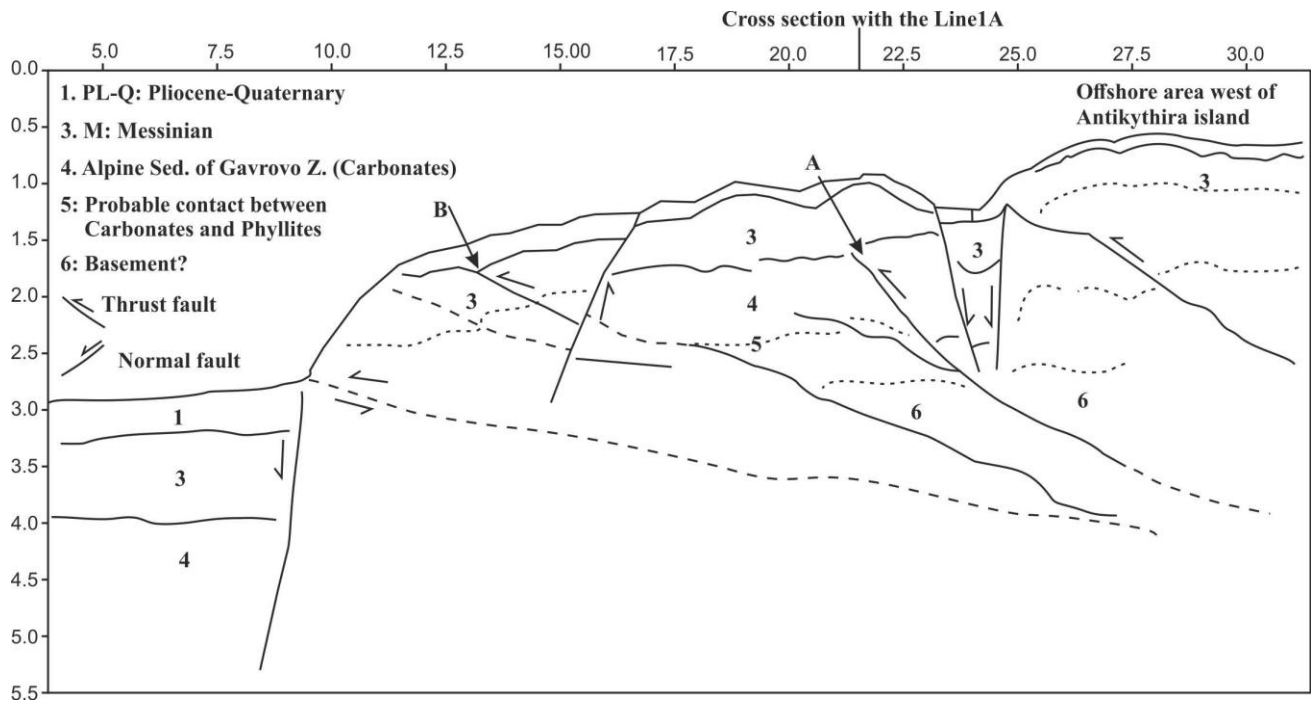
Σχήμα 1.10 Δίκτυο διακλάσεων, σχεδόν κάθετα ως προς το οριζόντιο επίπεδο, σε μειοκαινικά ιζήματα από την περιοχή του νομού Χανίων (πάνω από την Παλαιόχωρα)

1.7.2 Εφιπέυσεις και επωθήσεις

Οι όροι «εφιπέυση» και «επώθηση» αναφέρονται στο φαινόμενο της δράσης ανάστροφου ρήγματος, με διαφορετική όμως έκταση (Δερμιτζάκης και Λέκκας, 2010). Και οι δύο περιπτώσεις προκύπτουν από τη δράση συμπιεστικών τάσεων στα πετρώματα. Η διαφορά βρίσκεται στην κλίση της ρηξιγενούς επιφάνειας. Στην περίπτωση της εφιπέυσης η επιφάνεια αυτή έχει κλίση $>45^\circ$, ενώ στην περίπτωση της επώθησης $<45^\circ$ (Κίλιας, 1985).

Η εφιπέυση αναφέρεται στην αποκόλληση μιας σειράς πετρωμάτων που ανήκουν στην ίδια γεωλογική ζώνη και την τοποθέτησή της πάνω σε μια άλλη σειρά πετρωμάτων. Είναι γενικά περιορισμένης κλίμακας ανάστροφη κίνηση.

Η επώθηση (Σχ. 1.11) αποτελεί μεγάλης κλίμακας φαινόμενο και αναφέρεται στην αποκόλληση μιας σειράς πετρωμάτων από τη ρίζα της, στην οριζόντια κίνησή της και στην τοποθέτησή της πάνω σε μια άλλη σειρά. Η αποκολλημένη σειρά ονομάζεται επωθημένη ή αλλόχθονη ή κάλυμμα, ενώ η κατώτερη σειρά ονομάζεται αυτόχθονη. Η αλλόχθονη και η αυτόχθονη ενότητα πετρωμάτων προέρχονται από διαφορετικά παλαιογεωγραφικά περιβάλλοντα, δηλαδή επικρατούσαν σε αυτά διαφορετικές συνθήκες πετρογένεσης. Υπάρχει η πιθανότητα το κάλυμμα να παρασύρει στη βάση του κομμάτια από το αλλόχθονο, τα οποία ανακατεύονται με κομμάτια του καλύμματος και πολλές φορές προηγούνται της κίνησης αυτού.



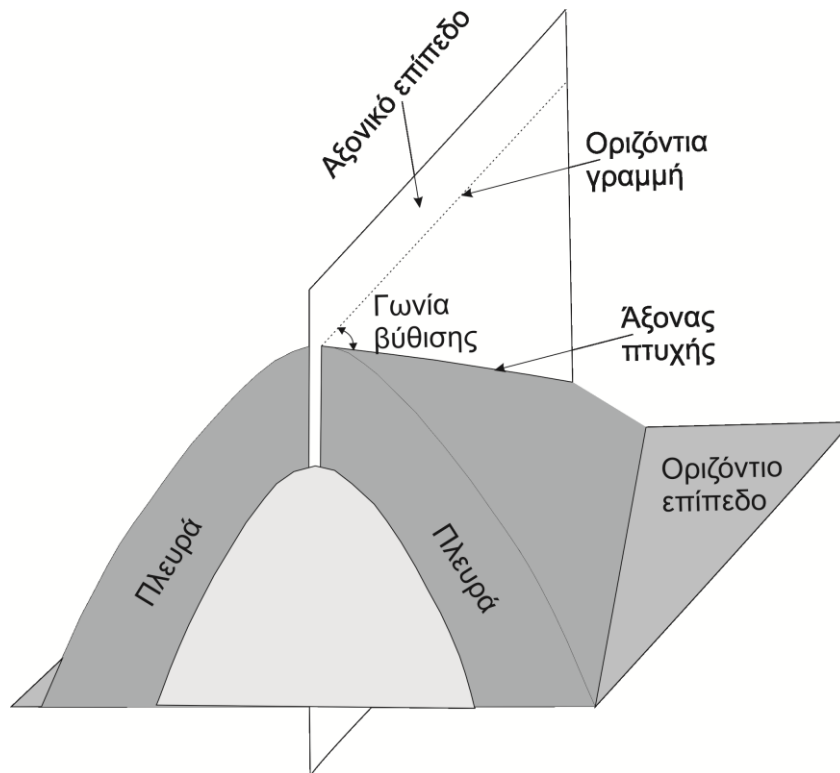
Σχήμα 1.11 Επωθητικές δομές (Thrusts) στον φλοιό του διαύλου Κυθήρων-Αντικυθήρων (Kokinou and Kamberis, 2009)

1.7.3 Πτυχές

Πτυχή (Σχ. 1.12) ονομάζεται η κάμψη που παρατηρείται μέσα σε έναν γεωλογικό σχηματισμό χωρίς να συμβαίνει ρήξη της συνέχειάς του (Κίλιας, 1985· Δερμιτζάκης και Λέκκας, 2010). Συνήθως πτυχές συναντούμε μέσα σε ιζηματογενή και μεταμορφωμένα πετρώματα. Οι πτυχές δημιουργούνται συνήθως από τη δράση συμπιεστικών δυνάμεων, χωρίς όμως να αποκλείεται (σπανιότερα) η δράση εφελκυστικών δυνάμεων. Μια πτυχή μπορεί να συμπεριλαμβάνει ένα ή περισσότερα στρώματα. Το φαινόμενο της πτύχωσης είναι στενά συνδεδεμένο με τις ορογενετικές κινήσεις. Τα βασικά χαρακτηριστικά στοιχεία (Σχ. 1.12) μιας πτυχής είναι τα εξής:

- Ο άξονας πτυχής, η νοητή ευθεία που ενώνει τα σημεία της πτυχής με τη μεγαλύτερη καμπυλότητα. Καθορίζεται από τη βύθιση και τη φορά βύθισης. Βύθιση είναι η γωνία που σχηματίζει ο άξονας με το οριζόντιο επίπεδο, και φορά είναι η προβολή του άξονα στο οριζόντιο επίπεδο με τη διεύθυνση B-N.
- Η αξονική επιφάνεια, το επίπεδο που διέρχεται από τον βόρειο άξονα των στρωμάτων που αποτελούν την πτυχή.

- Πλευρές ή σκέλη μιας πτυχής, τα εκατέρωθεν του αξονικού επιπέδου μέρη της πτυχής.
- Το αντίκλινο· έτσι ονομάζεται η πτυχή της οποίας οι πλευρές ανतिकλίνουν. Στο αντίκλινο το αρχαιότερο στρώμα εμφανίζεται κατά τον άξονα της πτυχής.
- Το σύγκλινο· έτσι ονομάζεται η πτυχή της οποίας οι πλευρές συγκλίνουν. Στο σύγκλινο το νεότερο στρώμα εμφανίζεται κατά τον άξονα της πτυχής.
- Η κορυφαία γραμμή, η γραμμή που ενώνει τα ψηλότερα σημεία σε ένα αντίκλινο.
- Η πυθμαία γραμμή, η γραμμή που ενώνει τα κατώτερα σημεία σε ένα σύγκλινο.
- Οι πτυχές ταξινομούνται με βάση τη μορφολογία τους αλλά και τη γενετική τους (τον μηχανισμό που τις δημιούργησε).



Σχήμα 1.12 Δομή μιας πτυχής

1.7.4 Μικροτεκτονική

Η Μικροτεκτονική (Λόζιος, 2003) αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της τεκτονικής ανάλυσης μιας περιοχής. Προηγείται η τεκτονική χαρτογράφηση και ανάλυση των τεκτονικών μακρο- και μικροδομών της περιοχής υπό μελέτη, και ακολουθεί η μικροτεκτονική ανάλυση σε επιλεγμένα τμήματα. Για την ακρίβεια, η μικροτεκτονική ανάλυση ασχολείται με τη μελέτη, την ανάλυση και την ερμηνεία των τεκτονικών δομών και της παραμόρφωσης στη μικρή κλίμακα παρατήρησης, δηλαδή από την κλίμακα των λίγων μέτρων μέχρι την κλίμακα του μικροσκοπίου (1 mm–1 μm). Το πεδίο δράσης της Μικροτεκτονικής στην ύπαιθρο αφορά μικροδομές που μπορούν να μετρηθούν, για παράδειγμα, με την πυξίδα και το υποδεκάμετρο, όπως μικροπτυχές, διακλάσεις, φλέβες κ.ά. Στο εργαστήριο οι δομές μελετώνται σε λεπτές τομές με τη βοήθεια πετρογραφικού μικροσκοπίου σε επίπεδο κόκκων, κρυστάλλων και ορυκτολογικών αθροισμάτων. Για παράδειγμα, εκτός από την περιγραφή της υφής και του ιστού (Σχ. 1.13) του πετρώματος, δίνεται ιδιαίτερη προσοχή σε στοιχεία που σχετίζονται με την παραμόρφωση και τα κινηματικά ή δυναμικά χαρακτηριστικά του πετρώματος. Ιδιαίτερα τα παραμορφωμένα πετρώματα και η γεωμετρία των μικροδομών μιας περιοχής αποτυπώνουν την τεκτονική εξέλιξή της. Οι παράγοντες οι οποίοι διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία τεκτονικού μικροϊστού είναι οι ακόλουθοι (Λόζιος, 2003): το περιβάλλον στο οποίο δημιουργήθηκε το πέτρωμα, η λιθολογία του, η παλαιότητά του, οι μεταβολές τις οποίες έχει υποστεί μέχρι να ανέλθει στην επιφάνεια, δηλαδή τα γεγονότα (μεταμόρφωση, τεκτονισμός κ.λπ.) που το έχουν επηρεάσει.



Σχήμα 1.13 Υφή από την άλω επαφής του πλουτωνίτη της Τήνου

1.8 Ενδογενείς γεωλογικές διαδικασίες

Ο όρος «ενδογενείς γεωλογικές διαδικασίες» χρησιμοποιείται για να περιγράψει τα φαινόμενα που συμβαίνουν στο εσωτερικό της Γης και επηρεάζουν το ανάγλυφό της βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα. Βραχυπρόθεσμα φαινόμενα που γίνονται αντιληπτά από τον άνθρωπο είναι οι σεισμοί, η ηφαιστειότητα και η γεωθερμία. Μακροπρόθεσμα φαινόμενα είναι η κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών, της οποίας τα αποτελέσματα γίνονται ορατά μετά από πολλά εκατομμύρια χρόνια. Για παράδειγμα η ορογένεση, η επίκλυση και η απόσυρση της θάλασσας, ή η δημιουργία των ωκεανών είναι μερικά από τα φαινόμενα που συνδέονται με την κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών. Στο σημείο αυτό πρέπει να διευκρινιστεί ότι η κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών είναι η κύρια αιτία για τα φαινόμενα της ηφαιστειότητας καθώς και της σεισμικής δραστηριότητας. Επειδή όμως συμβαίνει πολύ αργά, είναι καλύτερα να εντάσσεται στις μακροπρόθεσμες ενδογενείς διαδικασίες.

1.8.1 Ηφαιστειότητα

Ηφαιστειότητα είναι το σύνολο των διαδικασιών που συνδέονται με την κίνηση του μάγματος από την κύρια μαγματική εστία μέχρι την έξοδό του στην επιφάνεια και τον σχηματισμό των ηφαιστειών. Ηφαιστεια (Σύνδεσμος 3, βιβλιογραφία) σχηματίζονται σε περιοχές της Γης όπου συναντώνται δύο ή τρεις λιθοσφαιρικές πλάκες ή σε περιοχές όπου δημιουργείται φλοιός, καθώς επίσης σε περιοχές όπου υπάρχουν ανοδικά ρεύματα μαγματικού υλικού (θερμές κηλίδες, όπως στο σύμπλεγμα των νησιών της Χαβάης), μακριά από όρια λιθοσφαιρικών πλακών. Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός ηφαιστείου παρουσιάζονται στο σχήμα 1.14 και είναι τα εξής: ο μαγματικός θάλαμος, ο κύριος πόρος και οι παρασιτικοί ή δευτερεύοντες πόροι, ο κρατήρας και ο κώνος.

Τα ηφαίστεια διακρίνονται σε ενεργά και σβησμένα (Δερμιτζάκης και Λέκκας, 2010). Ενεργά ονομάζονται τα ηφαίστεια που κατά τους ιστορικούς χρόνους έχουν δραστηριότητα. Τα σβησμένα ηφαίστεια στη Γη είναι πάρα πολλά. Στην Ελλάδα το πιο ενεργό ηφαίστειο είναι της Θήρας. Άλλα ηφαίστεια που θεωρούνται ενεργά είναι των Μεθάνων, της Μήλου, της Νισύρου κ.ά. Σβησμένα ηφαίστεια είναι της Αίγινας, της Πάρου, Λέσβου κ.ά. Σε ύπνο ή λήθαργο βρίσκονται τα ηφαίστεια τα οποία είναι ενεργά αλλά δεν έχουν έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα.

Ο όρος «ηφαιστειακό ανάβλεμμα» χρησιμοποιείται για να περιγράψει οτιδήποτε εξέρχεται από ένα ηφαίστειο. Τα ηφαιστειακά αναβλήματα διακρίνονται ως εξής:

Αέρια ή ατμούς

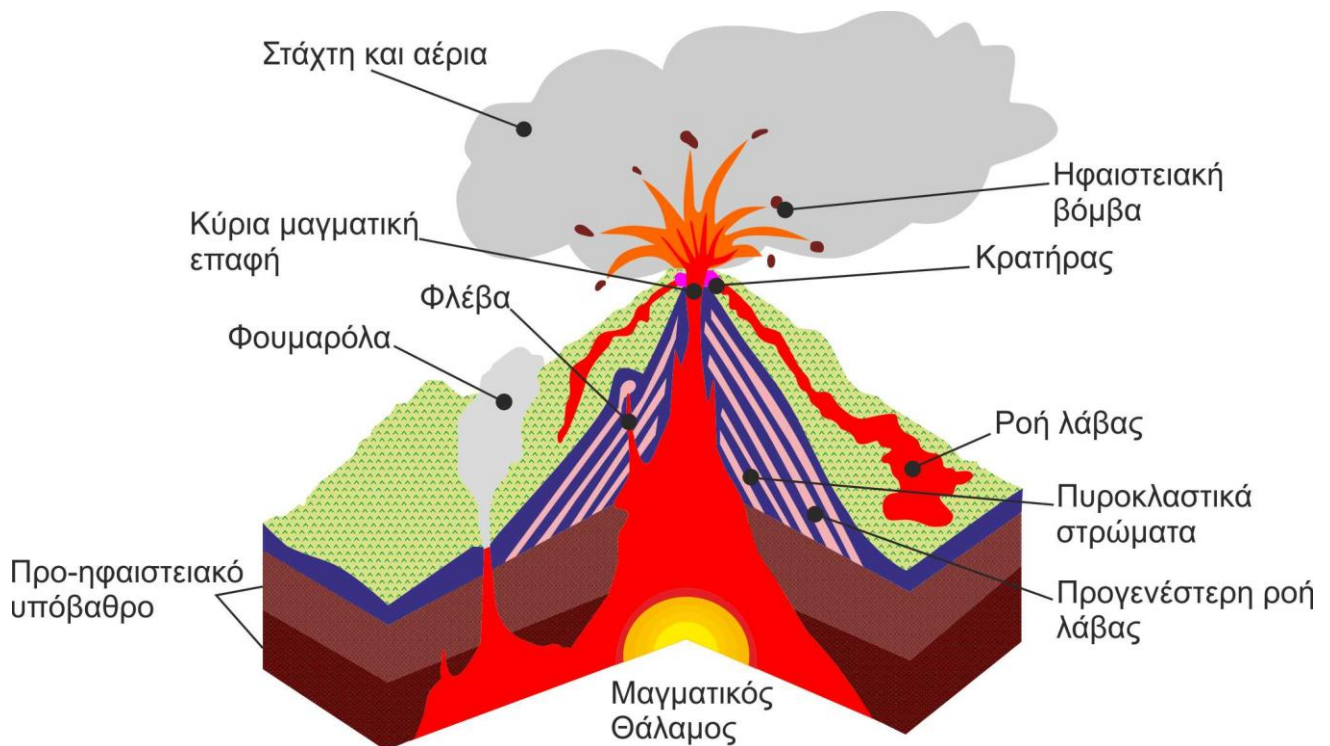
- Φουμαρόλες: μείγμα διάφορων αερίων, με βασικό συστατικό τους υδρατμούς. Οι όξινες φουμαρόλες έχουν θερμοκρασία έως και 800-900°C και οι βασικές περίπου 200°C.
- Σουλφατάρες: μείγμα αερίων με βασικό συστατικό το θείο (S).
- Μοφέτες: μείγμα αερίων με βασικό συστατικό το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).

Υγρά: λάβα, δηλ. το μάγμα που έχει χάσει τα αέρια του πριν ακόμη βγει από τον κρατήρα του ηφαιστείου. Όταν η λάβα είναι παχύρρευστη (περιέχει πολύ SiO₂), φτάνει σε απόσταση από 3 μέχρι 7 km, ενώ όταν είναι λεπτόρρευστη (περιέχει λίγο SiO₂) φτάνει σε απόσταση μέχρι και 20 km.

Στερεά

- Όγκοι: έχουν μέγεθος μέχρι 1 m³ με βεληνεκές μέχρι 200 m.
- Βολίδες: έχουν διάμετρο μέχρι 20 cm με βεληνεκές μέχρι 1.000 m).
- Λιθάρια: έχουν διάμετρο 1 cm με βεληνεκές μέχρι 2.000 m.
- Άμμος: συνήθως πυριτική με βεληνεκές μέχρι 3.000 m.
- Σποδός: ηφαιστειακή στάχτη.

Οι εκρήξεις ενός ηφαιστείου μπορεί να είναι βίαιες ή μικρής δύναμης, στοιχείο που εξαρτάται από την πυκνότητα του μάγματος. Αν το μάγμα που βγαίνει από τον κρατήρα του ηφαιστείου δεν είναι πολύ πυκνό, τα αέρια εξέρχονται εύκολα και οι εκρήξεις τότε δεν είναι δυνατές. Αν όμως το μάγμα είναι πυκνόρρευστο, τα αέρια δυσκολεύονται να βγουν και τότε οι εκρήξεις είναι πολύ βίαιες.



Σχήμα 1.14 Βασικά χαρακτηριστικά ενός ηφαιστείου

1.8.2 Γεωθερμία

Ο όρος «Γεωθερμία» αναφέρεται στον επιστημονικό κλάδο της Γεωλογίας που ασχολείται με τη ροή της γήινης θερμότητας, την κυκλοφορία των θερμών ρευστών στο υπέδαφος, τη θερμοκρασία τους και τα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά και τέλος τον εντοπισμό γεωθερμικών πεδίων (Φυτίκας και Ανδρίτσος, 2004). Η ροή της γεωθερμικής ενέργειας γίνεται με τη μορφή ατμών, νερού και αερίων (Σχ. 1.15, σύνδεσμος 4), αλλά υπάρχει και η περίπτωση να γίνεται μέσω θερμών πετρωμάτων ή μαγματικού υλικού. Η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών μπορεί να φτάσει έως και τους 1.000° C. Παρά το γεγονός ότι οικονομικά εκμεταλλεύσιμο είναι μόνο ένα μικρό ποσοστό αυτής της ενέργειας, μπορεί να αποτελέσει ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ηλεκτρισμού, αντλίες θερμότητας, θέρμανση κτηρίων και θερμοκηπίων, ιχθυοκαλλιέργειες, αφαλάτωση νερού, λουτροθεραπεία κ.λπ. Ειδικά η θέρμανση και τηλεθέρμανση κτηρίων με γεωθερμική ενέργεια εφαρμόζεται σε παγκόσμιο επίπεδο και γίνεται με τη θέρμανση νερού. Ανάλογα με τη θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού, αυτό διακρίνεται σε:

- Υψηλής Ενθαλπίας (>150°C), με χρήση κυρίως στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μέσης Ενθαλπίας (80-150°C), για θέρμανση ή και ξήρανση αγροτικών προϊόντων και εν μέρει για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Χαμηλής Ενθαλπίας (25-80°C), για θέρμανση χώρων, θερμοκηπίων, ιχθυοκαλλιέργειες και αφαλάτωση.

Χρήση της γεωθερμίας γίνεται σχεδόν σε όλες τις χώρες της Ευρώπης. Το είδος της χρήσης αλλάζει ανάλογα με την απόδοση της γεωθερμικής ενέργειας, την ενεργειακή κατάσταση της χώρας αλλά και το νομικό της πλαίσιο. Σε ό,τι αφορά τη θέρμανση χώρων, τα πρωτεία διατηρούν η Ισλανδία, η Ουγγαρία, η Γεωργία και η Ρωσία. Στη Γερμανία και τη Σουηδία επικρατεί η χρήση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Στην Ιταλία και την Ισπανία, τα γεωθερμικά ρευστά χρησιμοποιούνται κυρίως για τη θέρμανση θερμοκηπίων αλλά και για θεραπευτικούς σκοπούς. Τέλος, στην Ελλάδα επικρατεί η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας για λουτροθεραπευτικούς σκοπούς.



Σχήμα 1.15 Θερμοπίδακας στην Ισλανδία (τροποποιημένο από σύνδεσμο 4 στη βιβλιογραφία)

1.8.3 Οι σεισμοί ως γεωλογικό φαινόμενο

Σεισμός (Παπαζάχος και συνεργάτες, 2005· Δερμιτζάκης και Λέκκας, 2010) είναι η αισθητή δόνηση της επιφάνειας της Γης, η οποία προκαλείται από την απελευθέρωση ενέργειας σε κάποιο βάθος. Οι αιτίες που προκαλούν τους σεισμούς είναι οι εξής: η κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών, στην οποία οφείλεται η πλειονότητα των σεισμών, η ηφαιστειότητα και οι υπόγειες κατακρημνίσεις πετρωμάτων.

Η κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών έχει ως συνέπεια τη συσσώρευση τάσεων-παραμορφώσεων στα πετρώματα. Όταν οι τάσεις αυτές υπερβούν το όριο αντοχής των πετρωμάτων, επέρχεται θραύση και δημιουργία σεισμικού ρήγματος. Τμήμα της ενέργειας που απελευθερώνεται διαδίδεται σφαιρικά με τη μορφή σεισμικών κυμάτων. Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός σεισμού είναι τα εξής:

- Εστία ή υπόκεντρο ονομάζεται η ακριβής θέση όπου γίνεται η απελευθέρωση ενέργειας. Ανάλογα με το εστιακό τους βάθος, οι σεισμοί διακρίνονται σε επιφανειακούς ($h < 60$ km), σε ενδιάμεσου βάρους ($60 < h < 300$ km) και σεισμούς βάθους ($h > 300$ km).
- Επίκεντρο ονομάζεται το σημείο της επιφάνειας της Γης που βρίσκεται πάνω από την εστία.
- Η μέτρηση της ενέργειας που απελευθερώνεται περιγράφει το μέγεθος ενός σεισμού και εκφράζεται από την κλίμακα Richter.
- Η ένταση ενός σεισμού υπολογίζεται από την έκταση των καταστροφών που προκαλεί. Μετρείται στην κλίμακα Mercalli ή την κλίμακα M.S.K. Η κλίμακα έχει 12 βαθμούς. Ο βαθμός 1 περιγράφει σεισμούς που μετά βίας γίνονται αισθητοί από τον άνθρωπο, ενώ στον βαθμό 12 αντιστοιχούν οι σεισμοί που αφενός ισοπεδώνουν κυριολεκτικά όλα τα ανθρώπινα έργα και αφετέρου αλλάζουν την τοπογραφία της περιοχής.
- Επικεντρική περιοχή είναι ο τόπος όπου έχει παρατηρηθεί η μέγιστη ένταση ενός σεισμού.

Το όργανο που μετρά την εδαφική σεισμική κίνηση ονομάζεται σεισμόμετρο. Είναι ένα εκκρεμές μεγάλης μάζας που στηρίζεται στο έδαφος και ακολουθεί τις κινήσεις του. Η ακίδα με την οποία είναι συνδεδεμένη η μάζα αποτυπώνει στο καταγραφικό τη μετακίνηση του εδάφους με τη μορφή σειсмоγραμμάτων. Τα κύματα που εμφανίζονται στα σειсмоγράμματα είναι τα κύματα P (επιμήκη κύματα ή κύματα συμπίκνωσης και αραιώσης ή πρωτεύοντα) και τα κύματα S (εγκάρσια ή κύματα διατμήσεως ή δευτερεύοντα). Τα P και S ονομάζονται και κύματα χώρου. Ακολουθούν τα κύματα επιφανείας, τα οποία διακρίνονται στα κυκλικά κύματα R (Reyleigh) και στα κύματα στρέψεως L (Love). Μετά το πέρασμα το κυμάτων αυτών καταγράφεται μόνο θόρυβος.

1.8.4 Η κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών

Ο Alfred Wegener, στις αρχές του 1900, ήταν ο πρώτος που παρουσίασε αποδείξεις ότι οι ήπειροι μετακινούνται, μια διαδικασία που την ονόμασε ηπειρωτική διάρρηξη. Υποστήριξε ότι οι ήπειροι εκατέρωθεν του Ατλαντικού ωκεανού ήταν κάποτε ενωμένες σε μια υπερ-ήπειρο, την Παγγαία, η οποία στη συνέχεια διασπάστηκε σε τμήματα. Η Παγγαία περιβαλλόταν από έναν ενιαίο ωκεανό, την Πανθάλασσα. Αρχικά η θεωρία του δεν έγινε δεκτή. Αργότερα, τη δεκαετία του 1960, οι Harry Hess και Robert Dietz αναβίωσαν τη θεωρία του Wegener, παρουσιάζοντας στοιχεία για τη δημιουργία ωκεάνιου φλοιού στις μεσοωκεάνιες ράχες και την καταστροφή του στις ωκεάνιες τάφρους.

Σύμφωνα με τη Γεωλογική Εταιρία της Αμερικής, ο όρος «λιθοσφαιρική πλάκα» χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια τεράστια, δύσκαμπτη ακανόνιστου σχήματος στερεή πλάκα η οποία αποτελείται από ωκεάνια και ηπειρωτική λιθόσφαιρα. Η λιθόσφαιρα περιλαμβάνει τον φλοιό και το ανώτερο τμήμα του μανδύα. Το μέγεθος των λιθοσφαιρικών πλακών (Σχ. 1.16) κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες έως χιλιάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα. Οι κύριες λιθοσφαιρικές πλάκες είναι έξι (Βορειοαμερικανική, Νοτιοαμερικανική, Ευρασιατική, Αφρικανική, Ειρηνική πλάκα και Ανταρκτική). Επίσης υπάρχουν μικρότερες πλάκες όπως η Ινδική, η Αυστραλιανή, η Αραβική, η Καραϊβική, η Νάζκα, η Κόκος, η Ζουάν ντε Φούκα και τέλος η πλάκες των Φιλιππίνων και της Σκωτίας (Σύνδεσμος 5). Πολλές φορές αναφέρεται και ο όρος «μικροπλάκα» για να περιγράψει τμήματα πλακών που παρουσιάζουν διαφορές στη συμπεριφορά τους σε σχέση με τις μεγαλύτερες πλάκες στις οποίες ανήκουν. Για παράδειγμα, πολλές φορές στη βιβλιογραφία αναφέρεται η μικροπλάκα του Αιγαίου ή της Αδριατικής κ.λπ.

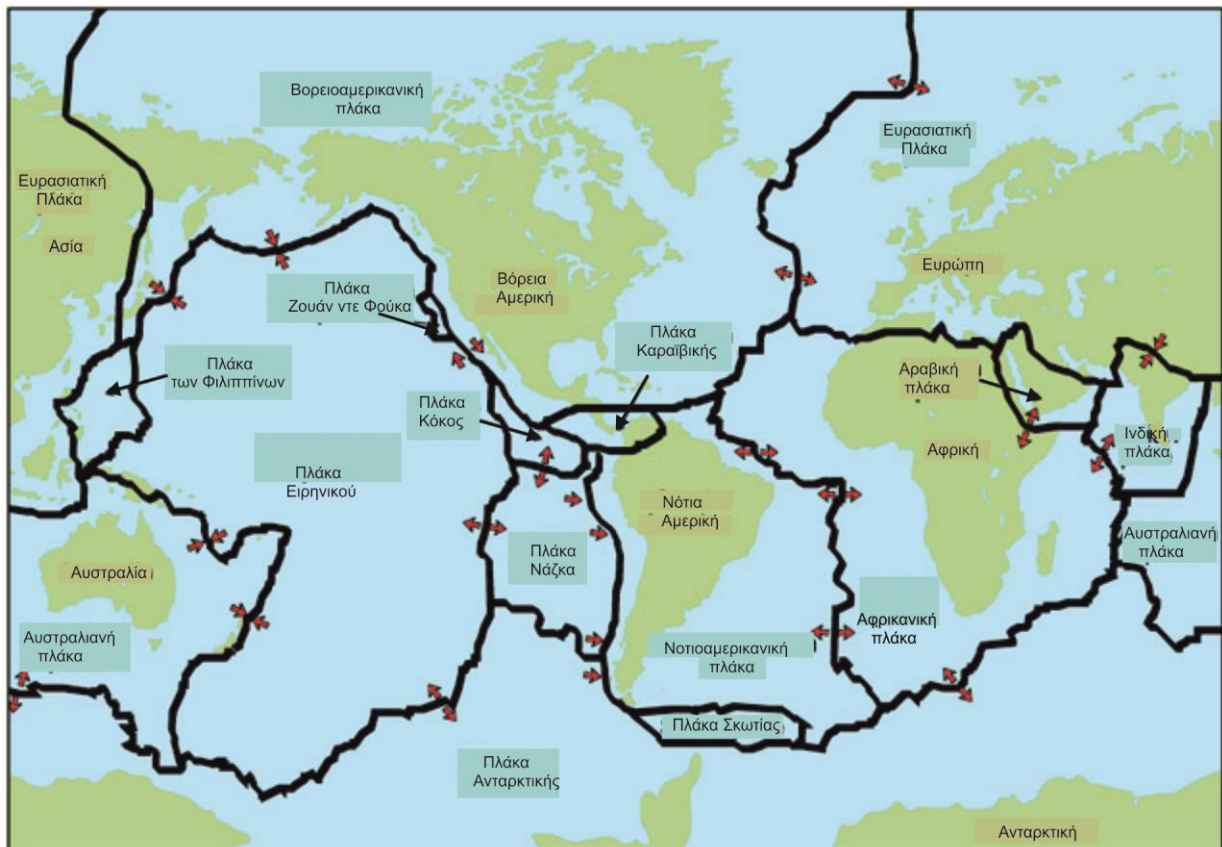
Οι ταχύτητες μετακίνησης των πλακών διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή. Για παράδειγμα, στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου, η Αφρικανική πλάκα μετακινείται με διεύθυνση βορειο-βορειοδυτική και ταχύτητα 1–2 cm/yr (McClusky et al., 2000· Reilinger and McClusky, 2011), ενώ η μικροπλάκα του Αιγαίου με περίπου 3 cm/yr. Το πάχος μιας λιθοσφαιρικής πλάκας κυμαίνεται από λιγότερο από 15 km (για νέο ωκεά-

νιο φλοιό) έως 200 km, αν πρόκειται για παλιά ηπειρωτική πλάκα (π.χ. τα εσωτερικά τμήματα της Βόρειας και της Νότιας Αμερικής). Το ερώτημα είναι πώς καταφέρνουν και επιπλέον τεράστιες πλάκες στερεού πετρώματος. Η απάντηση βρίσκεται στη σύσταση των πετρωμάτων. Ο ηπειρωτικός φλοιός αποτελείται από γρανιτικά κυρίως πετρώματα που είναι πολύ ελαφρύτερα ως υλικά, σε σύγκριση με τα βασαλτικά πετρώματα του ωκεάνιου φλοιού. Επειδή ο ηπειρωτικός φλοιός είναι πολύ ελαφρύτερος από τον ωκεάνιο, γι' αυτό αποκτά μεγαλύτερα πάχη.

Οι τρεις βασικές κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών είναι οι εξής:

1. Η απόκλιση συμβαίνει στις μεσοωκεάνιες ράχες, όπου δημιουργείται φλοιός με την άνοδο του μάγματος, την ψύξη και την απομάκρυνση της πλάκας. Χαρακτηριστική είναι η παρουσία υποθαλάσσιων ηφαιστειών στη μέση των ωκεανών. Το μάγμα περιέχει σιδηρομαγνητικά υλικά τα οποία δημιουργούν μαγνητικά δίπολα, με αποτέλεσμα τον προσανατολισμό τους παράλληλα προς το μαγνητικό πεδίο της Γης που επικρατεί την εποχή ψύξης του υλικού. Επειδή το μαγνητικό πεδίο της Γης παρουσιάζει αναστροφές πολικότητας, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται λωρίδες εκατέρωθεν της ράχης με αντίθετη μαγνητική πολικότητα. Στις μεσοωκεάνιες ράχες επικρατούν γενικά τάσεις εφελκυσμού.

2. Η σύγκλιση έχει ως αποτέλεσμα την εξαφάνιση φλοιού στις ωκεάνιες τάφρους ή την ορογένεση. Οι τάσεις που επικρατούν στο όριο της σύγκλισης των λιθοσφαιρικών πλακών είναι γενικά συμπιεστικές. Στην εσωτερική πλευρά της σύγκλισης αντιστρέφεται το καθεστώς με την επικράτηση εφελκυστικών τάσεων.

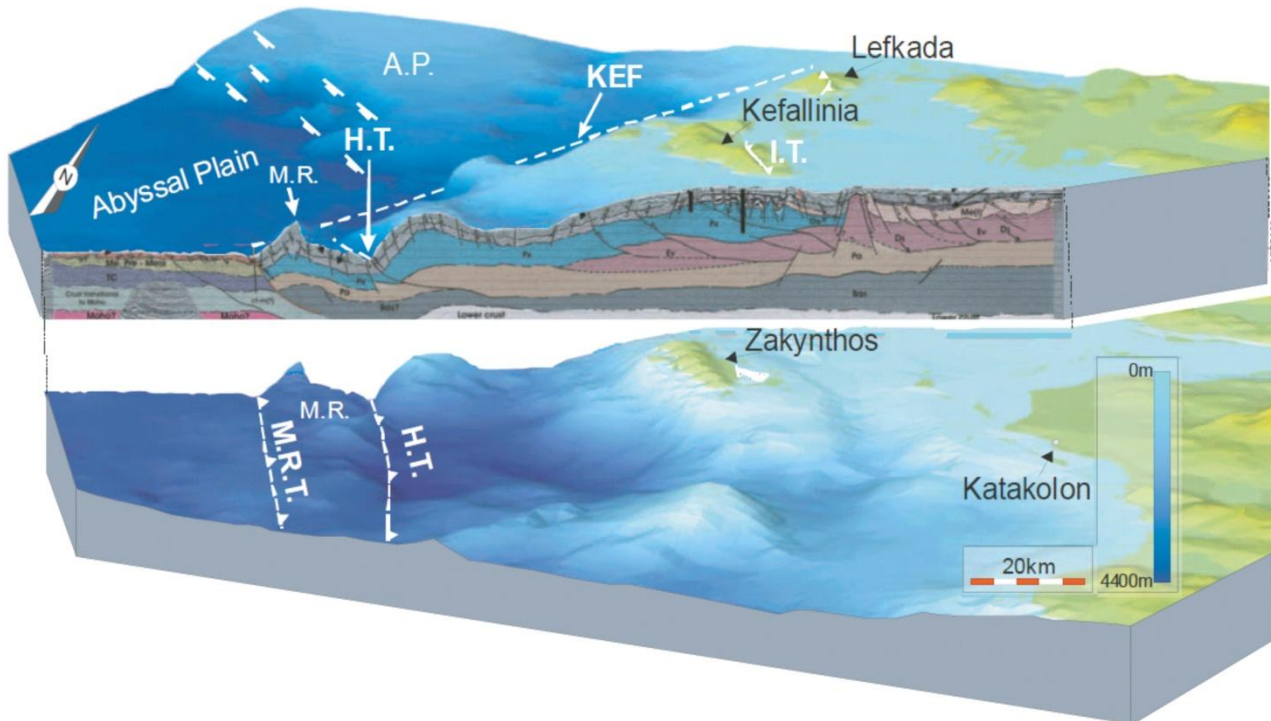


Σχήμα 1.16 Η κατανομή των λιθοσφαιρικών πλακών στη Γη. Τα κόκκινα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση της κίνησης

Επιπρόσθετα, τέτοιες περιοχές παρουσιάζουν έντονη σεισμικότητα. Κατά την κίνησή τους οι λιθοσφαιρικές πλάκες συγκλίνουν και συγκρούονται μεταξύ τους, με αποτέλεσμα η πυκνότερη να βυθίζεται. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται ζώνες υποβύθισης. Το υλικό της βυθιζόμενης πλάκας τήκεται, με συνέπεια τη δημιουργία ανοδικών ρευμάτων μαγματικού υλικού. Έτσι προκύπτει σειρά ηφαιστειών που ονομάζεται ηφαιστειακό τόξο. Στην περιοχή της καταβύθισης της λιθοσφαιρικής πλάκας δημιουργείται κύρτωμα που ονομάζεται ράχη (Σχ. 1.17). Η μορφολογία του πυθμένα μετά τη ράχη μεταβάλλεται σε βαθιά θάλασσα (ωκεάνια τάφρος). Ακριβώς μετά την τάφρο αλλάζει πάλι η μορφολογία του πυθμένα, με την παρουσία του πρίσματος επαύξησης (Σχ. 1.17), το οποίο αποτελείται από ένα σύμπλεγμα ιζηματογενών και ωκεάνιων πετρωμάτων που

αποκόπηκαν από την καταδυόμενη πλάκα. Ακολουθεί η περιθωριακή λεκάνη ή θάλασσα, η οποία γενικά παρουσιάζει μικρά βάθη και χαρακτηρίζεται από την παρουσία μεγάλου πάχους ιζημάτων. Έπεται το ηφαιστειακό τόξο (αλυσίδα ηφαιστειών), του οποίου το εσωτερικό κοίλο τμήμα χαρακτηρίζεται από την παρουσία μικρών ωκεάνιων λεκανών.

3. Η οριζόντια ολίσθηση ή εφαπτομενική κίνηση κατά μήκος ρηγμάτων, με μήκος από δεκάδες έως εκατοντάδες χιλιόμετρα, που ονομάζονται ρήγματα μετασχηματισμού. Ουσιαστικά αυτό που συμβαίνει είναι ότι δύο λιθосφαιρικές πλάκες ολισθαίνουν με αντίθετη φορά κατά μήκος του ρήματος μετασχηματισμού. Τα ρήγματα μετασχηματισμού αποτελούν ενεργές τεκτονικές δομές στα όρια τεκτονικών λιθосφαιρικών πλακών, που εμφανίζουν γενικά επιφανειακή σεισμικότητα και διακρίνονται σε δεξιόστροφα και αριστερόστροφα.



Σχήμα 1.17 Η δομή του φλοιού στην περιοχή του Ιονίου (Κοκκίνου et al., 2005). Επεξηγήσεις: M.R.=Μεσογειακή ράχη, H.T.=Ελληνική τάφρος. Από την άβυσσο του Ιονίου και προς τα ανατολικά συναντάμε πρώτα το ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης της Κεφαλονιάς και τη Μεσογειακή ράχη. Μετά τη ράχη εμφανίζεται η ελληνική τάφρος (βαθιά θάλασσα), η οποία έπεται από την παρουσία του πρίσματος επαύξησης. Τέλος, ακολουθεί η περιθωριακή θάλασσα

1.9 Γεωλογία χερσαίου, παράκτιου και θαλάσσιου περιβάλλοντος

Η συγκεκριμένη παράγραφος αποτελεί εισαγωγή στη γεωλογία του χερσαίου, παράκτιου και θαλάσσιου περιβάλλοντος (Δερμιτζάκης και Λέκκας, 2010), η οποία στα επόμενα κεφάλαια θα αναλυθεί εκτενέστερα. Στο πλαίσιο όμως ενός κεφαλαίου που εισάγει τον αναγνώστη στις βασικές έννοιες της γεωλογίας, θεωρείται απαραίτητο να γίνει μνεία σε αυτά.

Οι ήπειροι (Βόρεια Αμερική, Νότια Αμερική, Ανταρκτική, Αφρική, Ευρασία και Αυστραλία) αποτελούν το χερσαίο τμήμα των ηπειρωτικών λιθосφαιρικών πλακών, πάνω στις οποίες απαντώνται κυρίως ιζηματογενή, πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα. Το χερσαίο περιβάλλον του πλανήτη περιλαμβάνει τις οροσειρές, τα βουνά, τους χειμάρρους, τους ποταμούς, τις λίμνες, τα έλη, τα τέλματα, τους βάλτους και τέλος τους παγετώνες. Η διαδικασία της ορογένεσης είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία των οροσειρών και των βουνών. Συμβαίνει στις περιοχές σύγκλισης των λιθосφαιρικών πλακών όπου λαμβάνει χώρα η παραμόρφωση, η πτύχωση και η άνοδος του φλοιού. Τα ιζήματα που δομούν το περιθώριο των ηπείρων και τη βαθιά θάλασσα, καθώς και παλιά ωκεάνια πετρώματα (οφιόλιθοι), προσκολλούνται στη λιθосφαιρική πλάκα που ανέρχεται, με αποτέλεσμα την αύξηση του πάχους της. Έτσι προκύπτουν τα νέα ορογενή ή ορογενετικά συστήματα. Οι χείμαρροι, οι ποταμοί και οι λίμνες συνθέτουν το υδρογραφικό δίκτυο μιας περιοχής. Η διαφορά του χειμάρ-

ρου από τον ποταμό είναι ότι ο πρώτος παρουσιάζει γενικά περιστασιακή ροή, κυρίως κατά την περίοδο των βροχοπτώσεων. Τα πετρώματα που συνήθως συναντάμε σε χειμάρρους και ποταμούς είναι κροκάλες, χαλίκια, άμμοι και ιλύς. Το υλικό που δομεί γενικά τα συστήματα αυτά ελαττώνεται σε διάμετρο όσο απομακρυνόμαστε από τα ανάντη. Στις κοιλάδες υπερχειλίσης και στα δέλτα, γενικά το υλικό είναι στην πλειονότητά του κλαστικό και λεπτόκοκκο. Τα λιμναία ιζήματα είναι λεπτόκοκκα και κλαστικά και πιο καλά ταξινομημένα σε σύγκριση με τα ποταμοχειμάρρια. Τα έλη, τα τέλματα και οι βάλτοι είναι ανοξικά περιβάλλοντα και χαρακτηρίζονται από την παρουσία τύρφης. Η γρήγορη ταφή των οργανικών υπολειμμάτων είναι υπεύθυνη για την απόθεση άνθρακα. Οι παγετώνες αποτελούν εντυπωσιακή δομή του χερσαίου περιβάλλοντος. Τα συνηθισμένα πετρώματα του παγετώδους περιβάλλοντος είναι οι τιλλίτες. Κατατάσσονται στα ιζηματογενή πετρώματα και αποτελούν μάζες γωνιωδών μη αποσαθρωμένων πετρωμάτων με συνδετική ύλη από παγετώδες άστρωτο υλικό, συνήθως γκριζου χρώματος.

Το παράκτιο περιβάλλον περιλαμβάνει τις παραλίες, τις παλιρροϊκές πεδιάδες, τα τενάγη, τις εκβολές και τα δέλτα των ποταμών. Επίσης σε αυτά κατατάσσονται τα παράκτια έλη και τέλματα. Συνηθισμένα πετρώματα των παραλιών (υψηλής ενέργειας περιβάλλον) είναι τα ιζήματα που ποικίλλουν, από άμμο έως και κροκάλες. Επίσης οι ψαμμίτες (συμπαγοποιημένη άμμος) αποτελούν ιζηματογενές πέτρωμα που πολύ συχνά απαντάται σε τέτοια περιβάλλοντα. Οι παλιρροϊκές πεδιάδες (χαμηλής ενέργειας περιβάλλον) χαρακτηρίζονται από ομαλή μορφολογία και ιζήματα όπως κλαστικά ιζήματα, η ιλύς, η ασβεστολιθική ιλύς και ο πηλός. Οι παραλιακές υφάλμυρες λίμνες, με χερσαίο λεπτόκοκκο και κλαστικό υλικό, ονομάζονται τενάγη. Σε τέτοια περιβάλλοντα, όταν υπάρχει έντονη εξάτμιση αποτίθενται οι εβαπορίτες (κυρίως γύψος, ανυδρίτης και ορυκτό αλάτι). Οι εκβολές και τα δέλτα των ποταμών είναι περιοχές υψηλής ενέργειας με έντονη παρουσία του φυτικού και ζωικού κόσμου και με υψηλό ρυθμό ιζηματογένεσης από κλαστικό κυρίως υλικό της χέρσου.

Οι ωκεανοί (Ειρηνικός, Ατλαντικός, Ινδικός, Αρκτικός και Ανταρκτικός) καλύπτουν περίπου τα τρία τέταρτα της επιφάνειας της Γης και περιέχουν το 97% του νερού. Τα πετρώματα που δομούν τους ωκεανούς είναι ιζηματογενή και βασαλτικά. Τα ιζήματα, με βάση την κοκκομετρία τους, μπορεί να είναι από λεπτόκοκκα, όπως άργιλος και ιλύς, έως χονδρόκοκκα, όπως άμμος και χαλίκια. Η προέλευσή τους μπορεί να είναι: λιθολογική λόγω της διάβρωσης των πετρωμάτων, βιογενής από τη λιθοποίηση των υπολειμμάτων οργανισμών που πεθαίνουν, αυτόχθονα από καθίζηση λόγω χημικών ή βιοχημικών διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα στο νερό, ηφαιστειογενή από τη δραστηριότητα των ηφαιστειών ή ακόμη και κοσμογενούς προέλευσης. Γενικά στον θαλάσσιο χώρο αναγνωρίζονται δύο μεγάλες μονάδες: τα ρηγά ηπειρωτικά περιθώρια (ενεργά τεκτονικά και παθητικά) και η βαθιά θάλασσα στην οποία απαντώνται ωκεάνιες ράχες και λεκάνες. Με την πάροδο του γεωλογικού χρόνου και τις μεταβολές του επιπέδου της θάλασσας, μπορεί να βυθιστεί το ανώτερο τμήμα του ηπειρωτικού περιθωρίου ή και να γίνει επιπέδωση από την απόθεση ιζημάτων, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό της υφαλοκρηπίδας. Το πλάτος της υφαλοκρηπίδας κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες μέτρα ως και μερικά χιλιόμετρα, ενώ το βάθος της είναι 100-200 m. Λίγο μακρύτερα από την υφαλοκρηπίδα, η κλίση του πυθμένα είναι πολύ πιο απότομη. Το θαλάσσιο περιβάλλον χαρακτηρίζεται από την παρουσία τριών μεγάλων μορφολογικών ενοτήτων:

- Νηριτική ζώνη (από τη χαμηλή παλίρροια μέχρι 180 m)· Χαρακτηρίζεται από αφθονία ζωής, παρουσία υφάλων, ταλαντογενείς και ρευματογενείς ρυτίδες και πλούσια ιζήματα.
- Βαθύαλος (από 200-4.100 m)· Χαρακτηριστικά ιζήματα είναι οι τουρβιδίτες (αδρόκοκκα βαρυτικής προέλευσης υλικά) που σχηματίζονται από γρήγορα κινούμενα ρεύματα.
- Αβυσσική ζώνη (από 4.100 m και πάνω)· με ιζήματα κυρίως τουρβιδίτες, άργιλο και βιογενή ιλύ (υπολείμματα πλαγκτονικών οργανισμών) αλλά και τα συμπαγή πετρώματα βαθιάς θάλασσας (γραουβάκες, πηλίτες, ασβεστόλιθους και ραδιολαρίτες).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ (ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ)

Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία

- Γκουτσίδου-Σουραμάνη, Γ. (1988). *Ιστορική Κλιματολογία με στοιχεία Παλαιοκλιματολογίας* (σημειώσεις). Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Υπηρεσία δημοσιευμάτων.
- Δερμιτζάκης, Μ. Δ. & Λέκκας, Σ. Π. (2010). *Διερευνώντας τη Γη-Εισαγωγή στη γενική γεωλογία*. 2η έκδ. Αθήνα: Κοράλι-Γκέλυμπεσης Γιώργος.
- Καρακίτιος, Β. (2001). *Στρωματογραφία*. Αθήνα: Έκδοση Αστάρτη.
- Κύλιας, Α. (1985). *Εισαγωγή στην Τεκτονική Γεωλογία*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Υπηρεσία δημοσιευμάτων.
- Κόκκινου, Ε., Καμπέρης, Ε. (2014). *Γεωλογική–Τεκτονική και Υδρογεωλογική Προσέγγιση των συνθηκών στην περιοχή του ορεινού Μυλοποτάμου του Δήμου Μυλοποτάμου, Τελική Έκθεση Έργου*. ΤΕΙ Κρήτης.
- Κουφός, Γ. (2008). *Μαθήματα Στρωματογραφίας*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
- Λόζιος, Σ. (2003). *Εισαγωγή στη Μικροτεκτονική*. Αθήνα: ΕΚΠΑ, Τμήμα Γεωλογίας.
- Μελέντης, Ι. Κ. (1988). *Παλαιοντολογία Ασπονδύλων*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Υπηρεσία δημοσιευμάτων.
- Παπαζάχος, Β. Κ., Καρακάσης, Γ. Φ. & Χατζηδημητρίου, Π. Μ. (2005). *Εισαγωγή στη σεισμολογία*. Θεσσαλονίκη: εκδόσεις Ζήτη.
- Σαββίδης, Σ. (2006). *Environmental Engineering Geology*. Κοζάνη: Σαββίδης Σ.
- Σολδάτος, Κ. Τ. (1980). *Μαθήματα Ορυκτολογίας*, Μέρος Ι-Εισαγωγή στην κρυσταλλογραφία. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
- Φυτίκας, Μ. & Ανδρίτσος, Ν. (2005). *Γεωθερμία*. Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα.

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Bons, P. (2007), Teaching materials, <http://structural-geology.info/lectures>.
- Kokinou, E. & Kamberis E. (2009). The structure of the Kythira-Antikythira strait, offshore SW Greece (35.7°-36.6N). In: van Hinsbergen D.J.J., Edwards M.A., Govers R. (eds.), *Geodynamics of Collision and Collapse at the Africa-Arabia-Eurasia subduction zone*. London: Geological Society, Special Publications 2009, v. 311, pp. 343-360, doi:10.1144/SP311.14.
- Kokinou, E., Kamberis, E., Vafidis, A., Monopolis, D., Ananiadis, G. & Zelilidis A. (2005). Deep seismic reflection data from offshore Western Greece: a new crustal model for the Ionian sea. *Journal of Petroleum Geology*, Vol. 28, No. 2, pp. 81-98.
- McClusky, S. & 27 others (2000). Global position system constraints on plate kinematics and dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research*, v. 105, pp. 5695–5719.
- Reilinger, R. & McClusky S. (2011). Nubia–Arabia–Eurasia plate motions and the dynamics of Mediterranean and Middle East tectonics. *Geophysical Journal International*, v. 186, pp. 971–979, doi:10.1111/j.1365-246X.2011.05133.x.
- Walker, J. D. & Geissman J. W. (2009). *Geologic Time Scale: Geological Society of America*. The Geological Society of America. doi: 10.1130/2009.CTS004R2C.

Σύνδεσμοι στο διαδίκτυο που αναφέρονται εντός του κειμένου:

1. The structure of the Earth, http://www.moorlandschool.co.uk/earth/earths_structure.htm
2. The Fossil Forum, <http://www.thefossilforum.com/index.php?blog/104/entry-108-my-triassic-blog/>
3. <https://www.google.gr/search?q=volcanoes+images&biw=1280&bih=647&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0CB0QsARqFQoTCKChqcnK2sgCFQlyFAodTGoNUw&dpr=1.5>
4. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GeysirEruptionNear.jpg>
5. <https://alsiraatfivesix.wordpress.com/2013/05/19/world-map-with-tectonic-plate-overlay/>