



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

**"Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ  
ΕΡΕΥΝΑ  
ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ: ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΟΥΣ  
ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ ΔΥΤΙΚΗΣ - ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ"**



**ΦΟΙΤΗΤΕΣ:**

ΧΕΙΛΑΔΑΚΗ ΚΥΡΙΑΚΗ 1114201400161

ΒΟΥΛΓΑΡΗΣ ΜΙΧΑΗΛ 1114201600020

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

ΝΤΡΙΝΙΑ ΧΑΡΙΚΛΕΙΑ

Copyright ©

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. Allrightsreserved. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Οι απόψεις και θέσεις που περιέχονται σε αυτήν την εργασία εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:**

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>4</b>
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>5</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>6</b>

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

<b>ΜΙΚΡΟΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΑ</b> .....	<b>7</b>
1.1 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ .....	7
1.2 ΜΙΚΡΟΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΑ.....	7
1.3 ΟΜΑΔΕΣ ΜΙΚΡΟΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΩΝ.....	8
1.3.1 ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ.....	9
1.3.2 ΔΙΑΤΟΜΑ .....	20
1.3.3 ΑΚΤΙΝΟΖΩΑ.....	19

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

<b>ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΑΘΡΑΚΕΣ</b> .....	<b>20</b>
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	20
2.2 ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ .....	27
2.2.1 ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΚΑΙ ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ .....	29
2.2.2 API GRAVITY .....	30
2.3 ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ .....	32
2.4 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ.....	34
2.5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ – Η ΑΛΥΣΙΔΑ ΑΞΙΩΝ.....	35

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

<b>ΠΕΤΡΕΛΑΪΚΑΣΥΣΤΗΜΑΤΑ</b> .....	<b>37</b>
3.1 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ .....	37
3.2 ΔΟΜΗ ΠΕΤΡΕΛΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	38
3.2.1 ΜΗΤΡΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ.....	38
3.2.2 ΜΕΤΑΝΑΣΤΕΥΣΗ.....	45
3.2.3 ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΙΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ .....	46
3.2.4 ΔΟΜΕΣ ΣΦΡΑΓΙΣΗΣ – ΚΑΛΛΥΜΑΤΑ.....	50
3.2.5 ΠΑΓΙΔΕΣ .....	52
3.3 ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ.....	54

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

<b>ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ</b> .....	<b>59</b>
4.1 ΕΥΡΕΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΜΕΣΩ ΜΙΚΡΟΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΩΝ.....	59
4.2 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΠΕΤΡΕΛΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΣΩ ΜΙΚΡΟΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΩΝ.....	63

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

<b>ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ .....</b>	<b>65</b>
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	65
5.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	66
5.3 ΕΝΑΕΡΙΑ ΕΡΕΥΝΑ .....	67
5.4 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ .....	68
5.5 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ .....	68
5.6 ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ .....	69
5.6.1 ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ .....	71
5.6.2 ΒΑΡΥΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ.....	72
5.6.3 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ.....	74
5.6.4 ΜΑΓΝΗΤΟΤΕΛΛΟΥΡΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ .....	79
5.6.5 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ .....	80
5.6.6 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ - ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΕΣ ΔΙΑΓΡΑΦΙΕΣ .....	80
5.7 ΓΕΩΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ .....	99
5.7.1 ΠΥΡΟΛΥΣΗ ROCK - EVAL.....	100
5.7.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΙΣΟΤΟΠΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ .....	100

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

<b>ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΤΗΝ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ .....</b>	<b>101</b>
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	101
6.2 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ .....	101
6.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ .....	104
6.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΕΩΤΡΥΠΑΝΩΝ - ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ .....	105
6.5 ΜΙΚΡΟΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ .....	110

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

<b>ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ .....</b>	<b>115</b>
7.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΡΗΤΗΣ - ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	115
7.2 ΩΚΕΑΝΟΣ ΤΗΣ ΤΗΘΥΣ .....	122
7.3 ΜΕΣΟΓΕΙΟΣ.....	123
7.3.1 ΛΕΚΑΝΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ.....	124
7.3.2 ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΗ ΡΑΧΗ .....	125
7.3.3 ΛΕΚΑΝΗ ΚΡΗΤΗΣ (ΟΠΙΣΘΟΤΑΦΡΟΣ) .....	127
7.3.4 ΛΕΚΑΝΗ ΗΡΟΔΟΤΟΥ.....	127
7.3.5 MUDFLOW VOLCANOES.....	130
7.4 ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ ΚΡΗΤΗΣ.....	135
7.5 "BLOCKS" ΔΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ .....	138

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

<b>ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>141</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>143</b>



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρατίθεται η εφαρμογή της επιστήμης της Μικροπαλαιοντολογίας στη βιομηχανία έρευνας υδρογονανθράκων. Στόχος αυτής είναι η κατανόηση της συμβολής της Μικροπαλαιοντολογίας στην εξερεύνηση υδρογονανθράκων, καθώς και η κατανόηση της γένεσης των κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου στην περιοχή Δυτικά και Νοτιοδυτικά της νήσου Κρήτης. Για την κατανόηση αυτού του στόχου, μελετήθηκε σύγχρονη και παλαιότερη βιβλιογραφία. Αναλυτικότερα, στο πρώτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται ο ορισμός της Μικροπαλαιοντολογίας και οι διάφορες κατηγορίες μικροαπολιθωμάτων. Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζεται ο μηχανισμός γένεσης των υδρογονανθράκων, εμβαθύνοντας στη γένεση του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Στο τρίτο κεφάλαιο, αναλύεται η δομή ενός πετρελαϊκού συστήματος. Στο τέταρτο κεφάλαιο, συσχετίζεται η επιστήμη της Μικροπαλαιοντολογίας με τα πετρελαϊκά συστήματα. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι διάφορες μέθοδοι εξερεύνησης που χρησιμοποιούνται στην έρευνα υδρογονανθράκων. Στο έκτο κεφάλαιο, αναλύονται τα είδη των γεωτρήσεων, ο γεωτρητικός εξοπλισμός και οι διάφορες μικροπαλαιοντολογικές τεχνικές που εφαρμόζονται στα προϊόντα της γεώτρησης και στο έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η γεωλογία της νήσου Κρήτης και η γένεση των υδρογονανθράκων δυτικά και νοτιοδυτικά αυτής, μέσω της γεωλογικής της ιστορίας και εξέλιξης.

## ABSTRACT

This bachelor's thesis is setting out the application of the science of Micropaleontology to the hydrocarbon research industry. Its aim is to understand the contribution of Micropaleontology to hydrocarbon exploration, as well as to understand the origination of oil and gas deposits in the West and Southwest region of the island of Crete. To understand this goal, modern and older bibliography was studied. Analytically, the first chapter presents the definition of micropaleontology and the various categories of microfossils. In the second chapter, is presented the mechanism of the origination of hydrocarbons; delve into the origination of oil and gas. In the third chapter, is analyzed the structure of a petroleum system. In the fourth chapter, the science of Micropaleontology is associated with petroleum systems. The fifth chapter presents the various exploration methods used in hydrocarbon research. In the sixth chapter, are analyzed the types of drilling, drilling equipment and the various micropaleological techniques applied to drilling products and in the seventh and final chapter, the geology of the island of Crete is presented and the origination of hydrocarbons west and southwest of it, through its geological history and evolution.

Λέξεις – Κλειδιά: Μικροπαλαιοντολογία, μικροαπολιθώματα, υδρογονάνθρακες, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, πετρελαϊκό σύστημα, εξερεύνηση υδρογονανθράκων, γεώτρηση, θρύμματα, συλλογή θρυμμάτων, Κρήτη, Μεσόγειος, Λεκάνη Ηροδότου, Λασποηφαίστεια, "blocks" υδρογονανθράκων Κρήτης.

Key words: Micropaleontology, microfossils, hydrocarbons, oil, gas, petroleum system, hydrocarbon exploration, drilling, cuttings, cuttings collection, Crete, Mediterranean, Herodotus basin, Mudflow volcanoes, "blocks" of hydrocarbons of Crete.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την καθηγήτριά μας κα. Ντρίνια Χαρίκλεια για την πολύτιμη βοήθεια της στην υλοποίηση της διπλωματικής μας εργασίας, καθώς και για τις πολύτιμες και χρήσιμες συμβουλές της και το απέραντο επιστημονικό υλικό από το προσωπικό της αρχείο που μας έδωσε για την τελειοποίηση της εργασίας μας αυτής. Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κύριο Κράνη Χαράλαμπο, επίκουρο καθηγητή στο τομέα Δυναμικής και Τεκτονικής του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, καθώς και τον κύριο Γεωργακόπουλο Ανδρέα, καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, για την πολύτιμη βοήθεια που μας έδωσαν με διάφορες πληροφορίες από το προσωπικό τους αρχείο.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς μας για την υποστήριξή τους όχι μόνο στην υλοποίηση της διπλωματικής μας εργασίας, αλλά και σε όλο μας το “φοιτητικό ταξίδι” .

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στην συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζονται αναλυτικά οι όροι της Μικροπαλαιοντολογίας και η σημασία τους στην έρευνα πετρελαίων αλλά και η εφαρμογή των όρων αυτών στα Πετρελαϊκά Συστήματα. Επίσης, παρουσιάζονται οι τρόποι αξιολόγησης των διαφόρων κοιτασμάτων, όχι μόνο μέσω της Μικροπαλαιοντολογίας , αλλά και μέσω διαφόρων άλλων γεωλογικών και μηχανικών τεχνικών. Τέλος, εστιάζεται η ύπαρξη κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου στην Νότια Κρήτη αλλά και η συσχέτισή τους με τα κοιτάσματα πετρελαίου της Δυτικής Ελλάδας.

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

## **ΜΙΚΡΟΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΑ**

### **1.1 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ**

#### **- ΟΡΙΣΜΟΣ ΜΙΚΡΟΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ**

*"Η μικροπαλαιοντολογία είναι ο κλάδος της παλαιοντολογίας που ασχολείται με τη μελέτη μικροαπολιθωμάτων, δηλαδή μικροσκοπικών απολιθωμάτων, τα οποία μελετώνται με τη βοήθεια μικροσκοπίου"* (Τριανταφύλλου et.al., 2012)

Άρα, μικροπαλαιοντολογία μπορούμε να ορίσουμε την επιστήμη που ασχολείται με την μελέτη των μικροαπολιθωμάτων μέσω ηλεκτρονικού μικροσκοπίου.

### **1.2 ΜΙΚΡΟΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΑ**

Ως μικροαπολιθώματα ορίζουμε τα απολιθώματα που έχουν μέγεθος μικρομέτρων (μm) τα οποία είναι υπολείμματα φυτικών ή ζωικών οργανισμών (π.χ. τρηματοφόρα, ακτινόζωα, οστρακώδη, μικρά γαστερόποδα, φύκη, διάτομα, ναννοπλαγκτόν) ή τμήματα μεγαλύτερων οργανισμών σε μέγεθος μικρομέτρων (π.χ. βελόνες σπόγγων, σπόρους, γυρεοκόκκους, φυτοπλαγκτόν, τασμανίτες, χιτινόζωα, κωνόδοντα, δόντια τρωκτικών κ.ά.) ή θραύσματα μεγαλύτερων οργανισμών που εντοπίζονται στα ιζήματα (π.χ. θραύσματα διθύρων, γαστεροπόδων, σπόγγων, κοραλλιών, εχινόδερμων, οστών σπονδυλωτών, κ.λπ.) και έχουν διατηρηθεί κατά το πέρασ το γεωλογικού χρόνου. Τα μικροαπολιθώματα θεωρούνται η σημαντικότερη ομάδα των απολιθωμάτων διότι είναι εξαιρετικά χρήσιμα στην χρονολόγηση και την παλαιοπεριβαλλοντική ανασυγκρότηση καθώς και στις βιομηχανίες πετρελαίου, στην εξορυκτική βιομηχανία, στη μηχανική και στην βιομηχανία του περιβάλλοντος και γενικότερα στην επιστήμη της Γεωλογίας.

Ειδικότερα, για την βιομηχανία του πετρελαίου, τα σημαντικότερα μικροαπολιθώματα είναι τα τρηματοφόρα.

Ένας από τους στόχους των μικροπαλαιοντολογικών μελετών είναι να αποκαλύψει το γεωλογικό ιστορικό της επιφάνειας της γης με έναν τρόπο που μπορεί να επιτευχθεί με αξιόπιστο, σε σχετικά γρήγορο χρόνο και ταυτόχρονα οικονομικά λογικό. Οι πετρελαϊκές εταιρείες, οι οποίες επενδύουν τεράστια σε αυτήν την επιχείρηση υψηλού κινδύνου πετρελαϊκής εξερεύνησης, έχουν αναμφισβήτητα κερδίσει πολλά από τις

μικροπαλαιοντολογικές μελέτες. Αυτό συμβαίνει λόγω της εύλογης ακρίβειας και της ταχύτητας με την οποία παρέχονται τα αποτελέσματα. Οι δύο πιο συνηθισμένες χρήσεις είναι: η βιοστρωματογραφία και οι παλαιοπεριβαλλοντικές αναλύσεις. Η βιοστρωματογραφία είναι η διαφοροποίηση των μονάδων με βάση τα απολιθώματα που περιέχουν. Η παλαιοπεριβαλλοντική ανάλυση είναι η ερμηνεία του περιβάλλοντος εναπόθεσης στο οποίο σχηματίστηκε η μονάδα βράχου, με βάση τα απολιθώματα που βρέθηκαν μέσα στη μονάδα. Υπάρχουν πολλές άλλες χρήσεις απολιθωμάτων εκτός από αυτά, όπως: παλαιοκλιματολογία, βιογεωγραφία και θερμική ωρίμανση.

### **1.3 ΟΜΑΔΕΣ ΜΙΚΡΟΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΩΝ**

Στο ακόλουθο υποκεφάλαιο θα γίνει αναφορά σε ορισμένες βασικές ομάδες μικροαπολιθωμάτων δίνοντας όμως ιδιαίτερη έμφαση στα τρηματοφόρα, μικροαπολιθώματα με ένα ιδιαίτερο και βασικό ρόλο στην εξερεύνηση των υδρογονανθράκων όπου και θα αναλυθεί σε παρακάτω κεφάλαια.

Τα μικροαπολιθώματα διακρίνονται σε διάφορα είδη ανάλογα με το που ανήκουν. Τα παλαιότερα γνωστά μικροαπολιθώματα διακρίνονται σε απολιθώματα που προέρχονται και ανήκουν σε προκαρυωτικούς οργανισμούς και σε αυτά που προέρχονται και ανήκουν σε ευκαρυωτικούς οργανισμούς. Τα μικροαπολιθώματα που ανήκουν σε προκαρυωτικούς οργανισμούς είναι τα κυανοβακτήρια τα οποία έχουν χαλαρά οργανωμένο DNA, κυριάρχησαν στον πλανήτη Γη πριν από 3,5-1,5 δισεκατομμύρια χρόνια, αποτελούν σημαντικά μικροαπολιθώματα για την εξέλιξη της βιόσφαιρας και ζουν μέχρι σήμερα σχηματίζοντας αποικίες, τους στρωματόλιθους.

Τα Πρώτιστα ή Πρωτόκτιστα , είναι ευκαρυωτικοί οργανισμοί, δηλαδή υπάρχει διαφοροποίηση κυτταρικού πυρήνα και DNA, είναι μονοκύτταροι ή πολυκύτταροι, εμφανίστηκαν πριν από 550 εκ. χρόνια και η μελέτη τους είναι άμεσα εξαρτημένη με την εξέλιξη του περιβάλλοντος της Γης και την γεωδυναμική εξέλιξή της στο γεωλογικό χρόνο.

Διάφορες ομάδες μικροαπολιθωμάτων ευκαρυωτικών οργανισμών είναι οι εξής:

- Τα τρηματοφόρα τα οποία είναι μονοκύτταροι οργανισμοί ευκαρυωτικοί οργανισμοί του ζωικού βασιλείου και κατασκευάζουν κελύφη με εξαιρετική λειτουργικότητα για την διαβίωσή τους. Διακρίνονται σε:
  - ✓ Μεγάλα Βενθονικά Τρηματοφόρα που ζουν πάνω ή κοντά στον πυθμένα αβαθών θαλασσών και στα
  - ✓ Ακτινόζωα και στα Πλαγκτονικά Τρηματοφόρα τα οποία κολυμπούν ελεύθερα και επιπλέουν στην επιφάνεια, βοηθώντας σε αυτό ο τρόπος κατασκευής του κελύφους τους.

Το κέλυφος και των τριών αυτών κατηγοριών δίνει πληροφορίες για το περιβάλλον που ζουν καθώς και για το παλαιοπεριβάλλον απόθεσης των πετρωμάτων στα οποία βρίσκονται.

- Το ασβεστολιθικό ναννοπλαγκτόν και τα διάτομα τα οποία είναι φυτικής προέλευσης μικροαπολιθώματα.

- Τα μικρά γαστερόποδα, τα δίθυρα, τα βρυόζωα, τα κοιλεντερόδοντα, τα κοράλλια και τα εχυνόδερμα τα οποία είναι κατηγορίες μικροαπολιθωμάτων που εντοπίζονται είτε ολόκληρα είτε ως θραύσματα και χρειάζονται μικροσκοπική μελέτη ώστε να υπάρξει ακριβής προσδιορισμός και συστηματική ταξινόμηση αυτών. Παραδείγματα αποτελούν:
  - ✓ Οι ρουδιστές που είναι δίθυρα μεγάλου μεγέθους και κατά το Ανώτερο Κρητιδικό σχηματίζουν υφάλους καθώς επίσης και θραύσματα αυτών μεταφερμένα εντοπίζονται σε βαθύτερα ιζημάτα και μπορούν να δώσουν χρήσιμες πληροφορίες για την παλαιογεωγραφική θέση απόθεσης και χρονολόγηση των ιζημάτων διότι αναγνωρίζονται εύκολα λόγω της χαρακτηριστικής τους δομής.
  - ✓ Άλλο παράδειγμα διθύρων αποτελούν τα οστρακώδη. Τα οστρακώδη βοηθούν στη χρονολόγηση και την βιοστρωματογραφία αλλά αποτελούν επίσης και πολύτιμους περιβαλλοντικούς δείκτες.
- Τα κωνόδοντα είναι μικροαπολιθώματα τα οποία χρησιμεύουν στην χρονολόγηση των διαφόρων ιζημάτων στα οποία εντοπίζονται καθώς και στη βιοστρωματογραφία. Τα κωνόδοντα που χρονολογούνται κατά το Παλαιοζωικό και το Τριαδικό χρησιμοποιούνται κυρίως στην έρευνα πετρελαίων.

Η ανάλυση των παραπάνω μικροαπολιθωμάτων γίνεται παρακάτω.

### **1.3.1 ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ**

Τα τρηματοφόρα είναι μονοκύτταροι οργανισμοί οι οποίοι παρουσιάζουν μια απίστευτη ποικιλία διαφορετικών σχημάτων και αποτελούν μια από τις σπουδαιότερες ομάδες μικροαπολιθωμάτων εξαιτίας της μεγάλης ποικιλίας και αφθονίας των αντιπροσώπων της τόσο των σύγχρονων όσο και των παλαιότερων. Τα τρηματοφόρα απαντούν σε περιβάλλοντα ιζηματογενή. Αποτελούν βασικά εργαλεία μελέτης και είναι εξαιρετικά χρήσιμα στις μελέτες των σύγχρονων θαλάσσιων περιβαλλόντων, βρίσκουν εφαρμογές στην μελέτη της παλαιοικολογίας και της βιοστρωματογραφίας αλλά και για την εύρεση υδρογονανθράκων. Επιπροσθέτως, τα κελύφη τους δομούνται από ασβέστιο καθιστώντας τα ανθεκτικά στην διάρκεια του γεωλογικού χρόνου καθώς επίσης χρησιμεύουν για ισοτοπικές αναλύσεις με σκοπό τον προσδιορισμό κλιματικών διακυμάνσεων στις θαλάσσιες περιοχές κατά τη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου. Αρχικά χωρίζονται σε 2 κατηγορίες, σε πλαγκτονικά και βενθονικά τρηματοφόρα με και με ένα μέγεθος που κυμαίνεται από <math><0,2</math> χιλιοστά έως αρκετά εκατοστά με την πλειοψηφία αυτών να έχουν μικρές τιμές μεγέθους γύρω στα 0,4 χιλιοστά. Υπάρχουν περίπου 4.000 είδη τρηματοφόρων που ζουν σήμερα στους ωκεανούς, με τα 40 είδη εξ' αυτών να είναι πλαγκτονικά. Τα τρηματοφόρα συναντώνται σε όλα τα θαλάσσια περιβάλλοντα, από την παλιρροιακή ζώνη μέχρι τις βαθύτερες ωκεάνιες τάφρους, και από τις τροπικές περιοχές μέχρι και τους πόλους.

#### **▪ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ**

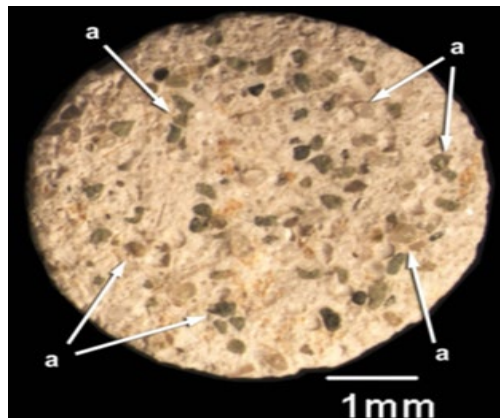
Τα τρηματοφόρα (foraminifera) είναι μονοκύτταροι ευκαρυωτικοί, αποτελούν τη συνομοταξία Foraminifera οι οποίοι και χαρακτηρίζονται από ένα δίκτυο ψευδοποδίων με τα οποία κινούνται, συλλαμβάνουν την τροφή τους ή στερεώνονται στο υπόβαθρο. Έχουν έναν ετεροφασικό κύκλο ζωής και στις περισσότερες περιπτώσεις φέρουν

κέλυφος που συνίσταται κυρίως από ανθρακικό ασβέστιο (CaCO<sub>3</sub>) και καλύπτει το πρωτόπλασμα του οργανισμού. Των περισσότερων τρηματοφόρων τα κελύφη έχουν μέγιστη διάμετρο 100-500 μm. Ωστόσο τα μεγαλύτερα μεγέθους βενθονικά τρηματοφόρα χαρακτηρίζονται από διάμετρο έως και 20cm και πολύπλοκη εσωτερική κατασκευή. Τα τρηματοφόρα γενικά ζουν σε όλα τα θαλάσσια οικοσυστήματα, ενώ ορισμένα είδη τους και σε υφάλμυρα. Ανάλογα με τον τρόπο ζωής τους χωρίζονται σε βενθονικά και πλαγκτονικά τρηματοφόρα. Λαμβάνουν σημαντικό ρόλο στους βιογεωχημικούς κύκλους του άνθρακα και του ασβεστίου των ωκεάνιων συστημάτων και μαζί με τα κοκκολιθοφόρα θεωρούνται ως οι κύριες ομάδες της βιογενούς ανθρακικής ιζηματογένεσης. Η συνολική συνεισφορά των βενθονικών και πλαγκτονικών τρηματοφόρων στην απόθεση ανθρακικού ασβεστίου είναι γύρω στα 1,4 δισεκατομμύρια τόνους το χρόνο, περίπου δηλαδή το 25% της συνολικής παραγωγής πελαγικών ανθρακικών ιζημάτων.

#### ▪ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ

Η ταξινόμηση των απολιθωμένων τρηματοφόρων αλλά τόσο και των σύγχρονων ειδών βασίζεται στην μορφολογία που διαθέτουν και πιο γενικά στα χαρακτηριστικά που αναγνωρίζονται στα κελύφη τους. Γενικότερα, με την πάροδο των χρόνων υπήρχε μια ποικιλία απόψεων σχετικά με τον τρόπο ταξινόμησής λαμβάνοντας υπόψη διάφορα κριτήρια με σημαντικά πλέον όμως να αποτελούν, η φύση του κελύφους, η δομή, την λεπτομέρεια της δομής και πολύ λιγότερο η συναρμογή των θαλάμων καθώς και τον αριθμό και τις θέσεις του στοματικού ανοίγματος. Σχετικά με την φύση του τοιχώματος του κελύφους, αυτή μπορεί να διακριθεί σε :

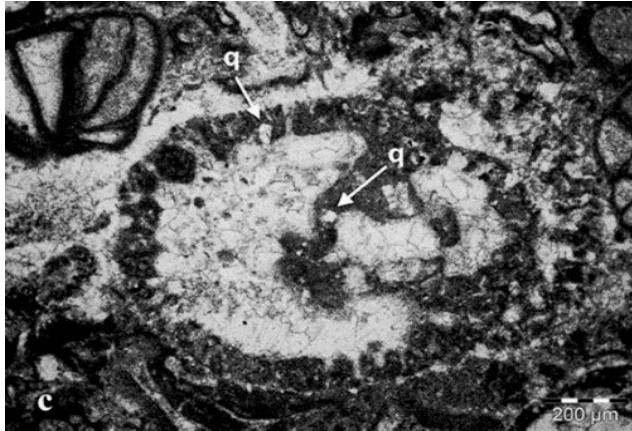
- Χιτηνώδη: το τοίχωμα που έχει είναι μεμβρανώδης φύσεως ενώ μπορεί επιπλέον να φέρει μια σιδηρούχα επένδυση.
- Πυριτική: Τοίχωμα πυριτικής σύστασης το οποίο αποτελείται κυρίως από οπάλιο
- Συμφυρματοπαγή : Ο σχηματισμός αυτού του τοιχώματος οφείλεται στην συλλογή συμφυρμάτων, διαφόρων τύπων, τα οποία και συγκολλώνται με συνδετικό υλικό.



-Εικόνα 1.1: Συμφυρματοπαγές κέλυφος Orbitolina σε στερεοσκόπιο. Πηγή: « Η Μικροπαλαιοντολογία και οι Εφαρμογές της ( Ο Κόσμος της Πέτρας) », Αλεξάνδρα Ζαμπετάκη - Λέκκα, Χαρίκλεια Ντρίνια, Ασημίνα Αντωνοράκου, Θεοδώρα Τσούρου, AgatadiStefano, NiccoloBaldassini

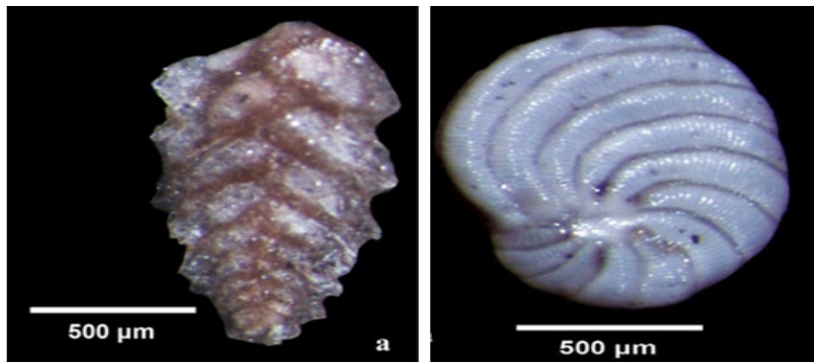
➤ Ασβεστολιθική: Το τοίχωμα εκκρίνεται από το εκτόπλασμα και είναι ασβεστολιθικής ή πιο σπάνια αραγωνιτικής σύστασης. Ανάλογα με τη δομή των κρυστάλλων του ασβεστίτη, τα κελύφη διακρίνονται σε:

1) Πορσελανώδη: Οι κρύσταλλοι ασβεστίου είναι μικροί και έχουν τυχαίο προσανατολισμό, με πορσελανώδη εμφάνιση.



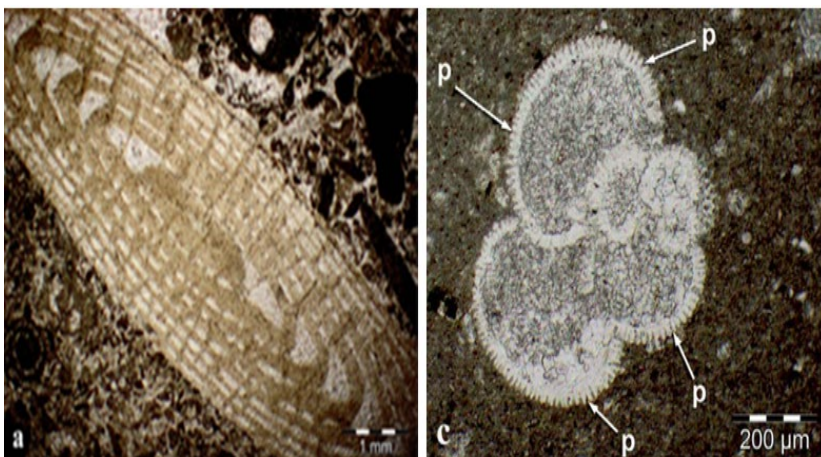
-Εικόνα 1.2: Κελύφη ναλωδών τρηματοφόρων Bolivina (αριστερά) και Peneroplis (δεξιά). Πηγή: « Η Μικροπαλαιοντολογία και οι Εφαρμογές της (ο μικρόκοσμος της πέτρας) », Αλεξάνδρα Ζαμπετάκη - Λέκκα, Χαρίκλεια Ντρίνια, Ασημίνα Αντωνάρακου, Θεοδώρα Τσούρου, AgatidiStefano, NiccoloBaldassini.

2) Μικροκοκκώδη ή κυβελώδη: μικροκοκκώδεις μορφές με τοιχώματα που αποτελούνται από εσοδιάστατους υποσφαιρικούς κόκκους κρυσταλλικού ασβεστίου.



-Εικόνα 1.3: Κόκκοι χαλαζία (q) ως συμφύσματα στο εσωτερικό του τοιχώματος του κελύφους Pseudocyclammmina. Πηγή: « Η Μικροπαλαιοντολογία και οι Εφαρμογές της (ο μικρόκοσμος της πέτρας) », Αλεξάνδρα Ζαμπετάκη - Λέκκα, Χαρίκλεια Ντρίνια, Ασημίνα Αντωνάρακου, Θεοδώρα Τσούρου, AgatidiStefano, NiccoloBaldassini.

3) Υαλώδη: Οι κρύσταλλοι του ασβεστίτη είτε είναι ευμεγέθεις είτε μικροί.



-Εικόνα 1.4: Φωτογραφίες τρηματοφόρων, από μικροσκόπιο διερχόμενου φωτός, με ναλώδες κέλυφος, σε λεπτοτομή ασβεστολίθου, α) Nummulites, c) Globigerina, με λεπτό ναλώδες τοίχωμα και πολλούς πόρους (p). Πηγή: « Η Μικροπαλαιοντολογία και οι Εφαρμογές της (ο μικρόκοσμος της πέτρας) », Αλεξάνδρα Ζαμπετάκη - Λέκκα, Χαρίκλεια Ντρίνια, Ασημίνα Αντωνάρακου, Θεοδώρα Τσούρου, AgatidiStefano, NiccoloBaldassini.

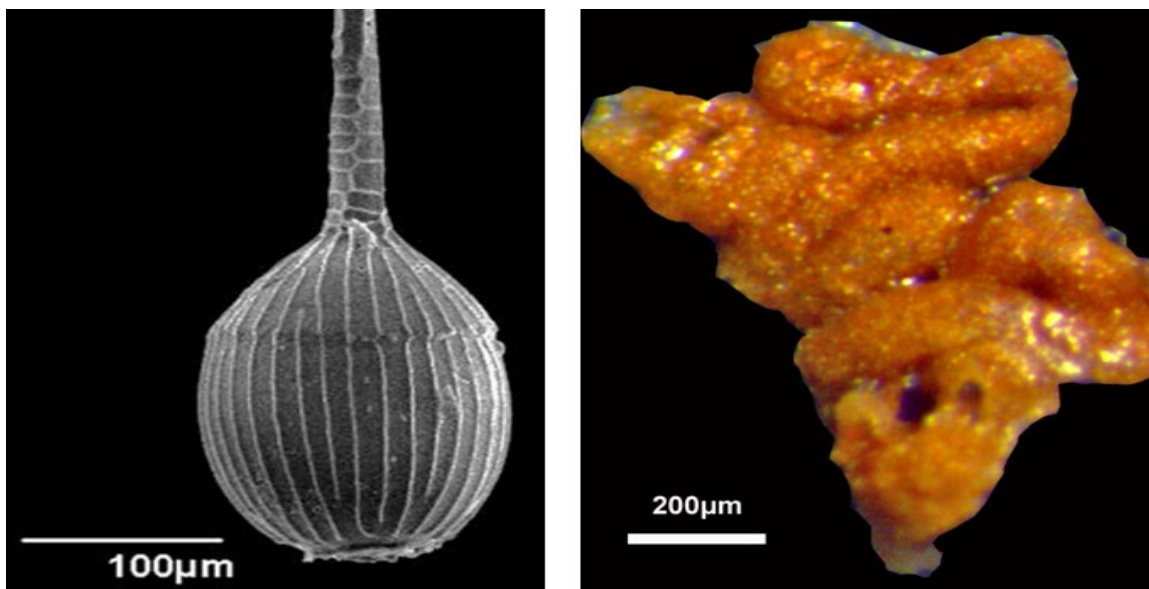


## ➤ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΕ ΤΟΜΗ

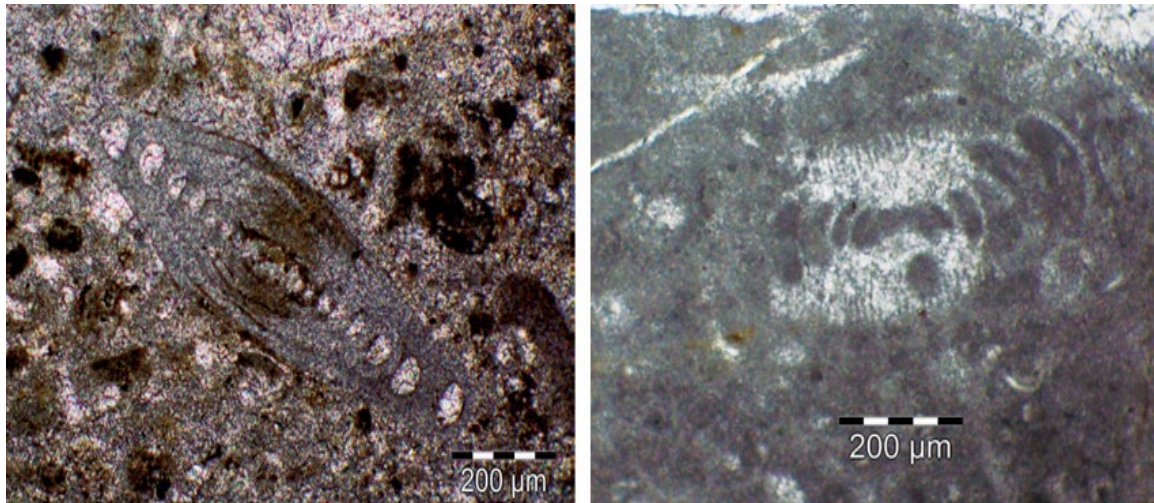
### 1) ΣΥΝΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΛΑΜΩΝ

Τα κελύφη των τρηματοφόρων διακρίνονται σε μονοθαλάμια και σε πολυθαλάμια. Αρχικά τα **Μονοθαλάμια** κελύφη είναι αυτά στα οποία ο εμβρυακός θάλαμος του τρηματοφόρου ακολουθείται από έναν είτε κυλινδρικού σχήματος θάλαμο, είτε σφαιρικού ο οποίος μπορεί να φέρει μια ποικιλία σχημάτων (ευθυτενής ή και με διακλαδώσεις, περιελισσόμενο κ.α). Ένα χαρακτηριστικό που φέρουν τα μονοθαλάμια κελύφη των τρηματοφόρων και μπορεί να εντοπιστεί μόνο μέσω συγκεκριμένων προσανατολισμένων τομών ή με την βοήθεια «ακτινογραφιών», είναι η απουσία διαφραγμάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα εσωτερικά να μην διαχωρίζονται σε περεταιίρω θάλαμους. Στην συνέχεια τα **Πολυθάλαμια** κελύφη, σε σχέση με τα μονοθαλάμια, αποτελούν την πλειονότητα στα τρηματοφόρα σχηματίζοντας πλήθος θαλάμων εσωτερικά των κελυφών τους, χωριζόμενα από διαφράγματα (septum).

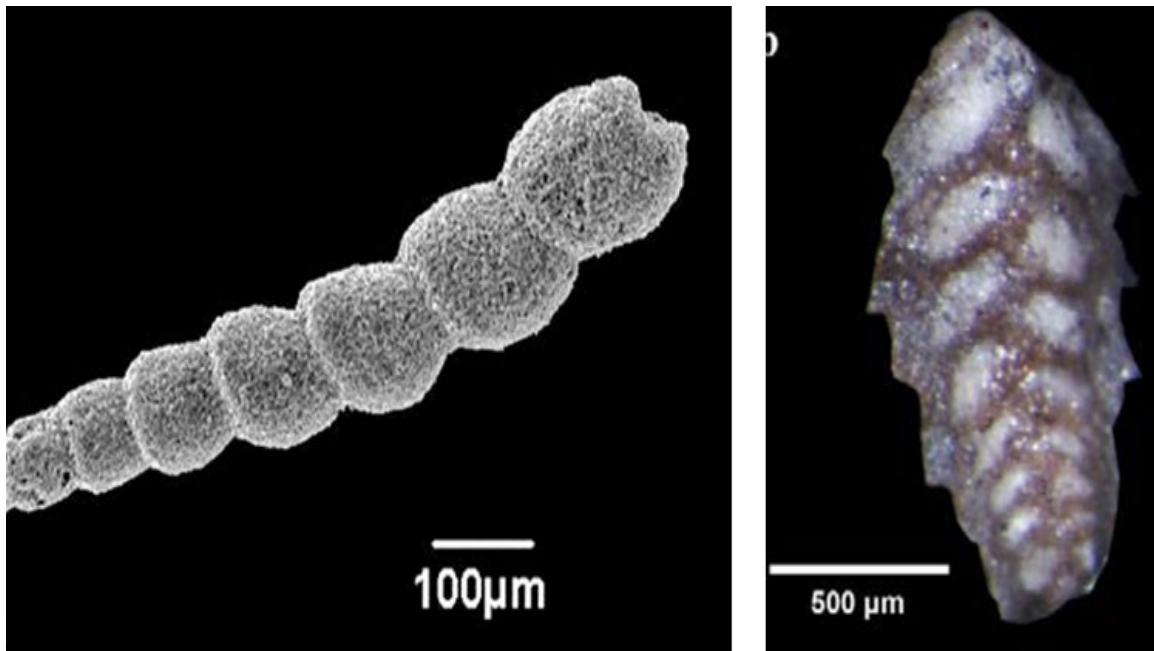
Σχετικά με την συναρμογή των θαλάμων, υπάρχουν διακρίσεις ανάμεσα στα τρηματοφόρα, καθώς κάθε τρηματοφόρο φέρει μια χαρακτηριστική συναρμογή, επομένως ανάλογα με την συναρμογή τους διακρίνονται σε Ευθυτενή και σε Περιελιγμένα. Την πρώτη κατηγορία απαρτίζουν τα έξι είδη κελυφών, με πρώτο τα **Μονόσειρα** (uniserial), στην οποία έχουμε την τοποθέτηση των θαλάμων με τον έναν πάνω στον άλλον, ακολουθώντας βέβαια μια συγκεκριμένη σειρά. Δεύτερο είδος αποτελούν τα **Δίσειρα** (biserial) στην οποία οι θάλαμοι έχουν συνεχείς εναλλαγές μεταξύ τους. Τέλος έχουμε τα **Τρίσειρα** (triserial) και τα **Πολύσειρα** (multiserial) όπου στην πρώτη περίπτωση οι θάλαμοι (υπό γωνία 120°) τοποθετούνται ανά 3<sup>οις</sup> σε κάθε στάδιο ανάπτυξης.



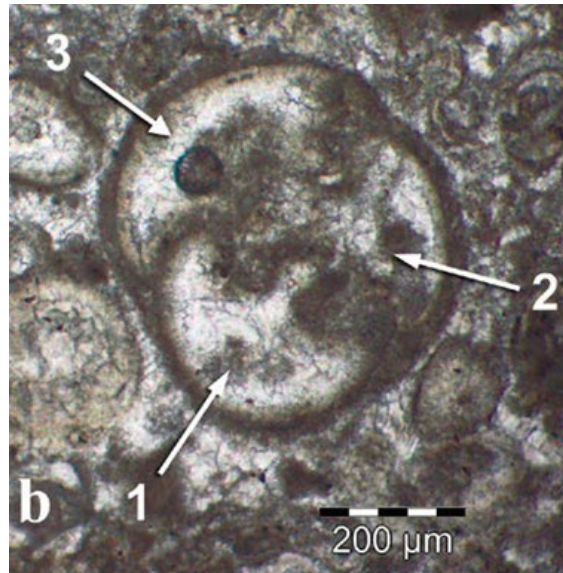
-Εικόνα 1.5: Μονοθαλάμια κελύφη: λαγνοειδούς σχήματος (αριστερά), περιελισσόμενο ακανόνιστο σε πολλά επίπεδα (δεξιά). Πηγή: «Η Μικροπαλαιοντολογία και οι Εφαρμογές της (ο μικρόκοσμος της πέτρας)», Αλεξάνδρα Ζαμπετάκη - Λέκκα, Χαρίκλεια Ντρίνια, Ασημίνα Αντωναράκου, Θεοδώρα Τσουρού, Agata di Stefano, Niccolo Baldassini.



-Εικόνα 1.6: Φωτογραφίες μικροσκοπίου διερχόμενου φωτός ασβεστολίθων με τομές μονοθάλαμων **επιπεδοσπειροειδών** τρηματοφόρων. Και οι δύο αποτελούν αξονικές τομές. Πηγή: « Η Μικροπαλαιοντολογία και οι Εφαρμογές της (ο μικρόκοσμος της πέτρας) », Αλεξάνδρα Ζαμπετάκη-Λέκκα, Χαρίκλεια Ντρίνια, Ασημίνα Αντωνάρακου , Θεοδώρα Τσουρού, AgatadiStefano, NiccoloBaldassini.

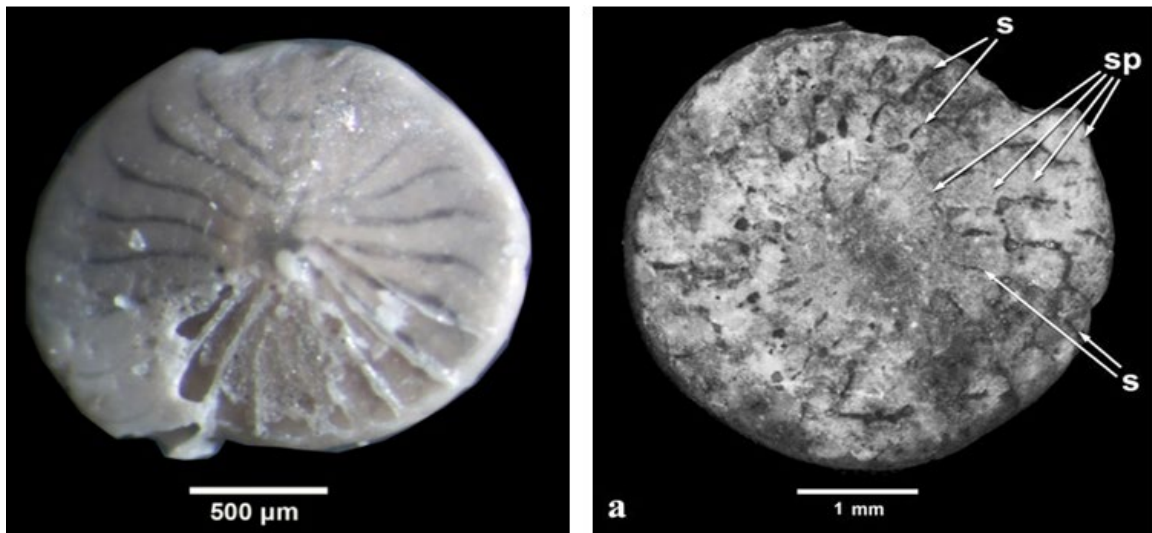


-Εικόνα 1.7: Ευθυτενές κέλυφος με μονόσειρη συναρμογή θαλάμων (αριστερά),δίσειρη συναρμογή θαλάμων (δεξιά). Πηγή:«Η Μικροπαλαιοντολογία και οι Εφαρμογές της (ο μικρόκοσμος της πέτρας)», Αλεξάνδρα Ζαμπετάκη-Λέκκα, Χαρίκλεια Ντρίνια, Ασημίνα Αντωνάρακου , Θεοδώρα Τσουρού, AgatadiStefano, NiccoloBaldassini.



-Εικόνα 1.8: Απεικόνιση Τρίσειρου τρηματοφόρου σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM). Πηγή: « Η Μικροπαλαιοντολογία και οι Εφαρμογές της ( ο μικρόκοσμος της πέτρας) », Αλεξάνδρα Ζαμπετάκη - Λέκκα, Χαρίκλεια Ντρίνια, Ασημίνα Αντωνάρακου, Θεοδώρα Τσούρου, AgatadiStefano, NiccoloBaldassini.

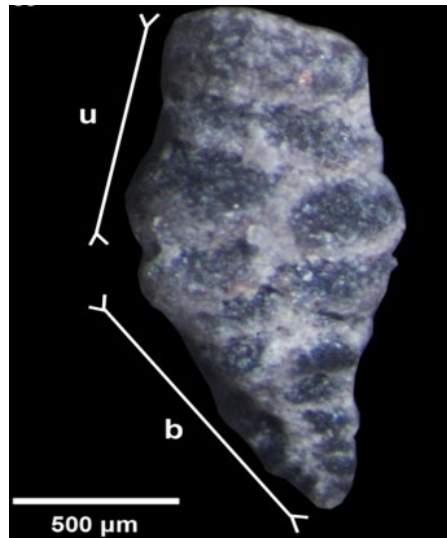
Όσον αναφορά τα περιελιγμένα κελύφη, ονομάζονται εκείνα των οποίων οι θάλαμοι τους βρίσκονται ο ένας δίπλα στον άλλον και περιελίσσονται άλλοτε γύρω από έναν άξονα σε ένα επίπεδο (**επιπεδοσπειροειδώς**) ή σε πολλά (**τροχοσπειροειδώς**) και άλλοτε από πολλούς άξονες των οποίων τα επίπεδα δημιουργούν μια συγκεκριμένη γωνία.



-Εικόνα 1.9: Τρηματοφόρο «Assilina» , επιπεδοσπειροειδές, ανειλιγμένο, φακοειδούς σχήματος. Ολόκληρο κέλυφος όπου διακρίνονται όλες οι περιελίξεις (sp) και οι γραμμές ραφών (s), οι οποίες δεν φθάνουν στην ομφαλική περιοχή (δεξιά). Τρηματοφόρο «Nummulites» ,εξωτερική όψη περιελιγμένου επιπεδοσπειροειδούς, ενελιγμένου κελύφους, φακοειδές κέλυφος (αριστερά). Πηγή: « Η Μικροπαλαιοντολογία και οι Εφαρμογές της (ο μικρόκοσμος της πέτρας) », Αλεξάνδρα Ζαμπετάκη-Λέκκα, Χαρίκλεια Ντρίνια, Ασημίνα Αντωνάρακου , Θεοδώρα Τσούρου, Agata di Stefano, Niccolo Baldassini.



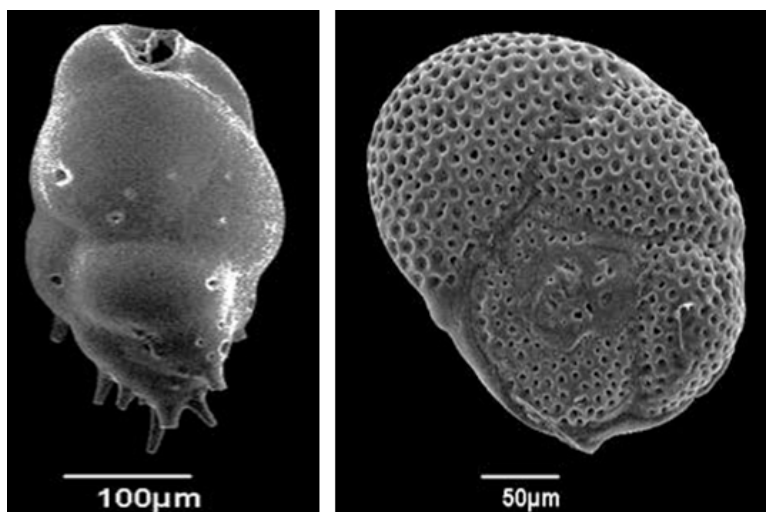
Επιπλέον να γίνει αναφορά στο γεγονός ότι μπορεί να προκύψει τα τρηματοφόρα να εμφανίζουν 2 ή παραπάνω τρόπους συναρμογής θαλάμων, αυτών δηλαδή που ήδη προαναφέρθηκαν. Αυτός ο τύπος συναρμογής καλείται μεικτή συναρμογή και είναι δυνατόν τα τρηματοφόρα να παρουσιάζουν αρχικά **Δίσειρα** κελύφη και στην συνέχεια **Μονόσειρα**.



-Εικόνα 1.10: «Climacammia». Κέλυφος Δίσειρο αρχικά (b), που στη συνέχεια γίνεται Μονόσειρο (u).  
Πηγή: « Η Μικροπαλαιοντολογία και οι Εφαρμογές της (ο μικρόκοσμος της πέτρας) », Αλεξάνδρα Ζαμπετάκη - Λέκκα, Χαρίκλεια Ντρίνια, Ασημίνα Αντωνάρακου , Θεοδώρα Τσουρού, Agata di Stefano, Niccolo Baldassini.

## 2) ΠΟΙΚΙΛΣΕΙΣ

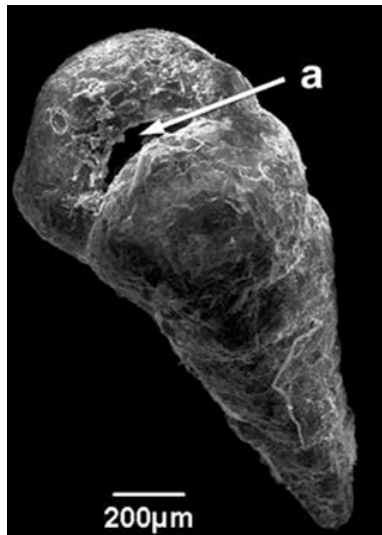
Με τον όρο ποικίλσεις ουσιαστικά αναφερόμαστε σε τυχόν φέρουσες ράχεις, άκανθες, γραμμώσεις, ρόδακες και κομβία κ.α., πάνω στις επιφάνειες των τρηματοφόρων.



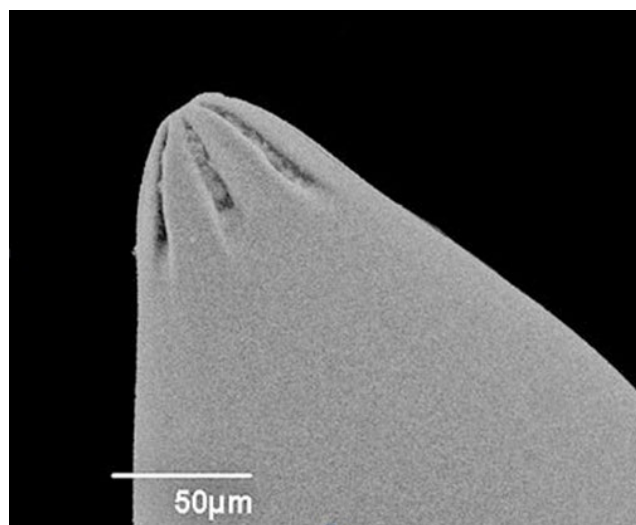
-Εικόνα 1.11: Τρηματοφόρο με ανάγλυφο δίκτυο στην επιφάνεια (δεξιά). Τρηματοφόρο με άκανθες, ολόκληρο κέλυφος (αριστερά). Πηγή: « Η Μικροπαλαιοντολογία και οι Εφαρμογές της (ο μικρόκοσμος της πέτρας) », Αλεξάνδρα Ζαμπετάκη - Λέκκα, Χαρίκλεια Ντρίνια, Ασημίνα Αντωνάρακου , Θεοδώρα Τσουρού, AgatadiStefano, NiccoloBaldassini.

### 3) ΣΤΟΜΑΤΙΚΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ

Η ύπαρξη του **στοματικού ανοίγματος** στα τρηματοφόρα έχει τον ρόλο του δέκτη που λαμβάνει ερεθίσματα και επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον. Η επιφάνεια πάνω στην οποία εδράζει το στοματικό άνοιγμα καλείται «μετωπική επιφάνεια», ενώ αναφορικά με το σχήμα που μπορεί να λάβει, το συναντάμε ως στρογγυλή οπή ή σχισμή, ακόμα μπορεί να είναι ακτινωτό ή δενδροειδές. Σχετικά με την θέση που λαμβάνει στον χώρο, δεν είναι απαραίτητο να είναι σταθερή καθώς μπορεί να βρεθεί είτε στην άκρη είτε στην βάση του τελευταίου θαλάμου. Ενώ πρέπει να τονιστεί, ότι μπορεί να επέλθει μεταβολή θέσης και μορφής του **στοματικού ανοίγματος** κατά την οντογένεση.



-Εικόνα 1.12: Απεικονίζεται Στοματικό άνοιγμα (σχισμή a) στη βάση του τελευταίου θαλάμου, στο Δίσειρο τρηματοφόρο «Textularia». Πηγή: « Η Μικροπαλαιοντολογία και οι Εφαρμογές της (ο μικρόκοσμος της πέτρας) », Αλεξάνδρα Ζαμπετάκη - Λέκκα, Χαρίκλεια Ντρίνια, Ασημίνα Αντωνάρικου , Θεοδώρα Τσουρού, AgatadiStefano, NiccoloBaldassini.



-Εικόνα 1.13: Απεικόνιση Ακτινωτού Στοματικού Ανοίγματος. Πηγή: « Η Μικροπαλαιοντολογία και οι Εφαρμογές της (ο μικρόκοσμος της πέτρας) », Αλεξάνδρα Ζαμπετάκη - Λέκκα, Χαρίκλεια Ντρίνια, Ασημίνα Αντωνάρικου , Θεοδώρα Τσουρού, AgatadiStefano, NiccoloBaldassini.

### 1.3.2 ΔΙΑΤΟΜΑ (DIATOMS)

Τα διάτομα είναι μια μεγάλη ομάδα αλγών, πιο ειδικά φυτοπλαγκτονικών οργανισμών, που βρέθηκαν στους ωκεανούς, τις υδάτινες οδούς και τα εδάφη του κόσμου. Τα διάτομα μετρούν στα τρισεκατομμύρια πάνω στην Γη παράγοντας έτσι περίπου το 20 τοις εκατό του οξυγόνου που παράγεται στον πλανήτη κάθε χρόνο, λαμβάνουν πάνω από 6,7 δισεκατομμύρια τόνους πυριτίου ετησίως από τα ύδατα στα οποία ζουν και συμβάλλουν σχεδόν στο ήμισυ του οργανικού υλικού που βρίσκεται στους ωκεανούς. Τα κοχύλια των νεκρών διατόμων μπορούν να φτάσουν μέχρι και μισό μίλι βαθιά στον ωκεάνιο πυθμένα και σε ολόκληρη τη λεκάνη του Αμαζονίου που λιπαίνεται ετησίως με πάνω από 27 εκατομμύρια τόνους σκόνης κελύφους διατόμων που μεταφέρονται από τους ανατολικούς προς τα δυτικά (υπερυψωμένα) υπερατλαντικούς ανέμους από την κοίτη μιας αποξηραμένης λίμνης που κάποτε κάλυπτε μεγάλο μέρος της Αφρικανικής Σαχάρας.

Τα διάτομα είναι μονοκύτταρα και εμφανίζονται είτε ως μοναχικά κύτταρα είτε σε αποικίες, όπου μπορούν να πάρουν τη μορφή «κορδελών», «ζιγκ-ζαγκ» ή αστεριών. Τα επιμέρους κύτταρα κυμαίνονται σε μέγεθος από 2 έως 200 μικρόμετρα. Με την παρουσία επαρκών θρεπτικών ουσιών και ηλιακού φωτός, μια συνάθροιση ζωντανών διατόμων διπλασιάζεται περίπου κάθε 24 ώρες με πολλαπλές διχοτομήσεις με την μέγιστη διάρκεια ζωής μεμονωμένων κυττάρων είναι περίπου έξι ημέρες. Τα διάτομα έχουν δύο διαφορετικά σχήματα: μερικά (κεντρικά διάτομα) είναι ακτινικά συμμετρικά, ενώ τα περισσότερα (πτερωτά διάτομα) είναι σε διμερές επίπεδο συμμετρικά. Ένα μοναδικό χαρακτηριστικό της ανατομίας του διατόμου είναι ότι περιβάλλεται από ένα κυτταρικό τοίχωμα από πυρίτιο(ενυδατωμένο διοξείδιο του πυριτίου), το οποίο ονομάζεται "Frustule". Αυτά τα "Frustule" έχουν δομικό χρωματισμό λόγω της φωτονικής ανοδομής τους, προτρέποντας τους επιστήμονες να τα περιγράφουν ως "κοσμήματα της θάλασσας" και "Living opals". Η κίνηση των διατόμων εμφανίζεται κυρίως παθητικά ως αποτέλεσμα τόσο των ρευμάτων του νερού όσο και των ρευμάτων που προκαλούνται από τον αέρα. Ωστόσο, οι αρσενικοί γαμέτες με κεντρικές διατομές έχουν μαστίγια, επιτρέποντας την ενεργό μετακίνηση για αναζήτηση θηλυκών γαμετών. Παρόμοια με τα φυτά, τα διάτομα μετατρέπουν την φωτεινή ενέργεια σε χημική ενέργεια με τη φωτοσύνθεση, αν και αυτή η κοινή αυτοτροφία εξελίχθηκε ανεξάρτητα και στις δύο γενεές.

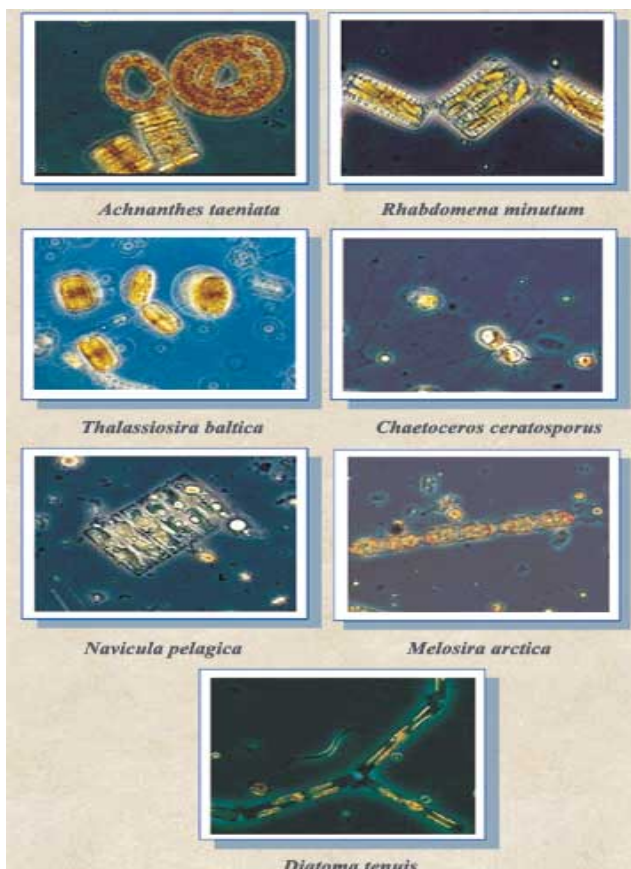
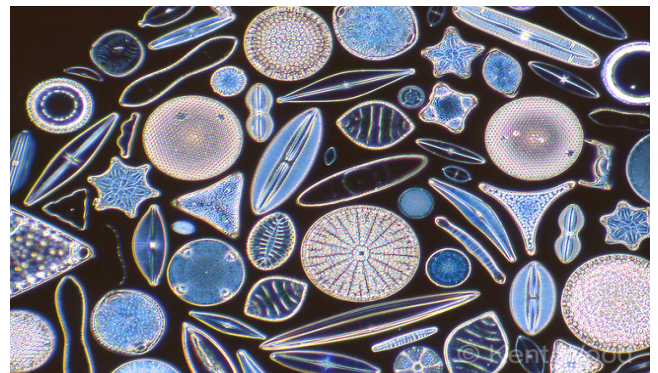
#### ▪ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΤΟΜΩΝ

Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα μυστήρια των διατόμων είναι η μορφογένεση του πιο εμφανούς χαρακτηριστικού τους, του κυτταρικού τοιχώματος του πυριτίου. Τα σχήματα και τα μεγέθη αυτών των μικροσκοπικά μικρών τοιχωμάτων ποικίλουν σημαντικά. Στα κεντρικάδιάτομα είναι ακτινικά συμμετρικά, ενώ στα «πτερωτά» διάτομα έχουν διμερή συμμετρία. Εντούτοις, σε όλες τις περιπτώσεις, το τοίχωμα αποτελείται από δύο μισά, τα οποία ταιριάζουν μαζί και έχουν δαντελωτές μορφές πόρων που έχουν μέγεθος νανομέτρου. Η έρευνα για τα βιομόρια που καθορίζουν αυτά τα μοτίβα αποδείχθηκε εξαιρετικά δύσκολη.

Τα διάτομα χωρίζονται σε δύο ομάδες που διακρίνονται από το σχήμα του κελύφους: τα κεντρικά διάτομα και τα «πτερωτά» διάτομα.

- Τα «πτερωτά» διάτομα είναι αμφίπλευρα συμμετρικά. Κάθε μία από τις βαλβίδες τους έχει ανοίγματα τα οποία είναι σχισμές κατά μήκος των ραβδώσεων και τα κελύφη τους τυπικά είναι επιμήκεις παράλληλα με αυτές τις ραβδώσεις. Παράγουν κυτταρική κίνηση μέσω του κυτταροπλάσματος που ρέει κατά μήκος των ραβδώσεων, κινούμενα πάντα κατά μήκος στερεών επιφανειών.
- Στα κεντρικά διάτομα είναι ακτινικά συμμετρικές. Αποτελούνται από ανώτερες και κατώτερες βαλβίδες . Το κυτταρόπλασμα του κεντρικού διατόμου βρίσκεται κατά μήκος της εσωτερικής επιφάνειας του κελύφους και παρέχει μια κοίλη επένδυση γύρω από το μεγάλο κυτταρικό κενό που βρίσκεται στο κέντρο του κυττάρου. Αυτό το μεγάλο, κεντρικό κυτταρικό κενό γεμίζει με ένα ρευστό γνωστό ως "κυτταρικός χυμός" το οποίο είναι παρόμοιο με το θαλασσινό νερό αλλά ποικίλλει ανάλογα με την ειδική περιεκτικότητα σε ιόντα. Το κυτταροπλασματικό στρώμα φιλοξενεί διάφορα οργανίδια, όπως οι χλωροπλάστες και τα μιτοχόνδρια. Πριν αρχίσει να διαστέλλεται το κεντρικό διάτομο, ο πυρήνας του βρίσκεται στο κέντρο μιας από τις βαλβίδες και αρχίζει να κινείται προς το κέντρο του κυτταροπλασματικού στρώματος πριν ολοκληρωθεί η διαίρεση. Οι κεντρικές διατομές έχουν ποικίλα σχήματα και μεγέθη, ανάλογα με τον άξονα που εκτείνεται από το κέλυφος και αν υπάρχουν σπονδυλικές στήλες.

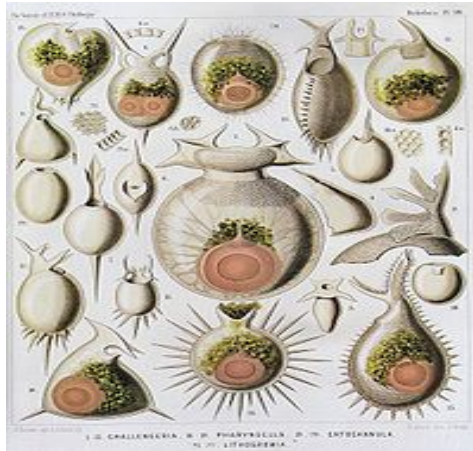
-Εικόνα 1.14: Απεικονίζονται διάτομα από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο με φωτισμό σκοτεινού πεδίου. Πηγή: «Γεωδίφης»



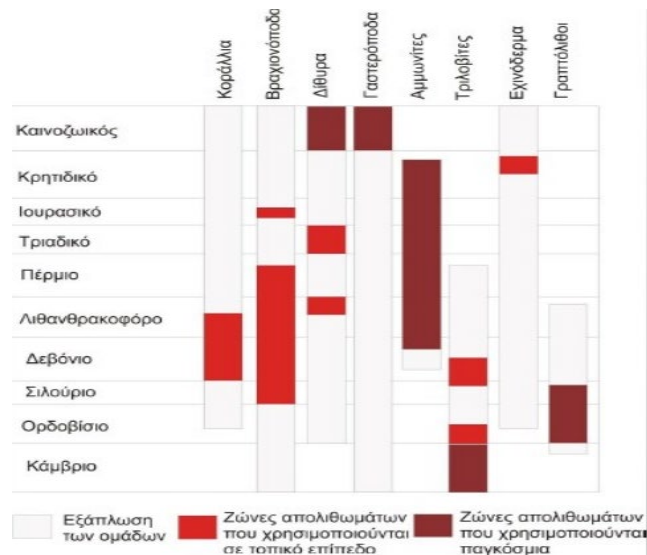
-Εικόνα 1.15: Απεικόνιση διαφόρων ειδών διατόμων. Πηγή: «Εργαστηριακές Ασκήσεις με Μικροσκόπιο. Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Καστοριάς»

### 1.3.3 ΑΚΤΙΝΟΖΩΑ (RADIOLARIA)

Τα Ακτινόζωα, που αποτελούν την συνομοταξία Radiozoa, είναι πρωτόζωα διαμέτρου 0,1-0,2 mm που παράγουν περίπλοκους μεταλλικούς σκελετούς, τυπικά με κεντρική κάψουλα που διαιρεί το κύτταρο στο εσωτερικό και εξωτερικό τμήμα του ενδοπλάσματος και του εκτοπλάσματος. Ο επεξεργασμένος ανόργανος σκελετός κατασκευάζεται συνήθως από διοξείδιο του πυριτίου. Βρίσκονται ως ζωοπλαγκτόν σε ολόκληρο τον ωκεανό και τα σκελετικά τους υπολείμματα αποτελούν ένα μεγάλο μέρος του καλύμματος του ωκεάνιου δαπέδου ως πυριτικό άλας. Λόγω της ταχείας μετατροπής των ειδών, αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό διαγνωστικό απολίθωμα που βρέθηκε από το Κάμβριο και μετά. Μερικά κοινά απολιθώματα ραδιολαρίων περιλαμβάνουν το Actinomma, το Heliosphaera και το Hexadoridium.



-Εικόνα 1.16: Απεικόνιση ακτινόζων από την αποστολή Τσάλεντζερ (1873-1876). Πηγή: «Wikipedia».



-Εικόνα 1.17: Απεικόνιση βιοζωνών ταξινομικών ομάδων. Πηγή: «StuDocu.com».



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

## ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

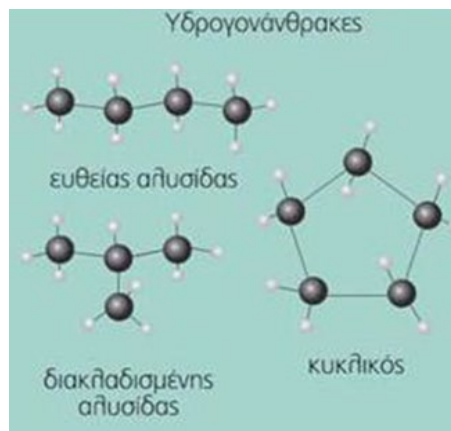
Οι υδρογονάνθρακες αποτελούν μια μεγάλη ομάδα ενώσεων που όπως αναφέρει και η ίδια η λέξη περιέχουν άτομα άνθρακα (C) και υδρογόνου (H) και έχουν γενικό χημικό τύπο  $C_xH_y$ . Αποτελούν «υδρόφοβες» ενώσεις και λόγω του μεγάλου πλήθους που παρουσιάζουν το οποίο ξεπερνά τα 7 εκατομμύρια κρίνεται σημαντική η μελέτη τους με την μικρότερη ένωση υδρογονάνθρακα να είναι το μεθάνιο ( $CH_4$ ) το οποίο αποτελείται από ένα άτομο άνθρακα και τέσσερα άτομα υδρογόνου όπου το κάθε άτομο H ενώνεται με έναν απλό δεσμό στο άτομο του C. Φέρουν μια μεγάλη «γκάμα» εφαρμογών από διαλυτικά, εντομοαπωθητικά και παραγωγή πολυμερών και άλλων πετροχημικών, με το κύριο πεδίο εφαρμογής τους να είναι η παραγωγή ενέργειας με την μορφή καυσίμων. Επίσης χρησιμοποιούνται μείγματα πτητικών υδρογονανθράκων επί του παρόντος ως υποκατάστατα των φθοροχλωρανθράκων (CFCs) ως προωθητικών για αερολυμάτων σπρέι, λόγω του ότι οι φθοροχλωρανθρακες προκαλούν βλάβη στο στρώμα του όζοντος του πλανήτη μας. Λόγω της ποικιλομορφίας των υδρογονανθράκων, ποικίλουν και οι ιδιότητες της κάθε τάξης μορίων. Έτσι δημιουργούνται διάφοροι τύποι υδρογονανθράκων που παρουσιάζουν διαφορετικές ιδιότητες.

#### ▪ **ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ**

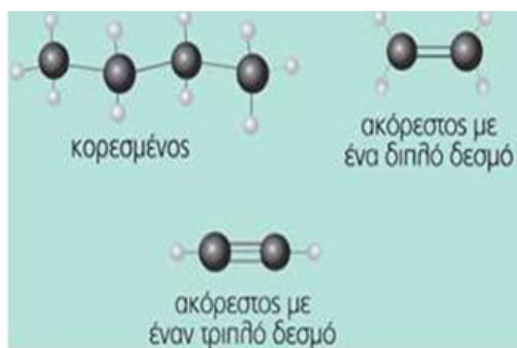
Η ταξινόμηση των υδρογονανθράκων μπορεί να γίνει με βάση τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται τα άτομα του άνθρακα είτε μέσω της μορφής που έχει η ανθρακική αλυσίδα. Όσον αναφορά την ταξινόμηση με βάση την μορφή της ανθρακικής αλυσίδας, οι υδρογονάνθρακες διακρίνονται σε άκυκλους όταν τα άτομα του άνθρακα δημιουργούν ανοιχτές αλυσίδες και σε κυκλικούς όταν σχηματίζουν κλειστές. Σχετικά με τις κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης των ατόμων άνθρακα έχουμε τους λεγόμενους κορεσμένους υδρογονάνθρακες όπου τα άτομα συνδέονται μεταξύ τους με απλούς δεσμούς και καλούνται αλκάνια και τους ακόρεστους υδρογονάνθρακες όπου σε αυτήν την περίπτωση δύο άτομα άνθρακα σχηματίζουν διπλό δεσμό ή τριπλό. Στην περίπτωση που δύο άτομα άνθρακα σχηματίζουν διπλό δεσμό καλούνται αλκένια με γενικό μοριακό τύπο  $C_nH_{2n}$  με  $n \geq 2$  ενώ αν σχηματίζουν τριπλό αλκίνια με γενικό μοριακό τύπο  $C_nH_{2n-2}$  με  $n \geq 2$ . Τα αλκίνια βέβαια ανάλογα με το αν βρίσκεται ο τριπλός δεσμός στην άκρη της ανθρακικής αλυσίδας διακρίνονται σε «εξωτερικά» και «εσωτερικά».

Στην περίπτωση του πετρελαίου οι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες βρίσκονται σε μια ανάμιξη με τα αλκάνια και με αυτόν τον τρόπο προσδίδουν περισσότερο διοξείδιο του

άνθρακα ανά λίτρο από όσο θα έδιναν μόνο οι κορεσμένοι. Οι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες παράγουν λιγότερη ενέργεια όταν καίγονται από τους κορεσμένους υδρογονάνθρακες. Προκειμένου να επιτευχθεί η ίδια ποσότητα ενέργειας, πρέπει να καεί μια μεγαλύτερη ποσότητα ακόρεστου υδρογονάνθρακα και ως εκ τούτου δημιουργείται περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα στη διαδικασία. Έτσι, οι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες είναι λιγότερο φιλικό προς το περιβάλλον από τους κορεσμένους υδρογονάνθρακες.



-Εικόνα 2.1: Δομή των υδρογονανθράκων με βάση την 1<sup>η</sup> κατηγοριοποίηση. Πηγή: «Σχολικό βιβλίο Χημείας Γ' γυμνασίου/Παναγιώτης Θεοδωρόπουλος - Παύλος Παπαθεοφάνους - Φιλένια Σιδέρη/Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων/Αθηνά»



-Εικόνα 2.2: Δομή των υδρογονανθράκων με βάση την 2<sup>η</sup> κατηγοριοποίηση. Πηγή: «Σχολικό βιβλίο Χημείας Γ' γυμνασίου/Παναγιώτης Θεοδωρόπουλος - Παύλος Παπαθεοφάνους - Φιλένια Σιδέρη/Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων/Αθηνά.»

Ένας άλλος τύπος υδρογονανθράκων είναι τα κυκλοαλκάνια (ναφθένια) με γενικό μοριακό τύπο  $C_nH_{2n}$  με  $n \geq 3$  τα οποία ανήκουν στην γενικότερη κατηγορία των υδρογονανθράκων που καλούμε κυκλικούς, χωρίς κανέναν διπλό ή τριπλό δεσμό, όπου ουσιαστικά πρόκειται για κορεσμένους υδρογονάνθρακες που περιέχουν έναν ή περισσότερους δακτυλίους. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν επίσης τα κυκλοαλκένια, τα κυκλοαλκίνια και τα κυκλοαλκαδιένια. Επίσης έχουμε και τους αρωματικούς υδρογονάνθρακες οι οποίοι είναι κυκλικοί υδρογονάνθρακες όπου οι δεσμοί μεταξύ των ατόμων του άνθρακα είναι ενδιάμεσοι μεταξύ μονών και διπλών δεσμών.

### Common Hydrocarbons and Their Uses

Name	Number of Carbon Atoms	Uses
Methane	1	Fuel in electrical generation. Produces least amount of carbon dioxide.
Ethane	2	Used in the production of ethylene, which is utilized in various chemical applications.
Propane	3	Generally used for heating and cooking
Butane	4	Generally used in lighters and in aerosol cans
Pentane	5	Can be used as solvents in the laboratory and in the production of polystyrene.
Hexane	6	Used to produce glue for shoes, leather products, and in roofing
Heptane	7	The major component of gasoline
Octane	8	An additive to gasoline that reduces knock, particularly in its branched forms
Nonane	9	The component of fuel, particularly diesel
Decane	10	A component of gasoline, but generally more important in jet fuel and diesel

-Εικόνα 2.3: «Κοινές χρήσεις των Υδρογονανθράκων». Πηγή: «Petroleum.co.uk.»

Επιπλέον οι υδρογονάνθρακες διακρίνονται σε αέριους, υγρούς, στερεούς ή ιξώδεις ανάλογα με τη πολυπλοκότητα των μορίων τους και αποτελούν τις κυριότερες πηγές ενέργειας που οφείλεται στην χημική τους ένωση με το οξυγόνο, και προκαλούν την διαδικασία της καύσης.

Στους αέριους υδρογονάνθρακες έχουμε το κοινό σε όλους μας φυσικό αέριο, το υγραέριο, το φωταέριο και το σχιστολιθικό αέριο. Το φυσικό αέριο αποτελεί μια συμβατική πηγή ενέργειας και αποτελείται κυρίως από μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), ενώ προέρχεται από φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς. Είναι σημαντικό το γεγονός ότι το φυσικό αέριο, βρίσκεται συνήθως σε συνδυασμό με υγρούς υδρογονάνθρακες όπως για παράδειγμα το αργό πετρέλαιο. Σε αυτή τη περίπτωση, έχει τον ρόλο ενός αέριου καλύμματος πάνω από αυτό ή μπορεί και σχηματίζει αυτοτελείς συγκεντρώσεις, χωρίς να έχει καμία ανάμειξη με υγρούς υδρογονάνθρακες. Όσον αφορά το υγραέριο, έχουμε να κάνουμε με κάτι τελείως διαφορετικό από το φυσικό αέριο και αυτό γιατί το υγραέριο αποτελείται στην βάση του από προπάνιο και βουτάνιο ενώ από την άλλη το φυσικό αέριο είναι κατά βάσει μεθάνιο. Επίσης το φωταέριο(γκάζι) είναι προϊόν πυρόλυσης, θέρμανσης δηλαδή του γαιάνθρακα και αποτελεί ένα μείγμα υδρογόνου μεθανίου μονοξειδίου του άνθρακα και άλλων υδρογονανθράκων.

Στους στερεούς υδρογονάνθρακες ανήκουν οι βιτουμενιούχοι σχιστόλιθοι και η πισσούχοι άμμοι (oil shale, oil/ tar/ bituminous sands) όπως και υγροί υδρογονάνθρακες οι οποίοι είναι εγκλωβισμένοι μέσα σε κλαστικά πετρώματα. Ο πισσούχος ή βιτουμενιούχοςσχίστης είναι ένα πέτρωμα το οποίο περιέχει κάποιας μορφής κηρογόνο σε ένα ποσοστό μέχρι και 40%.Ο πετρελαιοφόρος σχιστόλιθος αναφέρεται σε ένα είδος αργού πετρελαίου που μπορεί να καθαριστεί από ιζηματογενή πετρώματα. Επειδή τα

παγκόσμια αποθέματα πετρελαίου, ιδιαίτερα του ελαφρού αργού, εξαντλούνται και δεν μπορούν να παράγουν πετρέλαιο με ρυθμό αρκετά γρήγορο για να συμβαδίσουν με τη ζήτηση, η εξόρυξη σχιστολιθικού πετρελαίου γίνεται όλο και πιο κερδοφόρα και κοινή. Μεγάλες αποθέσεις σχιστολιθικού πετρελαίου υπάρχουν στον Καναδά, τις Ηνωμένες Πολιτείες και τη Βενεζουέλα. Ο Καναδάς είναι σήμερα ο μεγαλύτερος παραγωγός πετρελαίου από σχιστόλιθο παγκοσμίως. Επιπλέον ξέρουμε ότι έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία αυτών των υλικών είναι δυνατόν να παραληφθούν προϊόντα ανάλογα αυτών που παραλαμβάνονται κατά την απόσταξη του συμβατικού (ελαφρού αργού) πετρελαίου.

Η πισσούχος άμμος τώρα, αποτελεί ένα μίγμα αργίλου, άμμου και ενός είδους πίσσας με το ποσοστό της να κυμαίνεται από 10% μέχρι 15%. Τα μεγαλύτερα γνωστά αποθέματα ασφαλτούχου άμμου βρίσκονται στον Καναδά. Τα αποθέματα αυτά είναι ικανά να τροφοδοτούν τον Καναδά για τις προβλεπόμενες ανάγκες του για περίπου 30 χρόνια ακόμα. Οι άμμοι πετρελαίου Athabasca είναι οι μεγαλύτερες εναποθέσεις πισσούχου άμμου στον Καναδά. Είναι προσιτά μόνο από την ξηρά και εξορύσσονται κυρίως επιφανειακά. Η Βενεζουέλα και οι Ηνωμένες Πολιτείες περιέχουν τη δεύτερη και την τρίτη μεγαλύτερη ποσότητα πετρελαίου άμμου αντίστοιχα. Οι καταθέσεις της Βενεζουέλας είναι λιγότερο ιξώδεις και ευκολότερες στην απόσπαση, αλλά η τεχνολογία τους είναι πίσω από εκείνη του Καναδά και των Ηνωμένων Πολιτειών, επομένως στην πραγματικότητα παράγουν λιγότερα πετρέλαια από τα αποθέματά τους. Εάν όλες οι καταθέσεις στον Καναδά αναβαθμιστούν στο ακαθάριστο, εκτιμάται ότι η χώρα θα μπορούσε να εφοδιάσει τον υπόλοιπο κόσμο με πετρέλαιο για περίπου 200 χρόνια.

Σχετικά με την αξιοποίηση των δύο παραπάνω στερεών υδρογονανθράκων, και οι δύο παρουσιάζουν παρόμοια προβλήματα καθώς έχουν μικρές ενεργειακές αποδόσεις σε σχέση με το συμβατικό πετρέλαιο, απαιτούνται τεράστιες ποσότητες νερού με σκοπό την επεξεργασία του πετρελαίου από τους βιτουμενιούχους σχίστες κάτι που είναι γενικά δυσεύρετο σε περιοχές όπου υπάρχουν τα κοιτάσματα αυτά καθώς επίσης υπάρχει ο κίνδυνος μόλυνσης του υδροφόρου ορίζοντα από διάφορα τοξικά μέταλλα.

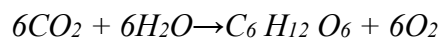
#### ▪ ΠΡΟΣΕΛΥΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΑΘΡΑΚΩΝ

Όπως προαναφέρθηκε στην εισαγωγή, τα ορυκτά καύσιμα ουσιαστικά είναι υδρογονάνθρακες κυρίως πετρέλαιο, φυσικό αέριο και γαιάνθρακας. Η προσέλευσή τους είναι οργανική και αποτελείται κυρίως από φυτικό ή ζωικό υλικό το οποίο ενταφιάστηκε και με την πάροδο του χρόνου σχημάτισε το αργό πετρέλαιο, τον άνθρακα, το φυσικό αέριο ή «βαριά» λάδια. Στην περιοχή που γίνεται η απόθεση αυτή, το οργανικό υλικό αναμιγνύεται με τα ήδη προ υπάρχοντα στην περιοχή ιζήματα δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο συνεχείς διαδοχικές στρώσεις. Στην συνέχεια και λόγω της κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών ο σχηματισμός αυτός του υλικού αυτού εκτίθεται σε υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες στον φλοιό της γης από μερικά έως και 650 περίπου εκατομμύρια χρόνια με αποτέλεσμα τον σχηματισμό κηρογόνου από την μετατροπή της οργανικής ύλης. Η πλειονότητα των υδρογονανθράκων που χρησιμοποιείται, από τους ανθρώπους στη Γη, βρίσκεται στα φυσικά αποθέματα αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου, όπου περιέχεται ένα μείγμα διαφόρων υδρογονανθράκων (και όχι μόνο), που προέρχονται όπως αναφέρθηκε από την αποσύνθεση και ανασχηματισμό οργανικής ύλης που θάβεται στο υπέδαφος για

χιλιετίες. Σε γενικές γραμμές η απόθεση αυτή λαμβάνει χώρα σε ανοξικά και αναγωγικά περιβάλλοντα τα οποία προστατεύονται από τη δράση βακτηριδίων.

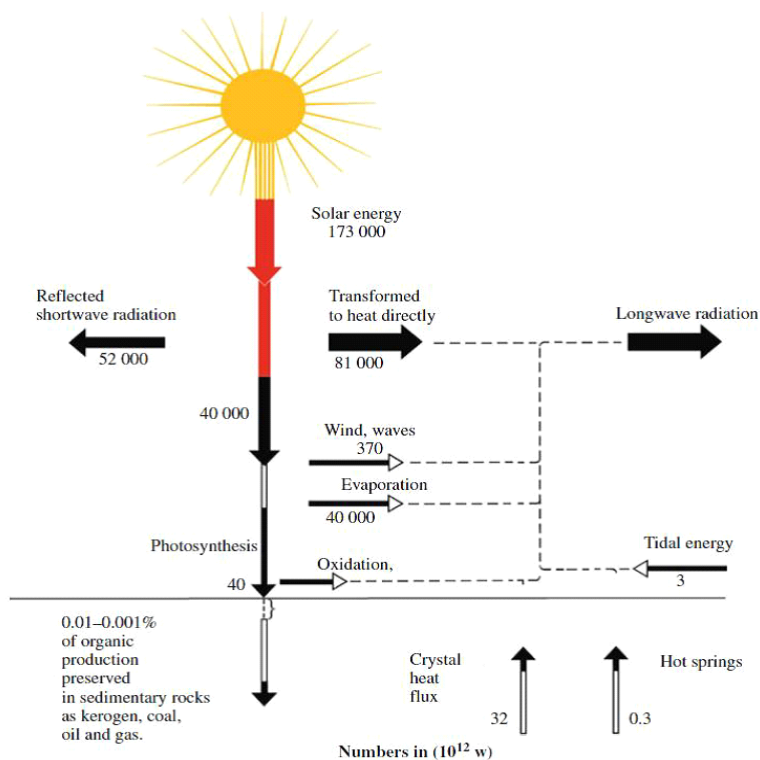
Σημαντικό ρόλο στην γένεση των υδρογονανθράκων αποτελεί το συνολικό ενεργειακό σύστημα της Γης. Στους ωκεανούς, κατά μέσο όρο, η παραγωγή της οργανικής ύλης ανέρχεται ετησίως στους 5 tn/yr. Επίσης, η παραγωγή της οργανικής ύλης πραγματοποιείται και σε παράκτιες περιοχές, λόγω της τροφοδοσίας τους από διάφορα ποτάμια συστήματα, αλλά και στη ζώνη ανάπτυξης του φυτοπλαγκτόν, όπου είναι χαρακτηριστικό το μικρό βάθος (20-30 m). Κύρια προέλευση της οργανικής ύλης αποτελούν:

- **Τα πλαγκτονικά φύκη (φυτοπλαγκτόν).** Αποτελούν την κύρια πηγή της οργανικής ύλης, σε ποσοστό περίπου 90% και συμβάλλουν στην γένεση του πετρελαίου. Χημικά, το φυτοπλαγκτόν αποτελείται από 45-55 % (άνθρακα) C, 4.5-9% (άζωτο) N, 0.6-3.3% (φώσφορος) P, περίπου 25% (πυρίτιο) Si και ανθρακικά άλατα.
- **Τα διάτομα.** Πλεονέκτημα αυτών είναι ότι υπάρχουν σε αφθονία σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη και εντοπίζονται σε περιβάλλοντα και με υφάλμυρο αλλά και με γλυκό νερό. Στα διάτομα ανήκουν τα πρασινο- ή κυανοφύκη (κυανοβακτήρια) που εντοπίζονται κυρίως στους πυθμένες ρηχών θαλασσών.
- **Το ζωοπλαγκτόν.** Σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνονται τα ραδιολάρια (εντοπίζονται κυρίως σε τροπικά νερά), τα τρηματοφόρα και τα πελαγικά γαστερόποδα.
- **Τα γερσαία περιβάλλοντα.** Στα περιβάλλοντα αυτά ανήκουν κυρίως τα δέλτα ποταμών όπου εντοπίζεται μεγάλη συσσώρευση φυτικής οργανικής ύλης. Αυτό το είδος οργανικής ύλης συμβάλει στην δημιουργία δυνητικών πηγών υδρογονανθράκων, όπως τύρφης και σε μεγαλύτερα βάθη λιγνίτη και βιτουμενιούχων γαιανθράκων.
- **Η οργανική ύλη προερχόμενη από την φωτοσύνθεση.** Η οργανική ύλη αυτή προέρχεται κυρίως από φωτοσυνθετικούς οργανισμούς. Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί έχουν σαν χαρακτηριστικό τους να πραγματοποιούν την διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Ως φωτοσύνθεση ορίζεται η διαδικασία αποθήκευσης και μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε χημική, από τους αυτότροφους οργανισμούς. Συγκεκριμένα, το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας δεσμεύεται και μετατρέπεται σε γλυκόζη αλλά και σε διάφορα παράγωγα αυτής (γενικότερα υδατάνθρακες υψηλού περιεχομένου) . Η αντίδραση που πραγματοποιείται είναι η εξής:



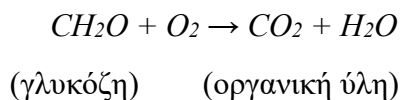
(γλυκόζη)                      (οργανική ύλη)

Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί είναι: τα ανώτερα φυτά, τα πράσινα φύκη – μικροφύκη (green algae), τα κυανοβακτήρια (cyanobacteria) και τα φωτοσυνθετικά βακτήρια.



-Εικόνα 2.4: Απεικόνιση του ενεργειακού συστήματος της Γης. Πηγή: «E8210: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ eclass.uoa.gr/courses/GEOL250/»

Η διάσπαση της παραγόμενης οργανικής ύλης, σε ποσοστό περίπου 99% της οργανικής ύλης αυτής, πραγματοποιείται παρουσία οξυγόνου και η αντίδραση είναι η εξής:

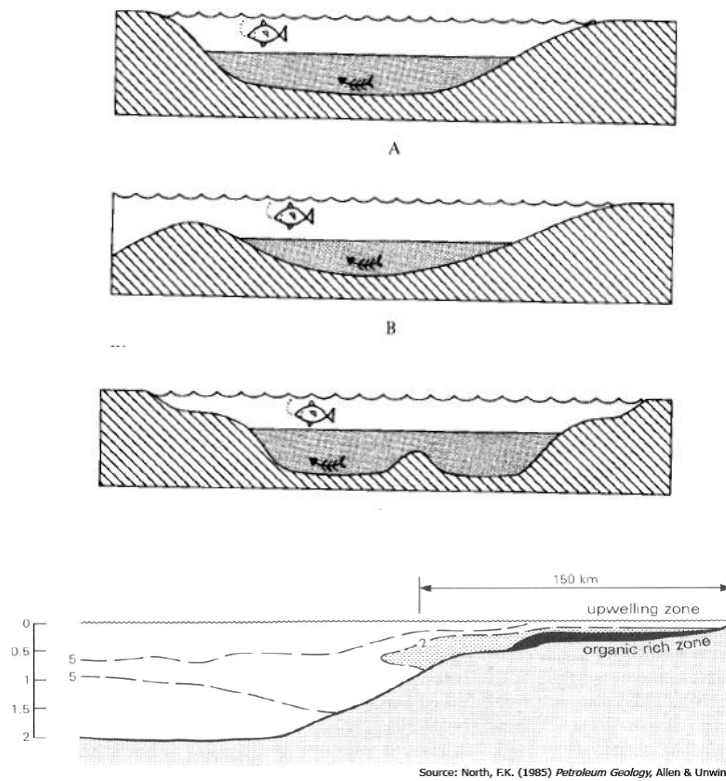


Στην διάσπαση της οργανικής ύλης, περιλαμβάνεται και η **διαστρωμάτωση της υδάτινης στήλης**, όπου, λόγω της διαστρωμάτωσης της πίεσης P και της θερμοκρασίας T της υδάτινης στήλης συνεπάγεται περιορισμένη κυκλοφορία, άρα εξάντληση των αποθεμάτων του οξυγόνου και αποτέλεσμα αυτών η αύξηση της διατήρησης της οργανικής ύλης εντός των λεκανών με περιορισμένη κυκλοφορία. Καλή διαστρωμάτωση της υδάτινης στήλης εντοπίζεται κυρίως:

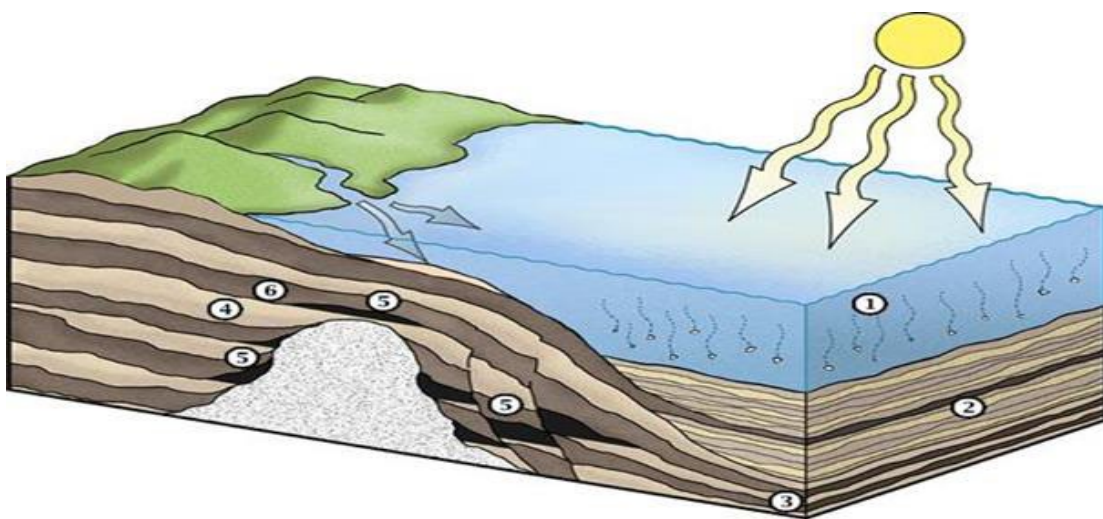
- σε λίμνες, οι οποίες δεν εντοπίζονται σε ψυχρά κλίματα διότι το ψυχρό νερό έχει την ιδιότητα να ενισχύει την υδάτινη κυκλοφορία λόγω της βύθισής του, και
- σε αβαθείς λεκάνες, οι οποίες χωρίζονται από ένα ωκεανό μεγάλου βάθους και ένα "περβάζι" – sill, όπως για παράδειγμα η Μαύρη Θάλασσα.

Τέλος, καταλυτικό σημείο αποτελεί το **Όριο Οξυδοαναγωγής – Redox Boundary**. Το Redox Boundary εντοπίζεται κυρίως περίπου 5-30 m κάτω από το θαλάσσιο πυθμένα. Εάν ο ρυθμός παροχής του οξυγόνου υστερεί του ρυθμού συσσώρευσης της οργανικής ύλης, τότε το Redox Boundary εντοπίζεται εντός της υδάτινης στήλης. Κάτω από το Redox Boundary συνήθως δεν εντοπίζεται ελεύθερο οξυγόνο με αποτέλεσμα η

οργανική ύλη και τα διάφορα θειοβόρα βακτήρια να αντιδρούν μεταξύ τους και να υπάρχει η απελευθέρωση υδρόθειου (H<sub>2</sub>S). Ο συνδυασμός Redox Boundary και της διάσπασης της οργανικής ύλης είναι ο σημαντικότερος για την γένεση και ύπαρξη των υδρογονανθράκων.



-Εικόνα 2.5: Απεικόνιση της διαδικασίας διάσπασης της οργανικής ύλης. Πηγή: «E8210: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ [eclass.uoa.gr/courses/GEOL250/](http://eclass.uoa.gr/courses/GEOL250/)»



-Εικόνα 2.6: Στην εικόνα περιγράφεται η προέλευση των υδρογονανθράκων. 1. οργανικό υλικό, 2. Απόθεση οργανικού υλικού, 3. Ωρίμανση- Μετανάστευση, 4. μητρικό πέτρωμα, 5. Ταμιευτήρας-Παγίδα, 6. Κάλυμμα. Πηγή: «Ανδρίτσος Ν. (2008), «Ενέργεια και Περιβάλλον», Κεφάλαιο 4: Πετρέλαιο, Α.Π.Θ»



## 2.2 ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ

Στην διεθνή βιβλιογραφία, ως Petroleum νοείται το μίγμα αποτελούμενο από ενώσεις υδρογονανθράκων, αζώτου, θείου, οξυγόνου, νικελίου, βαναδίου κλπ. που μπορεί να εμφανιστούν σε στερεά υγρά και αέρια μορφή. Τα συστατικά υδρογονανθράκων μπορούν να υποδιαιρεθούν σε κορεσμένα (πεντάνιο, δεκαεξάνιο, οκτακοσάνιο και κυκλοεξάνιο), ασφαλτένια (φαινόλες, λιπαρά οξέα, κετόνες, εστέρες και πορφυρίνες), αρωματικά (βενζόλιο, ναφθαλίνιο, φαινανθρένιο και πυρένιο), ρητίνες (αμίδια, καρβαζόλες, πυριδίνες, κινολόνες και σουλφοξείδια), Το βενζόλιο, το τολουόλιο, το αιθυλοβενζόλιο και τα ξυλόλια (BTEX), οι αλειφατικοί και πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH) είναι οι μολυσματικοί παράγοντες πετρελαίου που απαντώνται κυρίως στα εδάφη και στα ιζήματα λόγω της τοξικότητάς τους. Το βενζόλιο είναι εξαιρετικά πτητικό και συγκριτικά πολύ διαλυτό στα υπόγεια ύδατα. Επομένως, το βενζόλιο, εάν δεν είναι δεσμευμένο στο πλέγμα του πετρελαίου, μπορεί να διαφύγει στο γύρω περιβάλλον και να προκαλέσει προβλήματα στα διάφορα οικοσυστήματα και εν συνεχεία, στον άνθρωπο.

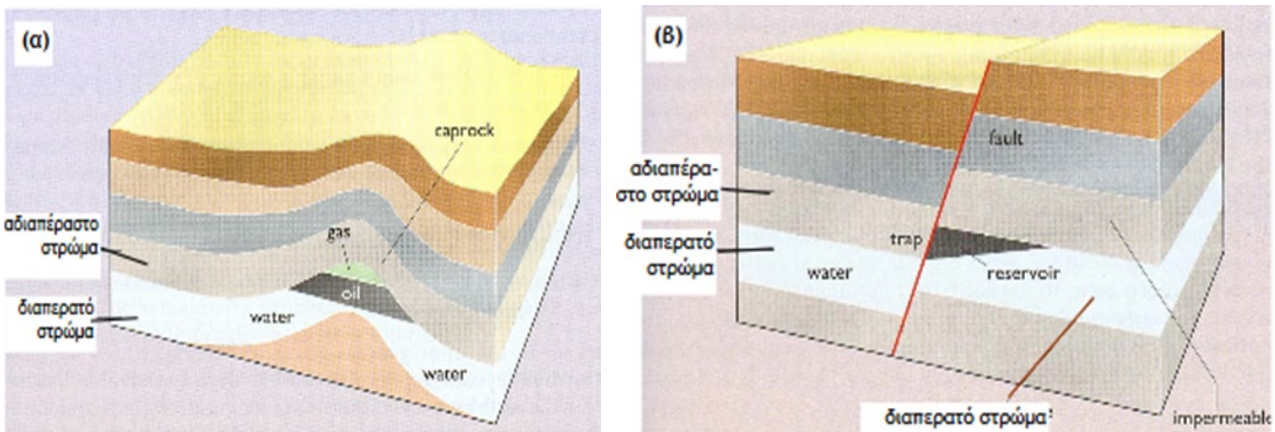
Κατά την επικρατέστερη θεωρία από τους επιστήμονες σχετικά με την προέλευση του πετρελαίου, είναι πιθανό ότι σχηματίστηκε πριν από περίπου 200 εκατομμύρια χρόνια, όταν θαλάσσιοι φυτικοί μικροοργανισμοί και μονοκύτταροι ζωικοί οργανισμοί συγκεντρώθηκαν, εξαιτίας των διαφόρων τοπικών συνθηκών που επικρατούσαν εκείνη την χρονική περίοδο, και παγιδεύτηκαν μέσα σε ιζήματα (θαλάσσιου ή γλυκού νερού). Το πάχος των θαλάσσιων αυτών αποθέσεων αυξανόταν με την πάροδο του χρόνου με συνέπεια να επέλθει μια αύξηση θερμοκρασίας και πίεσης που επενεργούσε πάνω στα κατώτερα και παλαιότερα ιζήματα.

Ο σχηματισμός πετρελαίου λαμβάνει χώρα από διάφορους υδρογονάνθρακες που συνδυάζονται με ορισμένα ορυκτά, όπως το θείο, υπό ακραίες πιέσεις. Οι σημερινοί επιστήμονες έχουν αποδείξει ότι τα περισσότερα, αν όχι όλα, κοιτάσματα πετρελαίου δημιουργήθηκαν από την νεκρή οργανική ύλη διαφόρων ζωικών και φυτικών οργανισμών που συμπίεστηκε στο θαλάσσιο πυθμένα με δισεκατομμύρια τόνους αργίλου και άμμου πριν από αρκετά εκατομμύρια χρόνια. Όταν πεθαίνουν μικρά θαλασσινά φυτά και ζώα, θα βυθιστούν, θα βρεθούν στον θαλάσσιο πυθμένα, όπου θα αποσυντεθούν και θα αναμειχθούν με άμμο και άργιλο. Κατά τη διαδικασία αποσύνθεσης τα μικροσκοπικά βακτήρια καθαρίζουν τα υπολείμματα ορισμένων χημικών ουσιών όπως ο φώσφορος, το άζωτο και το οξυγόνο. Αυτό αφήνει τα υπολείμματα που αποτελούνται κυρίως από άνθρακα και υδρογόνο. Στον πυθμένα του ωκεανού δεν υπάρχει επαρκές οξυγόνο για να αποσυντεθεί πλήρως η νεκρή οργανική ύλη. Αυτό που απομένει είναι οι πρώτες ύλες για τον σχηματισμό πετρελαίου. Η μερικώς αποσυντιθέμενη νεκρή οργανική ύλη θα σχηματίσει μια μεγάλη μεμβράνη, η οποία στη συνέχεια θα καλυφθεί αργά από πολλαπλά ιζήματα άμμου, αργίλου και πηλού. Αυτή η διαδικασία ταφής διαρκεί εκατομμύρια χρόνια, με την προαναφερόμενη αλληλουχία ιζημάτων να συσσωρεύονται το ένα επάνω στο άλλο. Λόγω της συσσώρευσης αυτής αυξάνεται συνεχώς το βάρος των υπερκείμενων ιζημάτων, ασκώντας πίεση στα κατώτερα ιζήματα με αποτέλεσμα να συμπίεστούν και το πάχος τους να είναι πολύ λεπτότερο από το αρχικό. Τέλος, όταν το βάθος του αρχικού στρώματος που περιλαμβάνει την αποσυντιθέμενη νεκρή οργανική ύλη φθάσει περίπου στα 10.000 πόδια, η φυσική θερμότητα της Γης και η έντονη πίεση θα συνδυαστούν και

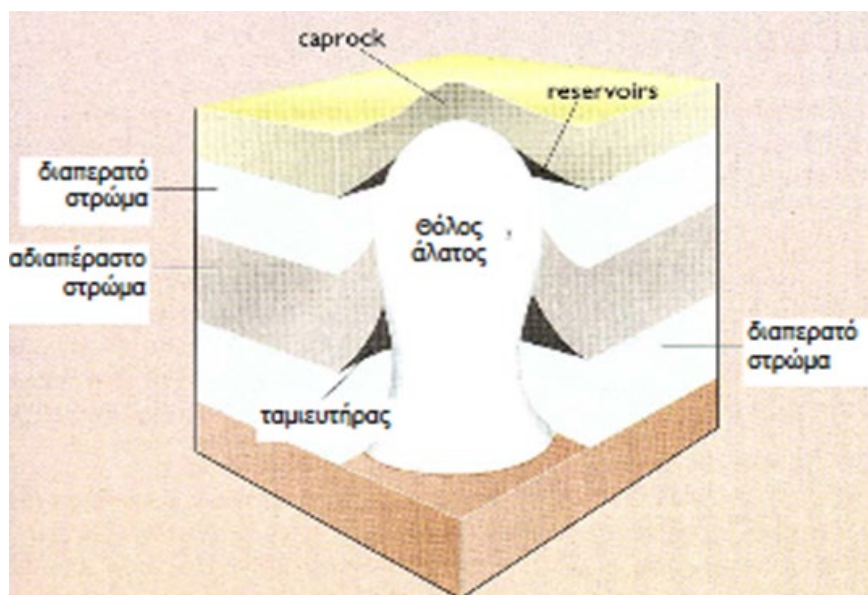


θα δράσουν πάνω στο στρώμα αυτό. Το τελικό αποτέλεσμα, με την πάροδο του χρόνου, είναι ο σχηματισμός πετρελαίου.

Με τον σχηματισμό πετρελαίου η πραγματική θερμοκρασία που εφαρμόζεται στην αρχική οργανική μάζα είναι κρίσιμη για τον προσδιορισμό των συνολικών ιδιοτήτων του προκύπτοντος πετρελαίου. Τυπικά, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του σχηματισμού πετρελαίου επιδρούν δίνοντας παχύτερες, σκουρόχρωμες πρώτες αποθέσεις πετρελαίου, το οποίο αποτελεί το «βαρύ πετρέλαιο (heavy oil)». Αν η θερμότητα που εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια του σχηματισμού της διαδικασίας του πετρελαίου μεταβάλλεται έντονα, τότε παράγεται φυσικό αέριο, συχνά διαχωρισμένο από το πετρέλαιο, όμως υπάρχουν περιπτώσεις που παραμένει αναμειγμένο με το αργό πετρέλαιο. Εάν οι θερμοκρασίες είναι πολύ υψηλές, κάπου πάνω από 450 βαθμούς Φαρενάιτ (F), τότε η αρχική βιομάζα θα καταστραφεί και δεν σχηματίζεται αέριο ή πετρέλαιο. Συνήθως, το πετρέλαιο δημιουργείται σε θερμοκρασίες από 60 °C έως και 160°C. Το διάστημα των θερμοκρασιών αυτών καλείται «παράθυρο πετρελαίου (oil window)». Καθώς η άμμος, η άργιλος και ο πηλός εναποτίθενται πάνω από τα υπάρχοντα στρώματα, ασκούνται δυνάμεις όπου τα μέτρα αυτών των δυνάμεων αρχίζουν να παραμορφώνουν τα στρώματα του πυθμένα, προκαλώντας στρωματώδεις δομές στους υποκείμενους σχηματισμούς (κυρίως λόγω συμπίεσης), με αποτέλεσμα να δημιουργούνται σχιστόλιθοι (schists). Καθώς ο σχιστόλιθος σχηματίζεται, το πετρέλαιο θα εξαναγκαστεί να απομακρυνθεί από την αρχική περιοχή σχηματισμού του. Το αργό πετρέλαιο μετακινείται έπειτα σε ένα νέο σχηματισμό, που ονομάζεται πέτρωμα ταμιευτήρας (reservoir rock), και παγιδεύεται μέσα σε αυτό. Είναι εμφανές ότι, ο σχηματισμός του αργού πετρελαίου διαρκεί εκατομμύρια χρόνια, και σίγουρα δεν μπορεί να θεωρηθεί ανανεώσιμη πηγή, όμως ο άνθρωπος έχει καταφέρει σχεδόν να εξαντλήσει την παγκόσμια προσφορά σε λίγο περισσότερο από έναν αιώνα.



-Εικόνα 2.7: Παγίδες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Στην περίπτωση (α) είναι παγίδα με αντικλινική μορφή και στην περίπτωση (β) είναι παγίδα η οποία προκλήθηκε λόγω ρηγμάτωσης της περιοχής. Πηγή: «Ανδρίτσος Ν. (2008), «Ενέργεια και Περιβάλλον», Κεφάλαιο 4: Πετρέλαιο, Α.Π.Θ»



-Εικόνα 2.8: Αναπαράσταση εγκλείσματος πετρελαϊκού αποθέματος με θόλο άλατος. Πηγή: «Ανδρίτσος Ν. (2008), «Ενέργεια και Περιβάλλον», Κεφάλαιο 4: Πετρέλαιο, Α.Π.Θ»

### **2.2.1 ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ**

Τα κοιτάσματα των υδρογονανθράκων συνήθως εντοπίζονται σε βάθος περίπου από 1,61 km έως 6,44 km (1-4 miles) κάτω από την επιφάνεια της Γης. Υπάρχουν όμως και κοιτάσματα τα οποία έχουν εντοπιστεί ακόμα και σε βάθος 11,27 km (7miles). Τα κοιτάσματα των υδρογονανθράκων καλύπτονται από το νερό που υπάρχει κάτω από την επιφάνεια της Γης το οποίο μπορεί να έχει πάχος έως 3,22 km (2miles).

Συνήθως, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο παγιδεύονται αλλά και εντοπίζονται μαζί, όμως, σε κάποιες περιπτώσεις, μπορούν να εντοπιστούν και να παγιδευτούν χωριστά και να δημιουργηθούν κοιτάσματα που θα περιέχουν μόνο ένα από τα δύο. Τέτοιες περιπτώσεις συνήθως εντοπίζονται σε βάθος κάτω των 4,83 km (3 miles) όπου το υγρό πετρέλαιο, λόγω των επικρατούντων συνθηκών του περιβάλλοντος, προκαλούν ένα είδος «βρασμού» με αποτέλεσμα να μένει μόνο το φυσικό αέριο.

#### **■ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ (Conventional Hydrocarbons)**

Στους συμβατικούς υδρογονάνθρακες περιλαμβάνονται:

- Τα κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου,
- Τα διαχωρισμένα κοιτάσματα αυτών και
- Οι πετρελαιοπηγές.

Με λίγα λόγια, ως συμβατικοί υδρογονάνθρακες ορίζονται οι υδρογονάνθρακες που είναι εύκολα ανακτήσιμοι. Χαρακτηριστικά των συμβατικών υδρογονανθράκων είναι:

- Η ρευστότητα τους καθώς και η πλούσια περιεκτικότητά τους σε αλκάνια (π.χ: CH<sub>4</sub>),
- Η εύκολη εκμετάλλευσή τους,
- Ο εντοπισμός τους σε περατούς ταμιευτήρες

- Υπακούουν στην «συνήθη» στρατηγική της Έρευνας και Εκμετάλλευσης.

Το «πρόβλημα» των συμβατικών υδρογονανθράκων είναι ότι ολοένα και λιγοστεύουν οι νέες και ρηχές συσσωρεύσεις των υδρογονανθράκων και για αυτό οδηγούμαστε νέων κοιτασμάτων, και ειδικότερα στους Μη Συμβατικούς Υδρογονάνθρακες.

#### ▪ ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ (Non Conventional Hydrocarbons)

Στους μη συμβατικούς υδρογονάνθρακες ανήκουν οι υδρογονάνθρακες που δεν μπορούν να ανακτηθούν τόσο εύκολα όσο οι συμβατικοί και χρειάζονται ειδικές μεθόδους και τεχνικές επεξεργασίας και εκχύλισης απ' ότι οι συμβατικοί. Στους μη συμβατικούς υδρογονάνθρακες ανήκουν :

- Οι ασφαλτούχες άμμοι (Tar Sands)
- Το σχιστολιθικό πετρέλαιο και φυσικό αέριο (Shale oil and gas)
- Οι υδρίτες (Hydrates)
- Το μεθάνιο εντός κλινών άνθρακα (Coalbed Methane)

Τα τελευταία χρόνια, λόγω εξάντλησης των συμβατικών υδρογονανθράκων, οι κυβερνήσεις παγκοσμίως στρέφονται περισσότερο προς την αξιοποίηση των μη συμβατικών υδρογονανθράκων.

Πρέπει να τονιστεί ότι :

- ✚ Το 1/3 των παγκόσμιων αποθεμάτων απαρτίζονται από συμβατικούς υδρογονάνθρακες το οποίο εξαντλείται,
- ✚ Το υπόλοιπο 1/3 συγκαταλέγεται στους μη συμβατικούς υδρογονάνθρακες και τέλος,
- ✚ Υπάρχει 1/3 που ακόμα δεν έχει ανακαλυφθεί.

### **2.2.2 ΑΡΙΘΡΑΥΤΟ-ΚΛΙΜΑΚΑ ΠΙΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ**

Το API αντιπροσωπεύει το American Petroleum Institute, το οποίο είναι ο σημαντικότερος εμπορικός σύλλογος των Ηνωμένων Πολιτειών για τη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου. Το API αντιπροσωπεύει περίπου 400 εταιρείες στη βιομηχανία πετρελαίου και συμβάλλει στη θέσπιση προτύπων για την παραγωγή, τη βελτίωση και τη διανομή πετρελαϊκών προϊόντων

Ένα από τα πιο σημαντικά πρότυπα που έχει ορίσει το API είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της πυκνότητας του πετρελαίου. Αυτό το πρότυπο ονομάζεται API Gravity. Το ειδικό βάρος είναι ο λόγος της πυκνότητας μίας ουσίας με την πυκνότητα μίας ουσίας αναφοράς, συνήθως νερού. Το API Gravity δεν είναι τίποτα περισσότερο από το τυπικό ειδικό βάρος που χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία πετρελαίου, το οποίο συγκρίνει την πυκνότητα του πετρελαίου με εκείνη του νερού μέσω ενός υπολογισμού που αποσκοπεί στη διασφάλιση της συνέπειας στη μέτρηση. Λιγότερο πυκνό πετρέλαιο ή "ελαφρύ πετρέλαιο" είναι προτιμότερο από το πιο πυκνό πετρέλαιο καθώς περιέχει μεγαλύτερες ποσότητες υδρογονανθράκων που μπορούν να μετατραπούν σε βενζίνη. Το πετρέλαιο είναι λιγότερο πυκνό από το νερό και το 1916, η κυβέρνηση των ΗΠΑ καθιέρωσε την κλίμακα Baumé ως πρότυπο μέτρο για

οποιοδήποτε υγρό λιγότερο πυκνό από το νερό. Αυτό, στις περισσότερες περιπτώσεις, ισχύει για το πετρέλαιο. Η αξία που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την κλίμακα ήταν 141,5 (βλ. Υπολογισμό παρακάτω), αλλά οι επακόλουθες δοκιμές έδειξαν ότι λόγω σφάλματος η πραγματική τιμή θα πρέπει να είναι 140. Η κυβέρνηση άλλαξε την κλίμακα σε 140 για να διορθώσει το ζήτημα, αλλά η χρήση 141,5 είχε γίνει τόσο εδραιωμένο στη βιομηχανία πετρελαίου ότι το API αποφάσισε να δημιουργήσει την κλίμακα βαρύτητας API χρησιμοποιώντας την παλιά τιμή του 141.5. Η βαρύτητα API υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το ειδικό βάρος ενός πετρελαίου, το οποίο δεν είναι τίποτε περισσότερο από το λόγο της πυκνότητάς του με εκείνο του νερού (πυκνότητα του πετρελαίου / πυκνότητα νερού). Το ειδικό βάρος για τους υπολογισμούς API καθορίζεται πάντα στους 60 βαθμούς Φαρενάιτ(F). Το API Gravity υπολογίζεται ως εξής:

$$API\ gravity = \frac{141.5}{Specific\ Gravity} - 131.5$$

Παρόλο που οι τιμές API δεν έχουν μονάδες, συχνά αναφέρονται ως βαθμοί. Έτσι, η πυκνότητα API της WestTexasIntermediate λέγεται ότι είναι 39,6 βαθμοί. Η βαρύτητα API κινείται αντίστροφα στην πυκνότητα, που σημαίνει ότι το πυκνότερο είναι ένα πετρέλαιο, τόσο χαμηλότερη θα είναι η βαρύτητα API. Ένα API των 10 είναι ισοδύναμο με το νερό, πράγμα που σημαίνει ότι οποιοδήποτε πετρέλαιο με API πάνω από 10 θα επιπλέει στο νερό, ενώ οποιοδήποτε με API κάτω από 10 θα βυθιστεί. Το API Gravity χρησιμοποιείται για να ταξινομηθούν τα πετρέλαια ως ελαφρά, μεσαία, βαριά ή πολύ βαριά. Δεδομένου ότι το "βάρος" ενός πετρελαίου είναι ο μεγαλύτερος καθοριστικός παράγοντας της αγοραίας αξίας του, η βαρύτητα API είναι εξαιρετικά σημαντική. Οι τιμές API για κάθε "βάρος" έχουν ως εξής:

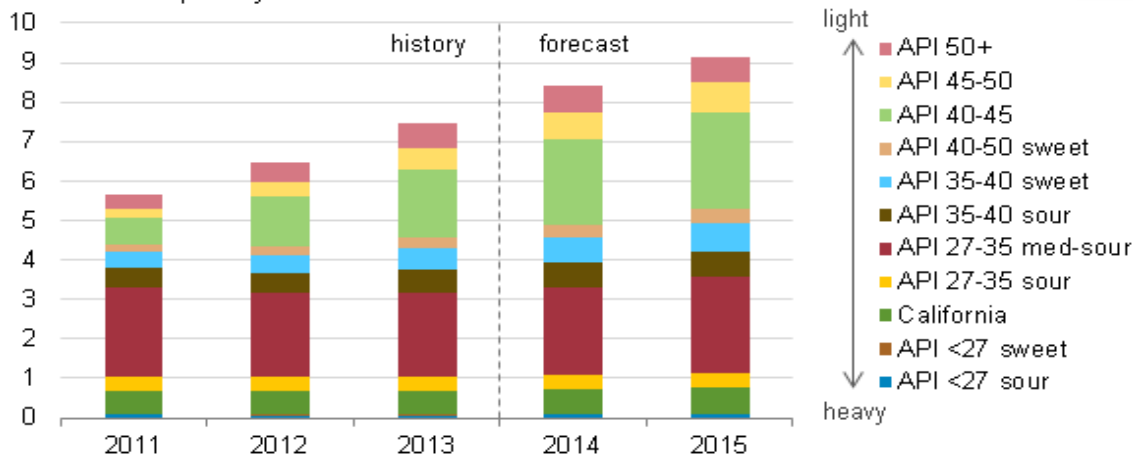
- Ελαφρύ - API > 31.1
- Μέσο - API μεταξύ 22,3 και 31,1
- Βαρύ - API < 22.3
- Έξτρα βαρύ - API < 10,0

Αυτές είναι μόνο χονδρικά οι εκτιμήσεις καθώς η ακριβής οριοθέτηση του API Gravity μεταξύ ελαφρού και βαρύ πετρελαίου που μεταβάλλεται ανάλογα με την περιοχή από την οποία έφτασε το πετρέλαιο. Η διακύμανση ως προς το τι είναι ελαφρύ και τι αργό σε μια συγκεκριμένη περιοχή είναι το αποτέλεσμα της εμπορίας πετρελαίου σε εμπόρευμα. Επειδή η πυκνότητα είναι ένα μέτρο βάρους ανά όγκο, το API μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογισθούν πόσα βαρέλια αργού μπορούν να εξαχθούν από έναν μετρικό τόνο ενός δεδομένου πετρελαίου. Ένας μετρικός τόνος WestTexasIntermediate, με API 39,6, θα παράγει 7,6 βαρέλια (στα 42 γαλόνια το καθένα). Ο υπολογισμός είναι:

$$\underline{\text{Βαρέλια ανά μετρικό τόνο} = 1 / [(141,5 / (\text{API} + 131,5)) \times 0,159]}$$

## U.S. crude oil production by type

million barrels per day



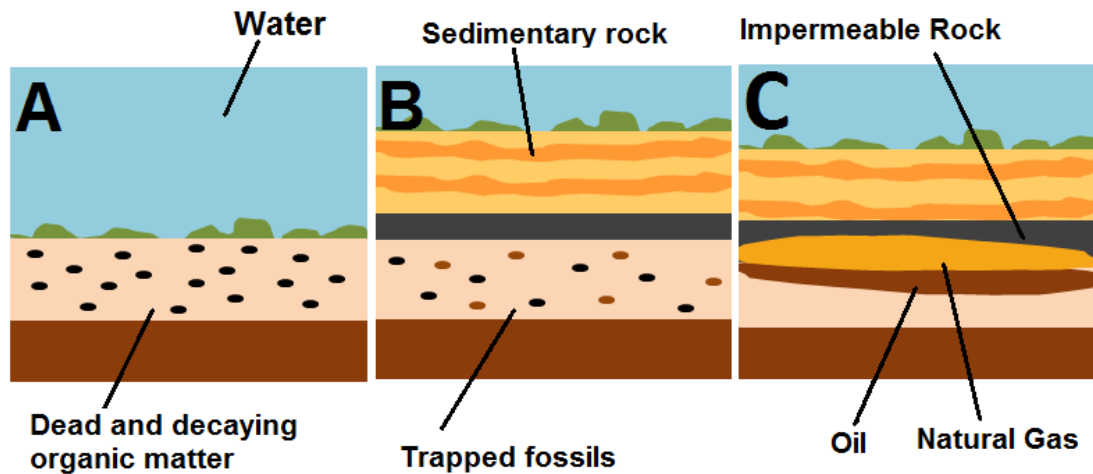
-Εικόνα 2.9: Παραγωγή πετρελαίου με βάση την μονάδα API στις Η.Π.Α. Πηγή: «Independent Statistics & Analysis. U.S. Energy Information Administration. Eia.com».

## 2.3 ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

Το φυσικό αέριο είναι ένα ορυκτό καύσιμο που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο - αποτελούμενο από άνθρακα και υδρογόνο - και γνωστό ως υδρογονάνθρακας .Ο σχηματισμός φυσικού αερίου (που είναι ένα αέριο) είναι ουσιαστικά ο ίδιος με τον σχηματισμό πετρελαίου(ένα υγρό) και έτσι περνά ένα σημαντικό χρονικό διάστημα με το φυσικό αέριο να αρχίζει να διαμορφώνεται πριν από εκατομμύρια χρόνια. Το συναντάμε κυρίως είτε σε ανάμιξη με το πετρέλαιο είτε σε ξεχωριστούς ταμιευτήρες με την σύστασή του να ποικίλλει στο σημείο εξόδου της γεώτρησης καθώς επίσης εξαρτάται και από τα χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα που είναι εγκλωβισμένο.

### ▪ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Ο σχηματισμός του φυσικού αερίου αρχίζει σε θερμούς, ρηχούς ωκεανούς που ήταν παρόντες στη Γη πριν από εκατομμύρια χρόνια. Σε αυτούς τους ωκεανούς, η εξαιρετικά μικρή νεκρή οργανική ύλη - ταξινομημένη ως πλαγκτόν - πέφτει στο πάτωμα του ωκεανού. Αυτό το πλαγκτόν αποτελείται από ζώα, που ονομάζονται ζωοπλαγκτόν, ή φυτά, που ονομάζονται φυτοπλαγκτόν. Το υλικό αυτό προσγειώνεται στον πυθμένα του ωκεανού και αναμειγνύεται με ανόργανο υλικό που εισέρχεται στον ωκεανό από ποτάμια. Είναι αυτό το ίζημα στον ωκεάνιο πυθμένα που στη συνέχεια σχηματίζει πετρέλαιο και φυσικό αέριο για πολλά χρόνια. Η ενέργεια στο φυσικό αέριο αρχικά προέρχεται από τον Ήλιο και είναι ενέργεια από το ηλιακό φως που παγιδεύεται από το νεκρό πλαγκτόν.



-Εικόνα 2.10: Διαδικασία σχηματισμούφυσικού αερίου. Πηγή: «Energyeducation.ca».

Η διαδικασία που δημιουργεί φυσικό αέριο είναι η ίδια με τη διαδικασία που δημιουργεί και το πετρέλαιο και είναι γενικά η ίδια στις περισσότερες περιοχές. Ωστόσο, μπορεί να υπάρχουν διαφορετικοί τύποι φυτικών και ζωικών υπολειμμάτων που καθιζάνουν στον πυθμένα του ωκεανού και ελαφρώς διαφορετικές συνθήκες. Για τον σχηματισμό φυσικού αερίου ακολουθούνται τα εξής βήματα:

1. Το νεκρό πλαγκτόν - τόσο το φυτοπλαγκτόν (συμπεριλαμβανομένων των φυκών) όσο και το ζωοπλαγκτόν - καθώς και άλλοι τύποι νεκρής οργανικής ύλης (συμπεριλαμβανομένων των μικροβίων), βυθίζονται στον πυθμένα ενός αρχαίου ωκεανού και αναμειγνύονται με ανόργανα υλικά, από ρέματα και ποτάμια. Αυτό δημιουργεί μια οργανική πλούσια λάσπη. Αυτή η λάσπη μπορεί να σχηματιστεί μόνο σε περιβάλλον αδιάλυτου νερού.

2. Αυτή η λάσπη δεν μπορεί να εκτεθεί σε υπερβολικό οξυγόνο, διαφορετικά η οργανική ύλη στη λάσπη θα αποσυντεθεί από βακτήρια και θα εξαφανιστεί γρήγορα. Επομένως περιβάλλοντα όπου μπορεί να σχηματιστεί φυσικό αέριο είναι γνωστά ως ανοξικά περιβάλλοντα. Πριν καταστραφεί αυτή η οργανική ύλη, θάβεται από περισσότερα ιζήματα, δημιουργώντας οργανικό σχιστόλιθο.

3. Εάν ο σχιστόλιθος είναι θαμμένος μεταξύ 2 και 4 χιλιομέτρων, η θερμοκρασία του αυξάνεται λόγω της θέσης του στο εσωτερικό της Γης. Αυτή η αυξανόμενη πίεση και θερμοκρασία του σχιστόλιθου μετατρέπει το σε κηρώδες υλικό γνωστό ως κηρογόνο. Ο σχιστόλιθος που περιέχει αυτό το υλικό είναι γνωστό ως πετρελαϊκός σχιστόλιθος (oil shale).

4. Οι θερμοκρασίες δημιουργίας του φυσικού αερίου κυμαίνονται από 150 °C έως και 200°C. Αυτό το διάστημα θερμοκρασιών καλείται "παράθυρο φυσικού αερίου (gas window)"

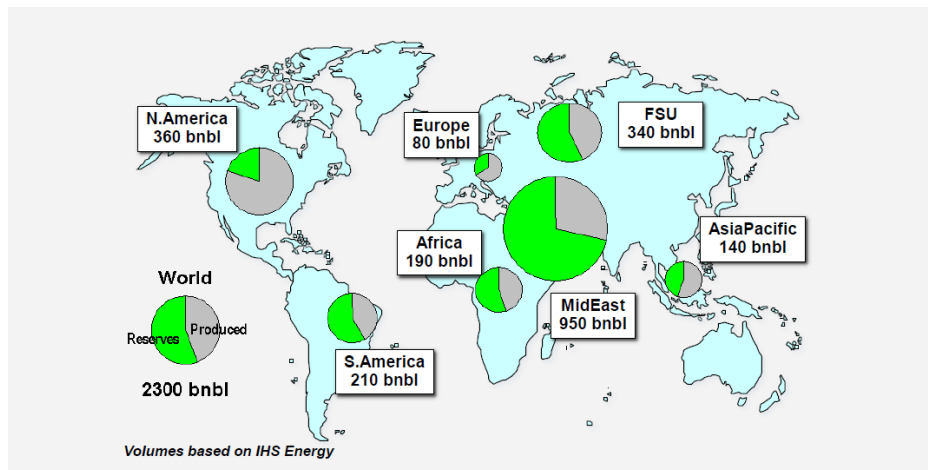
5. Το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο είναι τόσο ελαφρύτερα από το νερό, οπότε όταν διαφύγουν από το μητρικό πέτρωμα που είναι ο σχιστόλιθος, τα προϊόντα ανεβαίνουν μέσα από τους πόρους σε διάφορους σχηματισμούς, μετατοπίζοντας το νερό. Οι σχηματισμοί που περιέχουν σημαντικές ποσότητες πετρελαίου ή/και φυσικού αερίου



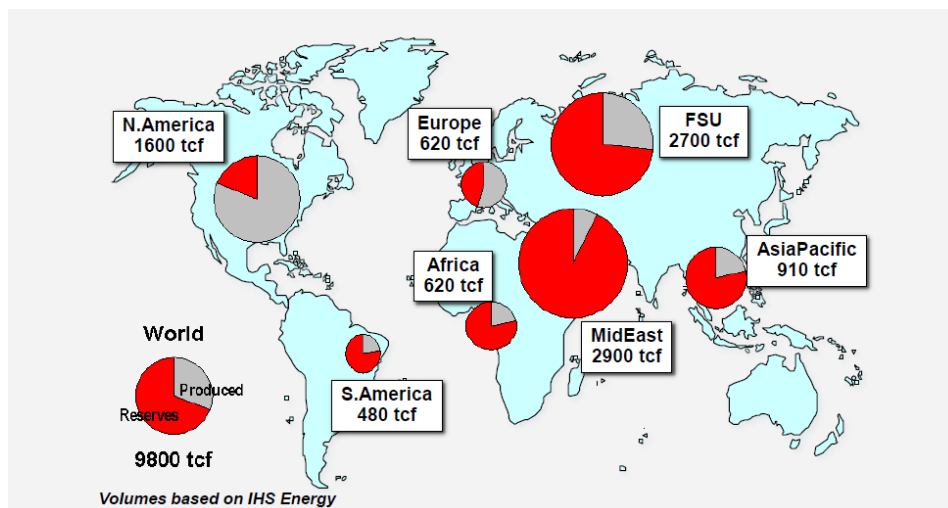
είναι γνωστοί ως ταμιευτήρες (reservoirs). Για να παραμείνει το αέριο παγιδευμένο στον ταμιευτήρα, πρέπει να υπάρχει κάποιο είδος παχιάς, αδιαπέρατης στρώσης πετρωμάτων για να σφραγιστεί ο ταμιευτήρας. Εάν υπάρχει αυτή η σφράγιση, τότε το πετρέλαιο, το αέριο και το νερό παγιδεύονται και μπορούν να πραγματοποιηθούν γεωτρήσεις για την εξόρυξή τους.

6. Οι γεωλογικές αλλαγές στο φλοιό της Γης φέρνουν αυτά τα αποθέματα πιο κοντά στην επιφάνεια, με αποτέλεσμα να γίνεται πιο εύκολη η πρόσβαση σε αυτά.

## 2.4 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ



-Εικόνα 2.11: Παγκόσμια κατανομή συμβατικών κοιτασμάτων πετρελαίου. Πηγή: «E8210: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ [eclass.uoa.gr/courses/GEOL250/](http://eclass.uoa.gr/courses/GEOL250/)».



-Εικόνα 2.12: Παγκόσμια κατανομή συμβατικών κοιτασμάτων φυσικού αερίου. Πηγή: «E8210: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ [eclass.uoa.gr/courses/GEOL250/](http://eclass.uoa.gr/courses/GEOL250/)».

Σύμφωνα με την παγκόσμια κατανομή πετρελαίου και φυσικού αερίου παρατηρούμε ότι, γεωλογικά, τα περισσότερα κοιτάσματα υδρογονανθράκων εντοπίζονται κυρίως σε περιοχές σύγκλισης και διάνοιξης των λιθοσφαιρικών πλακών αλλά και σε κρατονικές

ζώνες. Για παράδειγμα, η Ανατολική Μεσόγειος και η μικροπλάκα της Αραβίας βρίσκονται σε στάδιο σύγκλισης.

Ανάλογα με τον τύπο του «αργού πετρελαίου», και την γεωγραφική θέση στην οποία βρίσκεται, διακρίνεται:

- I. Στο West Texas Intermediate (WIT), είναι τύπος αργού πετρελαίου το οποίο είναι «πετρέλαιο αναφοράς» για την Βόρειο Αμερική, είναι πολύ καλής ποιότητας, με χαμηλή περιεκτικότητα και πυκνότητα σε θείο και είναι γλυκό και ελαφρύ αργό πετρέλαιο.
- II. Στο Blend Brent, το οποίο εντοπίζεται μεταξύ του γεωλογικού συστήματος Brent και Ninian στο ανατολικό κομμάτι της λεκάνης του Shetland στην Βόρεια Θάλασσα. Ο συγκεκριμένος τύπος «αργού πετρελαίου» περιλαμβάνει 15 διαφορετικούς τύπους «αργού πετρελαίου» οι οποίοι εντοπίζονται στο ίδιο κοίτασμα. Το Blend Brent καθορίζει τις τιμές του αργού πετρελαίου στην Ευρώπη, την Αφρική και την Μέση Ανατολή.
- III. Στο Dubai Crude, είναι «πετρέλαιο αναφοράς» στην Μέση Ανατολή, είναι ελαφρύ και έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο που κυμαίνεται σε ποσοστό 2%.
- IV. Στο Tapis Crude, είναι «πετρέλαιο αναφοράς» στην Ασία και στην Αυστραλία και παράγεται στη Μαλαισία. Αυτός ο τύπος πετρελαίου, δεν συμπεριλαμβάνεται στις διάφορες διαπραγματεύσεις στις διεθνείς αγορές.
- V. Στο Minas, είναι «πετρέλαιο αναφοράς» για το βαρύ πετρέλαιο της Άπω Ανατολής και παράγεται στην Ινδονησία.
- VI. Στις χώρες του ΟΠΕΚ (OPEC Reference Basket), είναι οι χώρες που ανήκουν στον Οργανισμό Πετρελαιοπαραγωγών Χωρών και απαρτίζεται από τον μέσο όρο των μειγμάτων πετρελαίου των χωρών αυτών.
- VII. Στο Midway Sunset Heavy, και είναι ο τύπος με τον οποίο η πολιτεία της Καλιφόρνια καθορίζει τις διάφορες τιμές των βαρέων πετρελαίων (heavy oils).

## **2.5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ- Η ΑΛΥΣΙΔΑ ΑΞΙΩΝ**

Η διαδικασία έρευνας στην πετρελαϊκή βιομηχανία και στην βιομηχανία του φυσικού αερίου πραγματοποιείται με βάση την Αλυσίδα Αξιών (The Petroleum Value Chain) η οποία διακρίνεται σε 3 βασικούς κλάδους (sectors) και είναι οι εξής :

- Ο πρώτος κλάδος Upstream
- Ο δεύτερος κλάδος Midstream και
- Ο τρίτος κλάδος Downstream

**1) Upstream:** Αποτελείται από την διαδικασία της Έρευνας (Exploration), την διαδικασία Ανάπτυξης Πεδίου (Field Development) και την διαδικασία Παραγωγής (Production). Αναλυτικότερα, ο κλάδος Upstream αναφέρεται:

- Πρώτον, στην διαδικασία αναζήτησης και έρευνας πιθανών κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου.
- Δεύτερον, στην υποσκαφή ερευνητικών γεωτρήσεων και

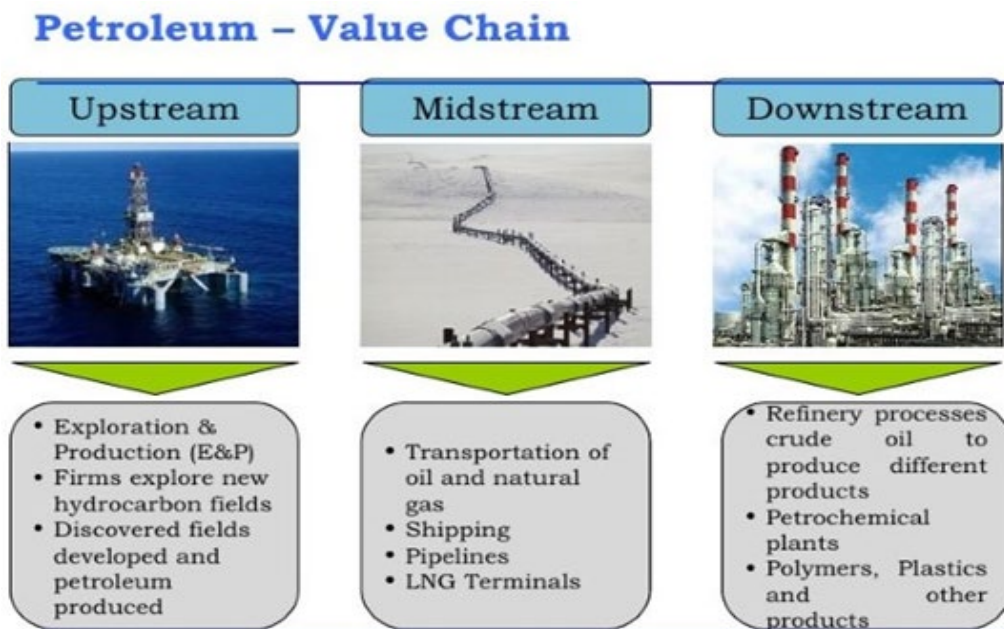


- Τρίτον, στην υποσκαφή εξορυκτικών γεωτρήσεων παραγωγής καθώς και στην σωστή λειτουργία αυτών. Οι γεωτρήσεις αυτές έχουν σαν αποτέλεσμα την εξόρυξη του αργού πετρελαίου και του φυσικού αερίου.

Στον κλάδο αυτό συμμετέχουν εταιρίες κυρίως παροχής υπηρεσιών αλλά και ανάδοχες εταιρίες που έχουν ως στόχο να προσφέρουν τον εξοπλισμό τους και την επιστημονική τους κατάρτιση σε διάφορες τεχνικές όπως: γεωφυσικές έρευνες, τιμεντοποίηση και εκτέλεση γεωτρήσεων .

**2) Midstream:** Αποτελείται από τις διαδικασίες Μεταφοράς (Transportation), της Αποθήκευσης (Storage) και της Προώθησης (Distribution) των διαφόρων πετρελαϊκών παράγωγων. Η μεταφορά μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορα μέσα όπως αγωγούς, πλωτά φορτηγά, σιδηροδρόμους κ.α. Τα μέσα αυτά χρησιμοποιούνται για την μεταφορά του Αργού Πετρελαίου ( προϊόν εξορυκτικής γεώτρησης) από το σημείο εξόρυξης του στα διάφορα διυλιστήρια και εν συνεχεία μεταφορά των διαφόρων προϊόντων του Αργού Πετρελαίου που παράγονται μέσω της διαδικασίας της διύλισης στα διάφορα σημεία διανομής τους. Η ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθείται και για το φυσικό αέριο με την διαφορά ότι οι αγωγοί μεταφοράς του διαφέρουν ως προς τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά.

**3) Downstream:** Αποτελείται από τις διαδικασίες της Διύλισης (Refining) και Επεξεργασίας (Processing) των διαφόρων προϊόντων του Αργού Πετρελαίου και του Φυσικού Αερίου, και από τις διαδικασίες Διανομής (Distribution) των προϊόντων αλλά και του Μάρκετινγκ (Marketing). Οι διαδικασίες από τις οποίες αποτελείται ο τελευταίος κλάδος Downstream είναι κοινές με τον κλάδο Midstream. Σε πολλές περιπτώσεις ο κλάδος Midstream συμπεριλαμβάνεται στον κλάδο Downstream.



-Εικόνα 2.13: Περιγραφή της Αλυσίδας Αξιών (Petroleum Value Chain). Πηγή: «THEBESTEMNETWORK.com»

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

## ΠΕΤΡΕΛΑΪΚΑΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

### 3.1 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

#### - ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΤΡΕΛΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

*« Ως πετρελαϊκό σύστημα ορίζουμε μία ομάδα σεναρίων (plays) εντός συγκεκριμένων γεωγραφικών ορίων, με κοινό μητρικό πέτρωμα.» (Κράνης, 2018)*

Αναλυτικότερα, ως πετρελαϊκά συστήματα ορίζουμε τις βασικές προϋποθέσεις για την ύπαρξη των υδρογονανθράκων όπου καθορίζονται από την συνύπαρξη των παρακάτω παραγόντων :

- την ύπαρξη μητρικού πετρώματος. Ορίζεται ως το πέτρωμα το οποίο έχει κυρίως οργανική σύσταση και για τα πετρελαϊκά συστήματα μας ενδιαφέρει κυρίως η ποσότητα , η ποιότητα, η ωριμότητα καθώς και η περιεκτικότητά του σε οργανικό άνθρακα ο οποίος προέρχεται κυρίως από ιζήματα που περιέχουν μείγματα από υπολείμματα ζωντανών οργανισμών. Είναι μη διαπερατά πετρώματα όπου ένα ποσοστό του οργανικού άνθρακα θα μετατραπεί σε υδρογονάνθρακες.
- η γεωλογική ιστορία της περιοχής μελέτης για την ύπαρξη ενός πετρελαϊκού συστήματος , θα πρέπει δηλαδή να γνωρίζουμε με απόλυτη ακρίβεια και ορθότητα την στιγμή μετανάστευσης του πετρελαίου.
- την ύπαρξη πετρωμάτων που λειτουργούν ως ταμιευτήρες. Ως ταμιευτήρας ορίζεται ένας βραχώδης σχηματισμός με έντονο πορώδες και διαπερατότητα, μεγάλη αποθηκευτική ικανότητα και φυσική συσσώρευση υδρογονανθράκων. Οι πιο κοινοί ταμιευτήρες υδρογονανθράκων είναι τα ιζηματογενή πετρώματα , λόγω του έντονου πορώδους που διαθέτουν και λόγω του σχηματισμού τους σε βάθη όπου οι επικρατούσες συνθήκες βοηθούν στην συσσώρευση των υδρογονανθράκων.
- την ύπαρξη πετρωμάτων που λειτουργούν ως καλύμματα. Τα καλύμματα, ή αλλιώς καπάκια, είναι ένα βραχώδες στρώμα το οποίο εμποδίζει τη διαφυγή προς την επιφάνεια της Γης και μετανάστευση των υδρογονανθράκων. Η ποιότητα των καλυμμάτων εξαρτάται από την κοκκομετρία, την πλαστικότητα, το πάχος και την πλευρική ασυνέχεια. Σε κάποιες περιπτώσεις εντοπίζουμε ως καλύμματα τα ίδια τα μητρικά πετρώματα.

- και τέλος την ύπαρξη παγίδων. Ως παγίδες υδρογονανθράκων ορίζουμε ρήγματα ή διάφορους σχηματισμούς που δημιουργήθηκαν από παραμορφωτικές τάσεις του φλοιού της Γης. Υπάρχουν 3 είδη παγίδων: οι τεκτονικές, οι στρωματογραφικές και οι υδροστατικές και εξαρτώνται κυρίως την γεωλογική ιστορία της περιοχής.

## **3.2 ΔΟΜΗ ΠΕΤΡΕΛΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

Όπως προαναφέρθηκε, ένα πετρελαϊκό σύστημα αποτελείται από :

- Τα μητρικά πετρώματα,
- Το τρόπο και την χρονική στιγμή της μετανάστευση των υδρογονανθράκων,
- Τα πετρώματα που λειτουργούν ως ταμιευτήρες,
- Τα πετρώματα που λειτουργούν ως καλύμματα και τέλος
- Η ύπαρξη παγίδων.

### **3.2.1 ΜΗΤΡΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ (Source Rock):**

Ως μητρικά πετρώματα ορίζονται τα πετρώματα τα οποία αποτελούνται κυρίως από οργανικό υλικό αλλά και διάφορα ιζήματα όπου μέσα σε αυτά συντίθεται το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Γενικά, τα μητρικά πετρώματα είναι αδιαπέρατοι σχηματισμοί και το οργανικό υλικό που τα απαρτίζει μετατρέπεται σε υδρογονάνθρακες. Τα περιβάλλοντα που εντοπίζονται τα μητρικά πετρώματα είναι περιβάλλοντα με : υψηλή ταχύτητα καθίζησης (πχ. ζωνώδεις σχιστόλιθοι σε δέλτα), υψηλή βιολογική παραγωγή (πχ. ανθρακικές πλάκες) και με υψηλό πολλαπλασιασμό φυκιών και πλαγκτόν (πχ. λίμνες). Τα μητρικά πετρώματα δημιουργούνται λόγω της καθίζησης της οργανικής ύλης σε συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης P και θερμοκρασίας T , η οποία απολιθώνεται και στην συνέχεια ενταφιάζεται. Αναλυτικότερα, στον πυθμένα ζουν και δρουν διάφοροι μικροοργανισμοί, όπου υπάρχει ο μηχανισμός της βιοαναμόχλευσης<sup>1</sup>. Οι μικροοργανισμοί που δρουν και ζουν σε στάσιμα ύδατα, παρουσιάζεται η απουσία της βιοαναμόχλευσης όπου λόγω της έντονης απουσίας οξυγόνου αλλά και της αυξημένης τοξικότητας από το υπάρχον Υδρόθειο (H<sub>2</sub>S) συνεπάγεται η αυξημένη διατήρηση της οργανικής ύλης.

Σημαντικός παράγοντας επίσης στην δημιουργία των μητρικών πετρωμάτων αποτελεί ο ρυθμός ιζηματογένεσης σε μία λεκάνη ιζηματογένεσης.

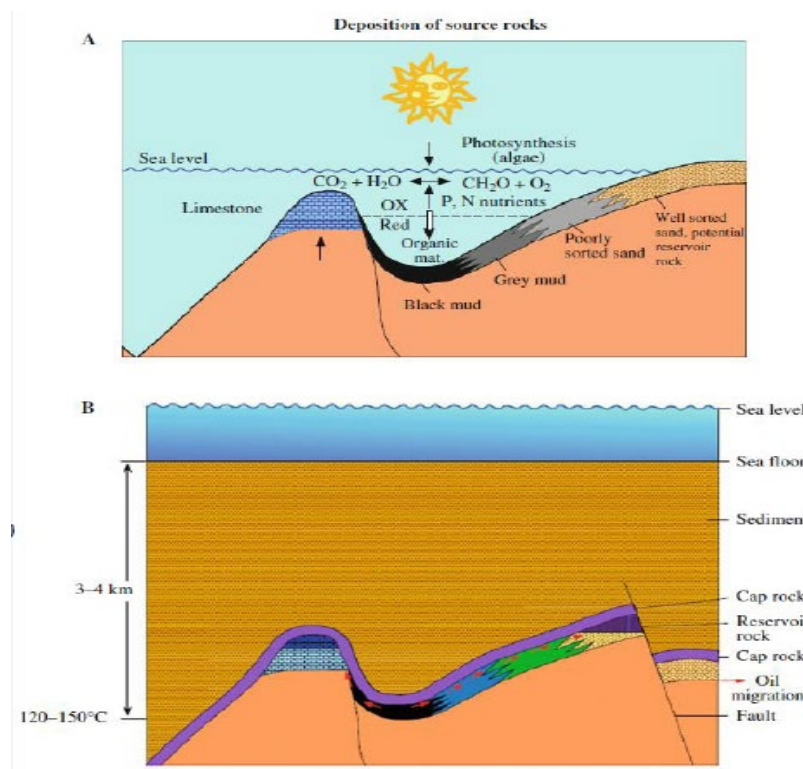
Ο ρυθμός ιζηματογένεσης διακρίνεται ως εξής:

- Χαμηλός ρυθμός ιζηματογένεσης: Λόγω της δράσης των μηχανισμών της διάσπασης και της βιοαναμόχλευσης, η πιθανότητα διατήρησης της οργανικής ύλης καθίσταται μικρή.
- Υψηλός ρυθμός ιζηματογένεσης: Και σε αυτή την περίπτωση η πιθανότητα διατήρησης της οργανικής ύλης καθίσταται μικρή, διότι, υπάρχει ταυτόχρονα

<sup>1</sup>Βιοαναμόχλευση (bioturbation): ορίζεται η βιογενής ιζηματοδομή που προέρχεται από την επανεπεξεργασία των χαλαρών ιζημάτων λόγω της δραστηριότητας διαφόρων σπονδυλωτών ή ρίζες φυτών, δημιουργώντας οπές.

αυξημένη παροχή οργανικής ύλης και δράση του μηχανισμού αραίωσης (dilution), λόγω της κυριαρχίας των κόκκων των διαφόρων ιζημάτων.

- Μέτριος ρυθμός ιζηματογένεσης: Συνήθως, στην συγκεκριμένη περίπτωση, ο ρυθμός ιζηματογένεσης είναι, κατά μέσο όρο, περίπου 10-100 mm / 1000 yr. Στην περίπτωση αυτή οι επικρατούσες συνθήκες καθίστανται ιδανικές για την δημιουργία μητρικών πετρωμάτων.



-Εικόνα 3.1: Δημιουργία μητρικών πετρωμάτων. Πηγή: «E8210: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩNeclass.uoa.gr/courses/GEOL250/»

Η πιθανότητα δημιουργίας ενός μητρικού πετρώματος (δηλαδή η διατήρηση της οργανικής ύλης) εξαρτάται κυρίως από το ισοζύγιο:

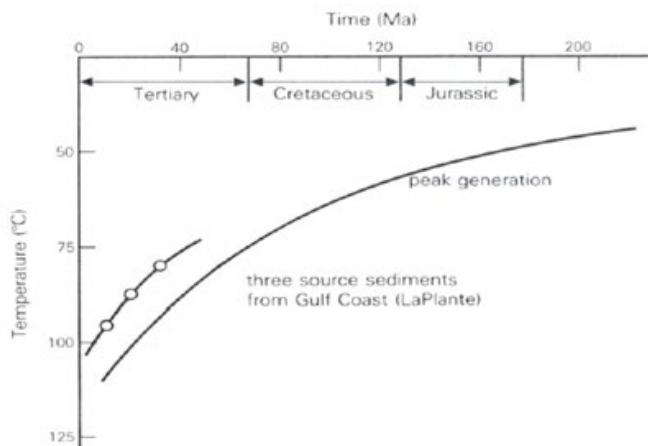
$$\frac{\text{συσσώρευση οργανικού υλικού}}{\text{διάσπαση (οξείδωση) αυτού}}$$

Το ισοζύγιο αυτό τείνει να είναι θετικό κατά τις θερμές περιόδους. Οι θερμές περιόδους χαρακτηρίζονται από ανοξικά γεγονότα και χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν:

- Κρητιδικό → θερμή περίοδος → περιορισμένη κυκλοφορία στον Ατλαντικό
- Λίμνες και σχετικά κλειστές θαλάσσιες λεκάνες: καλή διαστρωμάτωση → ανάμιξη στην υδάτινη στήλη περιορισμένη → διατήρηση της οργανικής ύλης υψηλή.

Στα λεπτομερή ιζήματα παρατηρείται δυσχερής κυκλοφορία του νερού, άρα κατ' επέκταση και του οξυγόνου, και αυτό προκαλείται λόγω των πολύ μικρών κενών μεταξύ των κόκκων των διαφόρων ιζημάτων. Έτσι, ευνοείται ο μετασχηματισμός του οργανικού υλικού σε μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) και διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) κάτω από αναερόβιες συνθήκες.

Για να χαρακτηριστεί ένα μητρικό πέτρωμα «Καλό» θα πρέπει να περιέχει υψηλό ποσοστό οργανικού άνθρακα **TOC** (Total Organic Content) ακόμα και σε ποσοστό >20%. Αυτό συνήθως είναι εφικτό σε λεπτομερή ιζήματα. Όμως, ο χαρακτηρισμός ενός μητρικού πετρώματος δεν εξαρτάται μόνο από την υψηλή περιεκτικότητα **TOC** αλλά και από την ωρίμανση του εκάστοτε πετρώματος.



-Εικόνα 3.2: Διάγραμμα μεταβολής θερμοκρασίας (C) - χρόνου (Ma) της ωρίμανσης ενός μητρικού πετρώματος. Πηγή: «E8210: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ eclass.uoa.gr/courses/GEOL250/»

Το **TOC** περιλαμβάνει δύο κατηγορίες χημικών ενώσεων:

- Το βιτουμένιο (bitumen) και
- Το κηρογόνο (kerogen)

**Βιτουμένιο (bitumen).** Είναι διαλυτό στους διάφορους οργανικούς διαλύτες. Αποτελείται από αυτόχθονα αρωματικά και αλιφατικά συστατικά, από ενώσεις Αζώτου (N) – Θείου (S) – Οξυγόνου (O) και από υδρογονάνθρακες οι οποίοι δημιουργήθηκαν σε άλλο μέρος και μέσω τη διαδικασίας της μετανάστευσης βρέθηκαν στην υπό εξέταση ιζηματογενής ακολουθία.

**Κηρογόνο (kerogen).** Ο όρος αυτός αναφέρθηκε για πρώτη φορά από τον Σκωτσέζο χημικό Alexander Crum Brown το 1912 και ορίζεται ως το συνονθύλευμα των οργανικών χημικών ενώσεων και αποτελεί μέρος της συνολικής οργανικής ύλης η οποία βρίσκεται εντός της υπό εξέτασης ιζηματογενής ακολουθίας. Είναι αδιάλυτο στους οργανικούς διαλύτες, στο νερό και στα διάφορα οξέα, κάτι που οφείλεται στο μεγάλο μοριακό βάρος (> 1000 daltons) των διαφόρων ενώσεων που το αποτελούν. Το σύνολο των ενώσεων που το απαρτίζουν, οφείλονται κυρίως στην αντίδραση αμινοξέων με υδρογονάνθρακες. Το κηρογόνο καταλαμβάνει συνήθως υψηλά ποσοστά με χαρακτηριστικό παράδειγμα τους αργιλικούς σχίστες (shales) που καταλαμβάνει ποσοστό 85-90 %. Ο γενικός χημικός τύπος του κηρογόνου είναι:  $(C_{12}H_{12}ON_{0.16})_x$

Το κηρογόνο διακρίνεται σε 3 τύπους. Οι τύποι αυτοί προκύπτουν από την διάσπασή του. Αναλυτικότερα, η διάσπαση του “ασταθούς” κηρογόνου (labile kerogen) παράγει βαριούς υδρογονάνθρακες (heavy hydrocarbons), η διάσπαση του “ανθεκτικού” κηρογόνου (refractory kerogen) παράγει ελαφριούς υδρογονάνθρακες (light hydrocarbons) και φυσικό αέριο (gas) και τέλος, η διάσπαση του “αδρανούς” κηρογόνου (inert kerogen) παράγει τον γραφίτη (graphite). Όταν το κηρογόνο παρουσιάζει αυξημένη περιεκτικότητα σε υδρογόνο (H), τότε υπάρχει αυξημένη πιθανότητα γένεσης υδρογονανθράκων από αυτό. Οι τύποι του κηρογόνου αποτυπώνονται στο διάγραμμα Van Krevelen όπου συγκρίνονται οι αναλογίες υδρογόνου/άνθρακα και οξυγόνου/άνθρακα. Μέσω αυτής της σύγκρισης προκύπτουν οι εξής τύποι κηρογόνου:

Τύπος 1 : Σαπροπηλικό κηρογόνο

Τύπος 2 : Λιπτινικό – πλαγκτονικό κηρογόνο

Τύπος 3 : Χουμικό κηρογόνο

Τύπος 4 : Κηρογόνο από υπολείμματα οργανικής ύλης

Τύπος 1: Σαπροπηλικό κηρογόνο: Η οργανική ύλη που δημιουργεί τον τύπο αυτό προέρχεται κυρίως από την απολίθωση φυκών (algae) (κυρίως του γλυκού νερού), αλγινίτη (alginite), κυανοακτηρίων (cyanobacteria), άμορφης οργανικής ύλης και ρητινών χερσαίων υπολειμμάτων τα οποία έχουν αποθεθεί κάτω από συνθήκες έλλειψης οξυγόνου σε περιβάλλοντά βαθιών λιμνών. Η αναλογία Υδρογόνου/Άνθρακα είναι μεγαλύτερη από 1,25 και η αναλογία Οξυγόνου/Άνθρακα είναι μικρότερη από 0,15. Σχηματίζεται κυρίως από πρωτεΐνες και λιπίδια και συνήθως από τον τύπο αυτό παράγονται υγροί και αέριοι υδρογονάνθρακες.

Τύπος 2: Λιπτινικό – πλαγκτονικό κηρογόνο: Η οργανική ύλη που δημιουργεί αυτόν τον τύπο πετρωμάτων προέρχεται κυρίως από την απολίθωση θαλάσσιων φωτοσυνθετικών φυτών και βακτηρίων, δηλαδή φυτοπλαγκτόν και ζωοπλαγκτόν. Περιλαμβάνει: σπορονίτη (sporinite) (προέρχεται από το περίβλημα της γύρης και των σπόρων), κουτινίτη (cutinite) (προέρχεται από τους επιδερμικούς ιστούς των φυτών της χέρσου), ρεζινίτη (resinite) (προέρχεται από τις ρητίνες των χερσαίων φυτών και των αποσυντιθέμενων ζώων) και λιπτινίτη (liptinite) (προέρχεται από τα λιπίδια χερσαίων φυτών και θαλάσσιων φυκών). Συνήθως εμφανίζει έντονη περιεκτικότητα σε θείο και η αναλογία Υδρογόνου/Άνθρακα είναι μικρότερη από 1,25 και η αναλογία Οξυγόνου/Άνθρακα είναι μεταξύ 0,03 έως 0,18. Από τον τύπο αυτό παράγονται πετρέλαιο και φυσικό αέριο αλλά το δυναμικό αυτού του τύπου κηρογόνου είναι χαμηλότερο από το δυναμικό του τύπου κηρογόνου 1 για την παραγωγή υδρογονανθράκων.

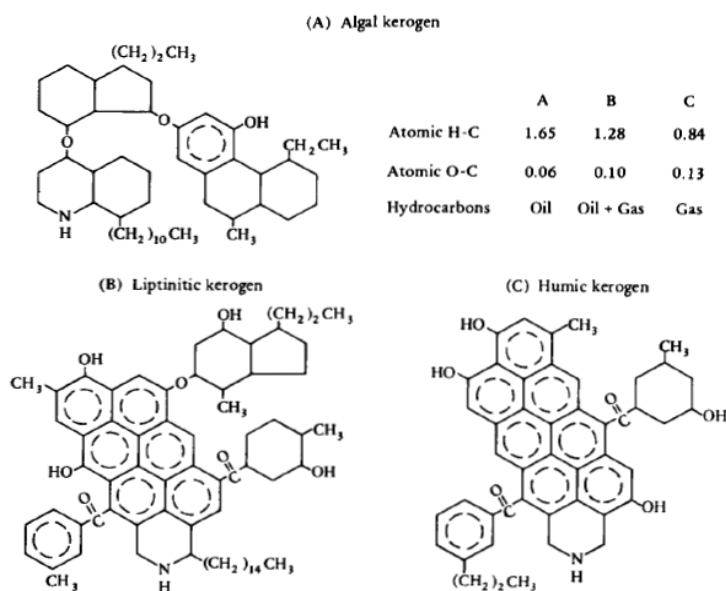
Τύπος 3: Χουμικό κηρογόνο: Ο τύπος αυτός προέρχεται από την απολίθωση της χερσαίας νεκρής οργανικής ύλης κάτω από συνθήκες μέγιστης παροχής οξυγόνου αλλά και περιορισμένης παροχής υδρογόνου. Περιέχει σε μεγάλο ποσοστό πολυαρωματικούς συμπυκνωμένους υδρογονάνθρακες, ενώσεις πλούσιες σε οξυγόνο και ελάχιστο ποσοστό αλφατικών αλυσίδων, ενώ η περιεκτικότητα σε υδρογόνο είναι εξαιρετικά χαμηλή, λόγω έντονων δακτυλίων και της παρουσίας των αρωματικών δομών. Η αναλογία Υδρογόνου/Άνθρακα είναι μικρότερη από 1,00 και η αναλογία Οξυγόνου/Άνθρακα είναι μεταξύ 0,03 έως 0,3. Οπτικά μοιάζει με ξύλο ή με τον



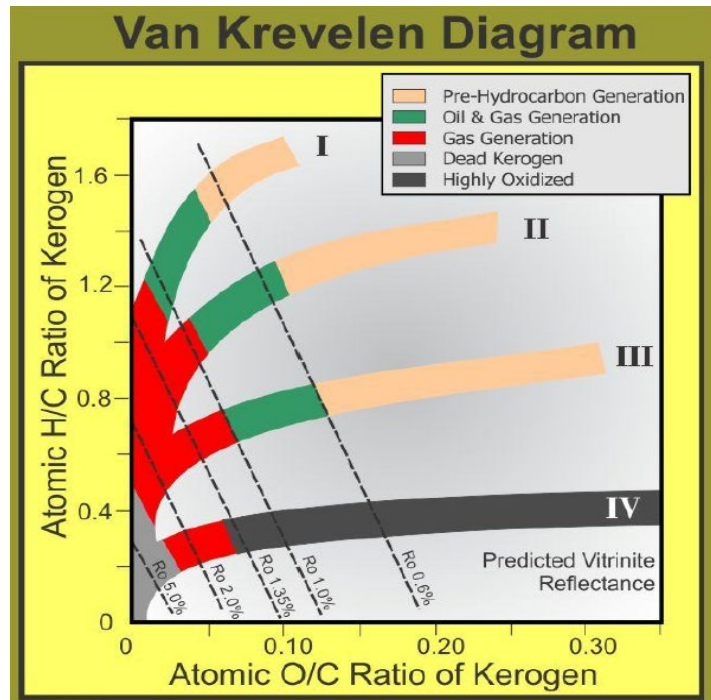
άνθρακα. Συνήθως παράγει φυσικό αέριο, όμως σε μεγάλα βάθη. Το τελευταίο διάστημα οι επιστήμονες ανακάλυψαν ότι αυτός ο τύπος κηρογόνου μπορεί να παράγει και πετρέλαιο όμως οι συνθήκες του περιβάλλοντος παραγωγής θα πρέπει να είναι εξαιρετικά ακραίες.

Τύπος 4: Κηρογόνο από υπολείμματα οργανικής ύλης: Ο τύπος αυτός προέρχεται από την απολίθωση των υπολειμμάτων της χερσαίας φυτικής οργανικής ύλης η οποία χαρακτηρίζεται από πτωχά ποσοστά λιπιδίων και κηρώδους υλικού, και συνήθως εμφανίζεται σαν πολυκυκλικός αρωματικός υδρογονάνθρακας. Περιέχει κυτταρίνη η οποία είναι ο δομικός πολυσακχαρίτης των φυτών, είναι η πιο γνωστή οργανική ένωση παγκοσμίως και είναι το δομικό συστατικό του κυτταρικού τοιχώματος του φυτικού κυττάρου. Τα μόρια της κυτταρίνης είναι μακριές αλυσίδες που συνδέονται με δεσμούς υδρογόνου (H) με αποτέλεσμα να σχηματίζονται ισχυρά πλέγματα. Δεύτερο συστατικό αυτού του τύπου κηρογόνου είναι ο λιγνίτης ο οποίος είναι ένα πολυμερές μη-υδατανθρακικό και σχηματίζεται από φαινυλο-προπάνιο. Η αναλογία Υδρογόνου/Άνθρακα είναι μικρότερη από 0,5.

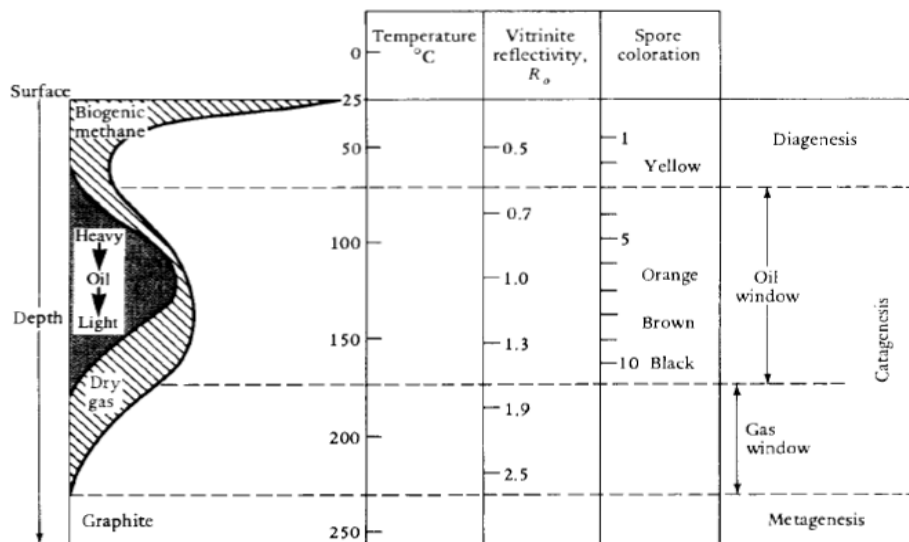
Οι τύποι 1, 2 και 3 φέρουν και παράγουν κυρίως πετρελαιογόνες ουσίες, σε αντίθεση με τον τύπο 4 που δεν μπορεί να παράξει υδρογονάνθρακες.



-Εικόνα 3.3: Απεικόνιση της μορφής των μορίων των τύπων 1,2,3 του κηρογόνου. Πηγή: « E810: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ eclass.uoa.gr/courses/GEOL250/»



-Εικόνα 3.4: Διάγραμμα VanKrevelen, στο οποίο αποτυπώνονται οι 4 τύποι κηρογόνου. Πηγή: «Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Κοιτασματολογία Πετρελαίου. Δρ. Α. Γεωργακόπουλος. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης».



**FIGURE 5.19** Correlation between hydrocarbon generation, temperature, and some paleothermometers.

-Εικόνα 3.5: Απεικόνιση της σχέσης μεταξύ της γένεσης των υδρογονανθράκων, της θερμοκρασίας και του παλαιοκλίματος. Πηγή: «E8210: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ eclass.uoa.gr/courses/GEOL250/»

Types of Kerogen and Their Hydrocarbon Potential				
Environment	Kerogen Type	Kerogen Form	Origin	HC Potential
Aquatic	I	Alginite	Algal bodies	Oil
		Amorphous Kerogen	Structureless debris of algal origin	
	Structureless planktonic material, primarily of marine origin			
Terrestrial	II	Exinite	Skins of spores and pollen, cuticle of leaves and herbaceous plants	Gas, some oil Mainly gas None
			III	
	IV	Inertinite		

-Εικόνα 3.6: Απεικόνιση των 4 τύπων κηρογόνου και το δυναμικό των υδρογονανθράκων που παράγονται από αυτά. Πηγή: Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Κοιτασματολογία Πετρελαίου. Δρ. Α. Γεωργακόπουλος. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Quality of Organic Matter				
Kerogen Type	Kerogen Composition	Hydrogen Index (HI) (mg HC/g TOC)	S2/S3	Main Product Expelled at Peak Maturity
I	amorphous/alginate	>600	>15	Oil
II	Exinite	300-600	10-15	Oil
II/III	exinite/vitrinite	200-300	5-10	mixed oil and gas
III	vitrinite	50-200	1-5	Gas
IV	inertinite	<50	<1	None

-Εικόνα 3.7: Πίνακας που απεικονίζονται οι 4 τύποι κηρογόνου με βάση τον "δείκτη υδρογόνου" και τον λόγο S2/S3, ο οποίος προκύπτει από την γεωχημική διαδικασία πυρόλυσης Rock - Eval<sup>2</sup>. Πηγή: «Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Κοιτασματολογία Πετρελαίου. Δρ. Α. Γεωργακόπουλος. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης».

<sup>2</sup>Rock – Eval (αναλύεται στο κεφάλαιο 5)

### 3.2.2 METANASTEYΣH (Migration):

Η μετανάστευση του πετρελαίου και του φυσικού αερίου είναι ένα από τα μισών ζητήματα στην πετρελαϊκή βιομηχανία. Στην μετανάστευση του πετρελαίου και του φυσικού αερίου προέρχεται από την κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών. Η μετατόπιση τους πριν από εκατομμύρια χρόνια, προκάλεσε έντονες συγκρούσεις μεταξύ τους οι οποίες προκάλεσαν μεγάλες πιέσεις κάτω από την επιφάνεια της Γης. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την μετακίνηση του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Σύμφωνα με την θεωρία των ρευστών, κάθε ρευστό τείνει να μεταναστεύει από μια υψηλής πίεσης περιοχή σε μια χαμηλότερης πίεσης πραγματοποιώντας την διέλευση του μέσα από πόρους, ρωγμές και τα διάφορα άλλα κενά του πετρώματος που διαπερνά. Το ίδιο ακριβώς γίνεται και με τους υδρογονάνθρακες (πετρέλαιο και φυσικό αέριο). Η μετανάστευση των υδρογονανθράκων είναι συνήθως αλληλένδετη και υποβοηθάτε από την μετανάστευση νερού. Οι υδρογονάνθρακες, επειδή ακριβώς ακολουθούν τις ιδιότητες ενός οποιουδήποτε ρευστού τείνουν να μεταναστεύσουν σε περιοχές χαμηλής πίεσης δηλαδή να μεταναστεύσουν έως την επιφάνεια της γης, αυτό είναι η λεγόμενη διαρροή πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Για να θεωρηθεί ότι ένα κοίτασμα πετρελαίου και φυσικού αερίου είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμο θα πρέπει η μετανάστευσή του να «διακοπεί» σε περιοχές που περιβάλλονται από αδιαπέρατα (ή υδατοστεγή) πετρώματα, με αποτέλεσμα οι υδρογονάνθρακες να εγκλωβίζονται εντός αυτών των περιοχών και να δημιουργούν οικονομικά εκμεταλλεύσιμα.

Η μετανάστευση πραγματοποιείται σε 2 μέρη και χωρίζεται στην πρωτογενή και την δευτερογενή

- Ως πρωτογενής μετανάστευση (primary migration) ορίζεται η διαφυγή του πετρελαίου ή/και του φυσικού αερίου και η ροή του μέσα στους πόρους και τα διάφορα κενά των μητρικών ώριμων πετρωμάτων. Η πρωτογενής μετανάστευση συμβαίνει κυρίως από τις διακλάσεις και τις ρωγμές που υπάρχουν στα μητρικά πετρώματα και συνήθως είναι πολύ αποτελεσματική (σε ποσοστό από 60-90 %). Όμως ο μηχανισμός της πρωτογενούς μετανάστευσης, ακόμα και σήμερα, δεν έχει κατανοηθεί πλήρως.
- Ως δευτερογενής μετανάστευση (secondary migration) ορίζεται η κίνηση του πετρελαίου ή/ και του φυσικού αερίου, που έχει διαφύγει και οδεύει από το μητρικό πέτρωμα είτε προς τις θέσεις συγκέντρωσης (ταμιευτήρας) είτε προς την επιφάνεια. Η διαφυγή του πετρελαίου εμφανίζεται προς την επιφάνεια εμφανίζεται ως διαρροή και μπορεί κάποιες φορές να χαρακτηριστεί και ως τριτογενής μετανάστευση. Η δευτερογενής μετανάστευση προκαλείται κυρίως από την άνωση που δημιουργείται από τις διαφορές πυκνότητας των πετρελαϊκών ρευστών καθώς και από την πλευστότητα των υδρογονανθράκων. Η δευτερογενής μετανάστευση παύει να υπάρχει όταν η τριχοειδής πίεση των μικρών πόρων του πετρώματος υπερτερεί της επιφανειακής δύναμης πλευστότητας των υλικών.

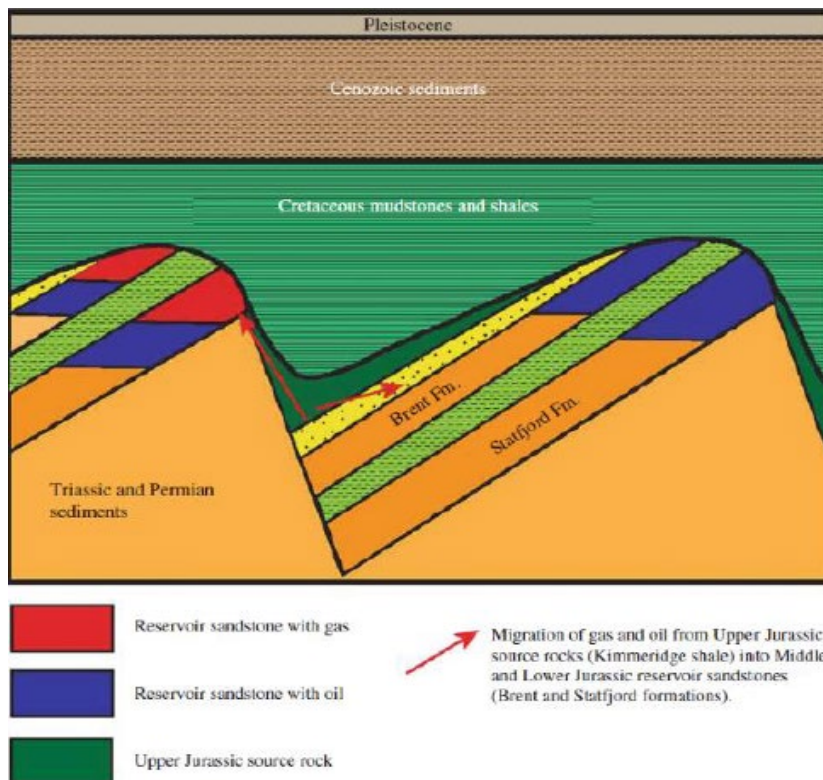
Οι υδρογονάνθρακες μεταναστεύουν με μία συγκεκριμένη ταχύτητα η οποία εξαρτάται από την διαπερατότητα του σχηματισμού που υπάρχουν. Κατά τη διαδικασία της μετανάστευσης, τα μόρια του πετρελαίου μεταναστεύουν με πιο αργό ρυθμό από ότι τα μόρια του φυσικού αερίου και αυτό γιατί τα μόρια του φυσικού αερίου είναι πιο

μικρά και περισσότερο κινητικά. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι υδρογονάνθρακες, κατά τη μετανάστευσή τους, μπορούν να συναντήσουν έναν αδιαπέρατο σχηματισμό, όμως να συνεχίσει η μετανάστευσή τους. Αυτό οφείλεται είτε σε τυχόν ρωγμές του σχηματισμού, είτε σε γειτονικούς διαπερατούς σχηματισμούς από όπου συνεχίζεται η ροή των υδρογονανθράκων.

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου ένα ποσοστό από τον συνολικό υδρογονάνθρακα δεν μπορεί να μεταναστεύσει. Το φαινόμενο αυτό καλείται "Απώλειες της Μετανάστευσης (Migration losses)", είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην μετανάστευση μεγάλης απόστασης των υδρογονανθράκων και οφείλεται σε 2 περιπτώσεις:

- Διάλυση του αυτού ποσοστού των υδρογονανθράκων στο νερό που υπάρχει στους διερχόμενους σχηματισμούς (συμβαίνει κυρίως στην περίπτωση του φυσικού αερίου) και
- Προσκόλληση του αυτού ποσοστού των υδρογονανθράκων στους κόκκους των διερχόμενων σχηματισμών.

Το ποσοστό των υδρογονανθράκων (πετρέλαιο και φυσικό αέριο) το οποίο δεν αλλοιώνεται κατά την μετανάστευση συσσωρεύονται σε έντονα αδιαπέρατους σχηματισμούς που καλούνται ταμιευτήρες (reservoirs).



-Εικόνα 3.8: Απεικόνιση διαδικασίας μετανάστευσης πετρελαίου και φυσικού αερίου εντός σχηματισμού που χρονολογείται κατά το Ιουρασικό. Πηγή: «E8210: ΕΡΕΥΝΑ ΠΙΕΤΡΕΛΑΙΩΝ eclass.uoa.gr/courses/GEOL250/».

### 3.2.3 TAMIEYTHPIA ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ (Reservoir Rocks):

Τα ταμιευτήρια πετρώματα, ή αλλιώς ο ταμιευτήρας, είναι ένας σχηματισμός με μεγάλο ποσοστό πορώδους καθώς και με αυξημένη διαπερατότητα, κάτι που καθιστά ικανούς τους υδρογονάνθρακες να αποθηκεύονται αλλά και να ρέουν μέσα σε αυτόν. Οι πιο κοινοί ταμιευτήρες είναι : τα ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες)

καθώς και οι ψαμμίτες και τα κροκαλοπαγή δηλαδή, είναι κυρίως ιζηματογενή πετρώματα, διότι έχουν αυξημένο ποσοστό πορώδους αλλά και μπορούν να σχηματιστούν σε βάθη όπου οι επικρατούσες συνθήκες συμβάλλουν στην διατήρηση των υδρογονανθράκων. Ένα άλλο χαρακτηριστικό ενός πετρώματος ταμιευτήρα είναι ότι πρέπει να έχει μια "φυσική" αποθήκευση μεγάλου ποσοστού υδρογονανθράκων, η οποία θα περιζώνεται από έναν υδατοστεγή σχηματισμό και όλη αυτή η δομή προσδίδει μια πίεση στο συνολικό σύστημα.

Για να χαρακτηριστεί λοιπόν ένα πέτρωμα ως «ταμιευτήρας» θα πρέπει να πληροί τις εξής προϋποθέσεις:

- Πορώδες και διαπερατότητα
- Φυσική αποθήκευση μεγάλου ποσοστού υδρογονανθράκων
- Κάλυμμα ή καπάκι – πέτρωμα ή φραγμό στην μετανάστευση των υδρογονανθράκων
- Φυσική πίεση πριν την παραγωγή

Ένας «κορεσμένος ταμιευτήρας σε υδρογονάνθρακες» χωρίζεται σε στρώματα ή επίπεδα τα οποία αναλύονται λιθολογικά μέσω των πυρήνων των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων. Αποτελείται από δεξαμενές (pools) οι οποίες μπορούν να είναι περισσότερες της μίας (ή και μία σε κάποιες περιπτώσεις) οι οποίες διατάσσονται στο χώρο είτε επάλληλα είτε πλάγια. Εάν υπάρχουν περισσότερες της μίας δεξαμενές, τότε οι ταμιευτήρες ονομάζονται «ταμιευτήρες πολλαπλών στρώσεων». Οι δεξαμενές αυτές έχουν ως κύριο χαρακτηριστικό το αυξημένο ποσοστό πορώδους και διαπερατότητας κάτι που τις καθιστά «ικανές» να αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες υδρογονανθράκων αλλά και να βοηθούν στην κίνησή τους.

Ο σχηματισμός ενός ταμιευτήρα προϋποθέτει:

- Ο βραχώδης σχηματισμός να έχει μεγάλο ποσοστό πορώδους, δηλαδή να έχει μεγάλη αποθηκευτική ικανότητα.
- Πρέπει να έχει μεγάλο ποσοστό διαπερατότητας, δηλαδή να είναι επιτρεπτή η ροή και η κίνηση εντός του πετρώματος.
- Πρέπει να έχει επαρκές βαθμό κορεσμού ταμιευτήρα, δηλαδή η επαρκής συγκέντρωση υδρογονανθράκων.

Για τον χαρακτηρισμό ενός πετρώματος ως «ταμιευτήρα» ακολουθούνται οι εξής μέθοδοι:

- Η μέθοδος ανάλυσης των πυρήνων των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και
- Οι γεωτρητικές διαγραφίες (well logs)

Οι σχηματισμοί που χαρακτηρίζονται ως «ταμιευτήρες» είναι:

- Οι ψαμμίτες (sandstones) και τα κροκαλοπαγή (conglomerate rock) και
- Τα ανθρακικά πετρώματα (carbonate rocks).

Αναλυτικότερα:

- A. Οι ψαμμίτες (sandstones) και τα κροκαλοπαγή (conglomerate rock) έχουν αυξημένο ποσοστό πορώδους και διαπερατότητας και συνήθως αντιπροσωπεύουν,



μέχρι σήμερα, το 80% των συνολικών ταμιευτήριων πετρωμάτων καθώς και το 60% των συνολικών ταμιευτήρων πετρελαίου. Οι ψαμμίτες αποτελούνται κυρίως από διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ), αστρίους (feldspars) και λιθοκλάστες, εμφανίζονται σε μορφή στρωμάτων είτε απλής υπέρθεσης είτε τεμνόμενα και αποτίθενται κυρίως σε ακτές, σε δέλτα ποταμών, σε βάλτους σε ηπειρωτικά περιθώρια και βαθιές λεκάνες κ.α.. Τα πετρώματα αυτά, σε κάθετη τομή, εμφανίζει γενικά εναλλαγές άμμου, σχιστολίθου και αργίλου. Το πορώδες των πετρωμάτων αυτών διακρίνεται σε πρωτογενές (primary porosity) και δευτερογενές (secondary porosity). Το πρωτογενές πορώδες κυρίως διακρίνεται σε ενδοκοκκώδες (εμφάνιση του πορώδους στο εσωτερικό των κόκκων) και διακοκκώδες (εμφάνιση του πορώδους μεταξύ των κόκκων).

B. Τα ανθρακικά πετρώματα (carbonate rocks) διακρίνονται σε:

- Ασβεστολίθους (limestones) ( $\text{CaCO}_3$ ) και
- Δολομίτες (dolomites) [ $\text{CaMg}(\text{CaCO}_3)$ ]

και έχουν μεγάλη σημασία διότι πληρούν στοιχεία ταμιευτήρα. Τα ανθρακικά πετρώματα δημιουργούνται από:

- Θραύσματα οργανικής ύλης
- Υφάλους (reefs)
- Διαδικασία χημικής καθίζησης του διαττανθρακικού νατρίου ( $\text{NaHCO}_3$ ) από τα διάφορα θαλάσσια ιζήματα – λάσπες.

Τα ανθρακικά πετρώματα εντοπίζονται σε περιβάλλοντα:

- Θαλάσσια (περιθώρια ανθρακικών πλατφορμών, ηπειρωτική κατωφέρεια, βαθιά θάλασσα μέχρι το CCD (Βάθος Αντιστάθμισης Ασβεστίτη) κ.α.)
- Μη θαλάσσια (λίμνες, πηγές, σπήλαια).

Κύριο όμως περιβάλλον απόθεσης των ανθρακικών είναι το θαλάσσιο περιβάλλον.

Χαρακτηρίζονται ως μακροπερατά πετρώματα με διακλάσεις στις οποίες μπορούν να “αποθηκευτούν” οι υδρογονάνθρακες.

Όπως προαναφέρθηκε, χαρακτηριστικές ιδιότητες του πετρώματος ταμιευτήρα είναι το πορώδες (porosity) και η διαπερατότητα (permeability).

- Ως πορώδες (porosity) ορίζεται το ποσοστό του συνολικού όγκου του ρευστού που μπορεί να αποθηκευτεί στα διάφορα κενά που υπάρχουν μεταξύ των κόκκων του πετρώματος-σχηματισμού. Το πορώδες μπορεί να υποδιαιρεθεί στο ενεργό πορώδες (effective porosity) το οποίο ορίζεται ως το πορώδες που επιτρέπει την κίνηση των διαφόρων ρευστών εντός των διαφόρων κενών του σχηματισμού. Το ενεργό πορώδες είναι η πιο σημαντική μορφή πορώδους για την μηχανική πετρελαίου λόγω του ότι επιτρέπει την ροή των υδρογονανθράκων εντός του σχηματισμού.
- Η διαπερατότητα (permeability) είναι η ικανότητα ενός σχηματισμού να μεταφέρει ένα ρευστό. Ο ρυθμός μεταφοράς του ρευστού εξαρτάται κυρίως από το συνολικό ποσοστό του πορώδους του σχηματισμού αλλά και από το ποσοστό και την μορφή (μέγεθος και σχήμα) των διαφόρων συνδέσεων

μεταξύ των κενών που αναπτύσσονται ανάμεσα στους κόκκους. Η διαπερατότητα υποδιαιρείται σε ειδική (ή απόλυτη) (specific or absolute permeability) και η υποδιαίρεση αυτή γίνεται με βάση τον νόμο του Darcy<sup>3</sup>.

Ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό των ταμιευτήρων αποτελεί ο κορεσμός. Ως κορεσμός (saturation) ορίζεται η ιδιότητα των ρευστών να επέλθουν σε κατάσταση ισορροπίας, εντός του πορώδους μέσου-σχηματισμού, όπου η ισορροπία αυτή εξαρτάται από τον διαχωρισμό των διαφόρων ρευστών που υπάρχουν λόγω της διαφοράς πυκνότητάς τους. Όσον αφορά τους υδρογονάνθρακες, συνήθως εντοπίζονται ως εξής: το φυσικό αέριο επικαλύπτει το πετρέλαιο και το πετρέλαιο επικαλύπτει το νερό. Όταν εντοπίζεται αυξημένο ποσοστό κορεσμού σε νερό, τότε έχουμε μείωση του κενού χώρου για την "απόθεση" του πετρελαίου και του φυσικού αερίου.

Ένας τύπος κορεσμού είναι ο κρίσιμος κορεσμός (critical saturation) ο οποίος εξαρτάται από τον κάθε τύπο ρευστού που εντοπίζεται στον ταμιευτήρα. Στα πετρελαϊκά συστήματα ορίζονται οι παρακάτω τύποι κορεσμού:

- Κρίσιμος κορεσμός φυσικού αερίου (Critical gas saturation): Αυτό το είδος κορεσμού εξαρτάται από την τιμή της πίεσης του σημείου βρασμού. Αναλυτικότερα, όταν η τιμή της πίεσης στο σημείο βρασμού είναι μεγαλύτερη από την τιμή της πίεσης του ταμιευτήρα, τότε το φυσικό αέριο αλλάζει φάση και από την ελαιώδη του φάση μεταπίπτει στην αέρια, με αποτέλεσμα ο ταμιευτήρας να είναι κορεσμένος σε αέρια.
- Κρίσιμος κορεσμός πετρελαίου (Critical oil saturation): Αυτό το είδος κορεσμού συμβάλλει στην ροή του πετρελαίου και εξαρτάται από την κρίσιμη τιμή του κορεσμού πετρελαίου και η ροή θα υπερβαίνει αυτή τη τιμή. Η κρίσιμη τιμή κορεσμού πετρελαίου δεν βοηθάει στην ροή του πετρελαίου με αποτέλεσμα να παραμένει εντός των πόρων του πετρώματος.
- Υπολειπόμενος κορεσμός πετρελαίου (Residual oil saturation): Κατά την εκτόπιση του πετρελαίου είτε μαζί με νερό είτε μαζί με αέριο, εντός των πόρων του σχηματισμού θα παραμείνουν κάποια πετρελαϊκά υπολείμματα. Αυτό γίνεται αντιληπτό όταν η κρίσιμη τιμή κορεσμού είναι μικρότερη από την τιμή κορεσμού του πετρελαίου. Αυτό ορίζεται ως υπολειπόμενη τιμή κορεσμού πετρελαίου.
- Κορεσμός κινούμενου πετρελαίου (Movable oil saturation): Ως κινούμενος κορεσμός πετρελαίου ορίζεται το ποσοστό του όγκου που καταλαμβάνει το κινούμενο αργό πετρέλαιο εντός του πορώδους σχηματισμού.

Τέλος, το ιξώδες (viscosity) αποτελεί την τελευταία βασική ιδιότητα των ταμιευτήριων πετρωμάτων. Ως ιξώδες (viscosity) ορίζεται η αντίσταση που προκαλείται σε ένα ρευστό ενάντια στην κίνηση και την διάτμησή του. Το ιξώδες διακρίνεται:

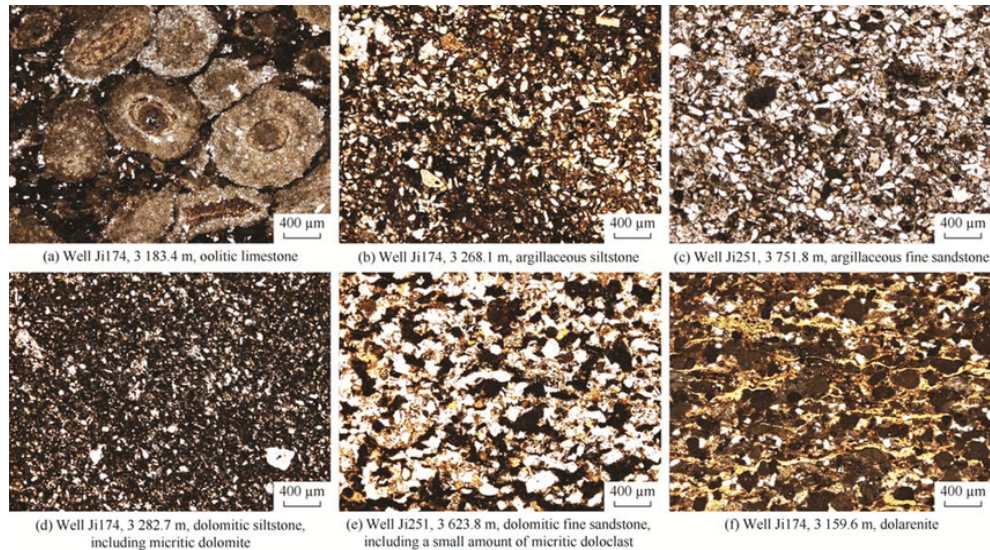
- στο κινηματικό ιξώδες (kinematic viscosity) και
- στο δυναμικό ιξώδες (dynamic viscosity).

---

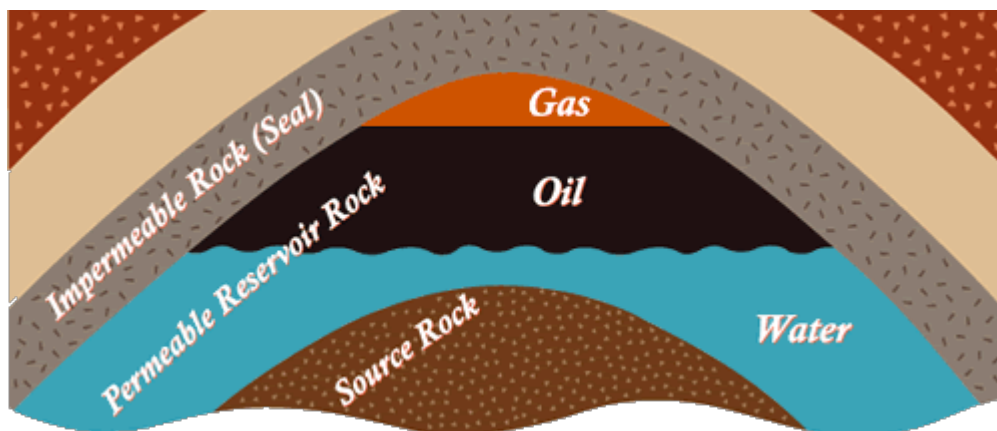
<sup>3</sup>Νόμος Darcy: η ικανότητα ενός πορώδους σχηματισμού – μέσου να επιτρέπει την ροή ενός ρευστού ανάμεσα από τους πόρους του.

Το κινηματικό ιξώδες (kinematic viscosity) είναι το μέτρο αντίστασης του ρευστού στη κίνηση – ροή και τη διάτμηση μέσω της επίδρασης της βαρύτητας. Μετρά, δηλαδή, τον συγκριτικό ρυθμό της ροής ενός υγρού ή ρευστού όταν αυτό ρέει μόνο του χωρίς να του δίνεται μόνο του.

Το δυναμικό ιξώδες (dynamic viscosity) είναι το μέτρο της εσωτερικής αντίστασης του ρευστού στην κίνηση, αλλά στο ρευστό ασκείται μία δύναμη.



-Εικόνα 3.9: Κύριοι τύποι ταμιευτήριων πετρωμάτων. Πηγή: «ResearchGate.com»



-Εικόνα 3.10: Σχηματική θέση ενός πετρώματος ταμιευτήρα. Πηγή: «RoxannaOilCompany.com»

### 3.2.4 ΔΟΜΕΣ ΣΦΡΑΓΙΣΗΣ-ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ «ΚΑΛΥΜΜΑΤΑ» (Cap Rocks):

Ως καλύμματα ορίζονται οι βραχώδεις σχηματισμοί που λειτουργούν ως “εμπόδιο” στην κίνηση των υδρογονανθράκων προς την επιφάνεια της Γης. Τα καλύμματα, θα πρέπει να έχουν συγκεκριμένο σχήμα έτσι ώστε να εμποδίσουν την προς τα πάνω, αλλά και την πλευρική, κίνηση των υδρογονανθράκων. Τα καλύμματα αυτά μπορούν, σε πολλές περιπτώσεις, να μην σφραγίσουν τέλεια τους υδρογονάνθρακες με αποτέλεσμα να πραγματοποιηθεί διαφυγή, η οποία θα εμφανιστεί είτε με τη μορφή υπολείμματος στην επιφάνεια του εδάφους είτε με τη μορφή κηλίδας στην επιφάνεια του νερού. Οι εμφανίσεις αυτές χαρακτηρίζονται ως διαρροές και μπορούν να υποδηλώσουν την

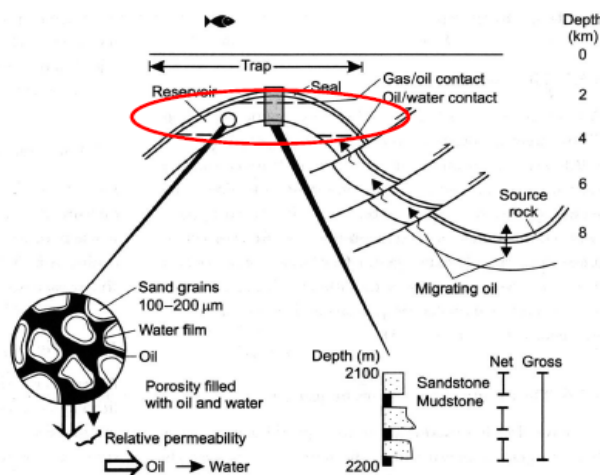
ύπαρξη ενός κοιτάσματος υδρογονανθράκων αλλά μπορούν να υποδηλώσουν επίσης ότι μεγάλο μέρος του κοιτάσματος έχει διαρρεύσει.

Τα καλύμματα (top seals) υποδιαιρούνται σε δομές σφράγισης πετρελαίου (petroleum seals). Οι δομές σφράγισης εμποδίζουν την ανοδική κίνηση, δηλαδή τη μετανάστευση των υδρογονανθράκων προς τα ανώτερα στρώματα με τις χαμηλότερες πιέσεις. Για να είναι επιτυχής η αποτροπή της μετανάστευσης των υδρογονανθράκων θα πρέπει η τριχοειδής πίεση να είναι μεγαλύτερη, πολύ μεγαλύτερη ή ίση από την ανοδική κίνηση των υδρογονανθράκων. Η σχέση αυτή θα βοηθήσει στη δημιουργία μιας τριχοειδούς σφράγισης η οποία θα εντοπίζεται κατά μήκος των πόρων και εμποδίζει την μετανάστευση των υδρογονανθράκων. Οι τριχοειδείς σφραγίσεις αυτές διακρίνονται σε 2 τύπους:

- την υδραυλική τριχοειδή σφράγιση (hydraulic seal) και
- την μεμβρανική τριχοειδή σφράγιση (membrane seal).

Η υδραυλική τριχοειδής σφράγιση (hydraulic seal) παρουσιάζεται κυρίως σε εβαπορίτες και σε πολύ πυκνούς σχιστολίθους, δηλαδή σε σχηματισμούς που παρουσιάζουν υψηλές τιμές πίεσης μετατόπισης έτσι ώστε η πίεση που είναι αναγκαία για την ροή και την μετακίνηση των υδρογονανθράκων να είναι μικρότερη από την πίεση που είναι αναγκαία για την ρηγμάτωση του εσωτερικού του πετρώματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ρηγμάτωση του πετρώματος, ειδικότερα όταν το άθροισμα των τάσεων αντοχής που ασκούνται στο πέτρωμα, είναι μικρότερο από την πίεση που ασκούν τα διάφορα κενά - πόροι του πετρώματος αυτού. Οι διάφορες ρωγμές που δημιουργούνται στους πόρους ξανακλείνουν όταν μειωθεί η πίεση των πόρων.

Η μεμβρανική τριχοειδής σφράγιση (membrane seal) έχει σαν κύριο χαρακτηριστικό την διαρροή. Η διαρροή δημιουργείται κυρίως όταν οι τιμές πίεσης της ροής και μετακίνησης των υδρογονανθράκων υστερεί των τιμών της διαφορικής πίεσης και έχει σαν αποτέλεσμα η διαρροή να πραγματοποιείται κατά μήκος της διαφοράς των δύο αυτών τύπων πίεσης και ταυτόχρονα να επιστεγάζονται τα διάφορα κενά - πόροι του πετρώματος μετά την μείωση της διαφορικής πίεσης.



-Εικόνα 3.11: Απεικόνιση μιας δομής σφράγισης - καλύμματος. Πηγή: «E8210: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ eclass.uoa.gr/courses/GEOL250/»

### ➤ **Εβαπορίτες (Evaporites):**

Ένα από τα πιο συνήθη καλύμματα αποτελούν οι εβαπορίτες. Περιβάλλοντα σχηματισμού των εβαποριτών αποτελούν:

- Τα ενδοπαλιρροϊκά και υπερπαλιρροϊκά παράκτια περιβάλλοντα (sabkhas)
- Οι λιμνοθάλασσες σε παράκτιες περιοχές (lagoons) και τέλος,
- Οι κλειστές βαθιές λεκάνες.

Γενικότερα, σχηματίζονται στην επιφάνεια των ωκεανών και χαρακτηρίζονται ως πετρώματα αλάτων διότι δημιουργούνται από την εξάτμιση του νερού κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.

Οι εβαπορίτες διακρίνονται σε:

- Αλίτες( $\text{NaCl}$ )
- Ανυδρίτες( $\text{CaSO}_4$ )
- Γύψους( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

Αλλά και σε υποδεέστερες μορφές όπως :

- Πολυαλίτης( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
- Σιλβίτης ( $\text{KCl}$ )
- Καρολλίτης( $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )
- Μπισοφίτης( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )



-Εικόνα 3.12: Απεικόνιση ενός ανυδρίτη. Πηγή: «Wikipedia.org»

### **3.2.5 ΠΑΓΙΔΕΣ (Traps):**

Οι «παγίδες» των υδρογονανθράκων αναφέρονται ουσιαστικά σε ένα ή περισσότερα εμπόδια που παρουσιάζονται και εμποδίζει την δευτερογενή μετανάστευση των υδρογονανθράκων με αποτέλεσμα να προκαλείται τοπική συσσώρευση τους. Τα εμπόδια αυτά μπορούν να είναι η ρήγματα ή παραμορφώσεις σχηματισμών κ.α. . Οι παγίδες των υδρογονανθράκων διακρίνονται σε :

1. Τεκτονικές (structural trap)
2. Στρωματογραφικές (stratigraphic traps)
3. Συνδυασμός των 1 και 2 (combination traps)
4. Υδροδυναμικές (hydrodynamic traps)

Το είδος της κάθε παγίδας διακρίνεται βάσει γεωλογικών χαρακτηριστικών που παρουσιάζει και εξαρτάται από την τεκτονική και την ιζηματογενή ιστορία της ιζηματογενούς λεκάνης που εντοπίζεται.

- 1) Τεκτονικές παγίδες (tectonic traps): Οι τεκτονικές παγίδες μπορούν να περιλαμβάνουν ρήγματα (κανονικά και ανάστροφα), αντίκλινα και θώλους άλατος.
- Τα ρήγματα (faults) (ως τεκτονικές παγίδες υδρογονανθράκων), δημιουργούνται όταν λόγω ρηγματώσης της λεκάνης, προκληθεί απομόνωση του ταμιευτήρα και να μετατοπιστεί ο υδατοστεγής βραχώδεις σχηματισμός που εμποδίζει την ροή των υδρογονανθράκων προς την επιφάνεια, ο οποίος καλείται συνήθως «κάλυμμα».
  - Οι αντικλινικές δομές (αντίκλινα) (anticline structures): δημιουργούνται από την επίδραση των δυνάμεων που ασκούνται στους υπεδάφικους σχηματισμούς και έχουν την τάση να παραμορφώσουν και να αναδιπλώσουν τους σχηματισμούς αυτούς. Οι υδρογονάνθρακες παγιδεύονται σε τέτοιες δομές και ρέουν προς τους ανώτερους περατούς σχηματισμούς έως ότου συναντήσουν ένα πέτρωμα-κάλυμμα.
  - Οι θόλοι άλατος (salt domes) δημιουργείται όταν το αλάτι, ή κάποιο άλλο αδιαπέρατο υλικό, ανέλθει προς την επιφάνεια λόγω των πιέσεων που ασκούνται στο εσωτερικό της Γης. Το αλάτι εισχωρεί στα διάφορα κενά και επαφές των στρωμάτων, συσσωρεύεται και δημιουργεί ένα αδιαπέρατο κάλυμμα, το οποίο δεν επιτρέπει την άνοδο των υδρογονανθράκων προς την επιφάνεια.

Ως επί το πλείστον, οι περισσότερες παγίδες υδρογονανθράκων είναι τεκτονικές και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι οι πρώτοι στόχοι στην έρευνα και την εκμετάλλευσή τους.

- 2) Στρωματογραφικές παγίδες (stratigraphic traps): Οι στρωματογραφικές παγίδες δημιουργούνται από την διαφορά πάχους των στρωμάτων πλευρικά και κατακόρυφα, από το ποσοστό του πορώδους των πετρωμάτων και από την σύσταση του ταμιευτήρα. Σχηματίζονται όταν ένας ψαμμίτης ή ένας ασβεστόλιθος (περατά πετρώματα) εισχωρούν και εγκλωβίζονται σε έναν σχιστόλιθο (αδιαπέρατο πέτρωμα) με αποτέλεσμα να παγιδεύονται το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Παραδείγματα στρωματογραφικών παγίδων αποτελούν:
- Οι ύφαλοι (reefs)
  - Οι παγίδες ασυμφωνιών (unconformity traps)
  - Οι παγίδες αποσφήνωσης (pinch-out traps)

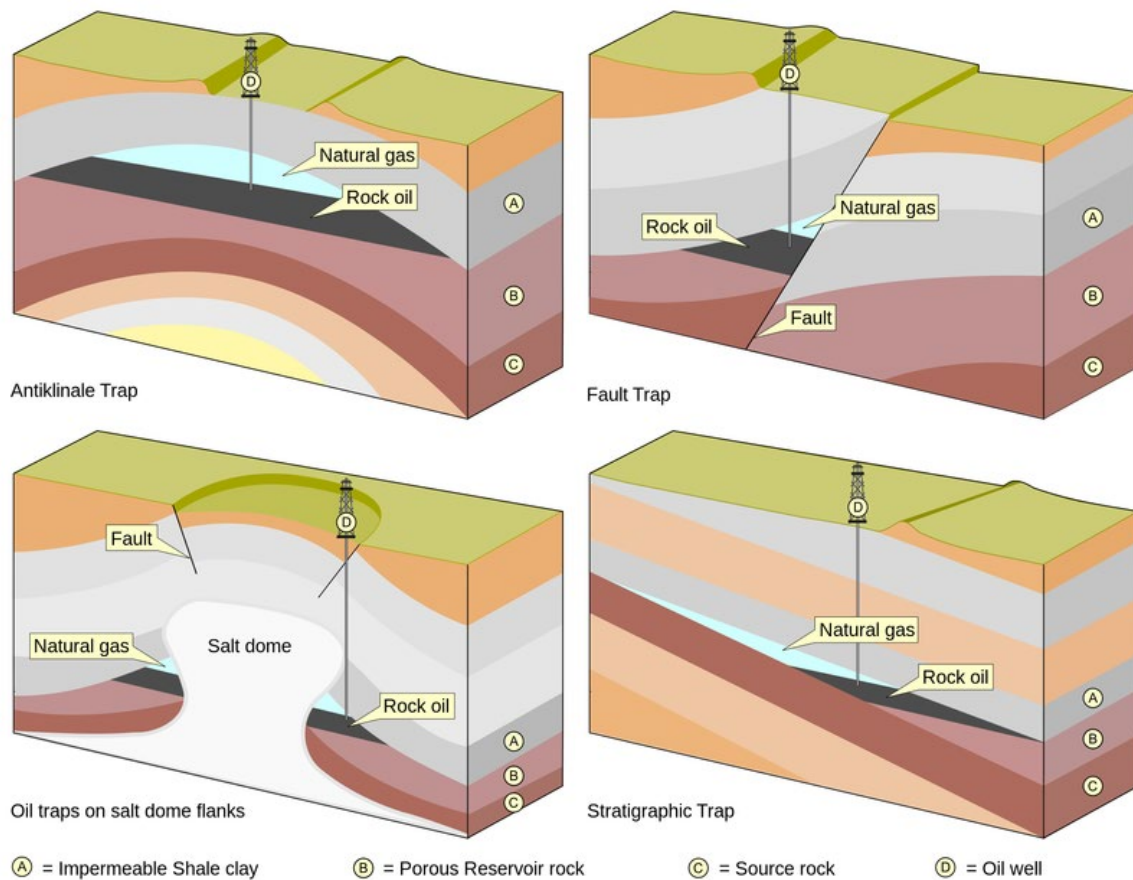
- 3) Συνδυασμός των 1) και 2) (combination of 1) and 2)): Μία «παγίδα» υδρογονανθράκων μπορεί να δημιουργηθεί από στρωματογραφικά και τεκτονικά αίτια ταυτόχρονα. Για παράδειγμα, ο εγκλωβισμός ενός ψαμμίτη εντός ενός σχιστολίθου με ταυτόχρονη δράση της τεκτονικής, όπως την ρηγματώση της περιοχής αυτής.

- 4) Υδροδυναμικές παγίδες (hydrodynamic traps): Οι υδροδυναμικές παγίδες δημιουργούνται από την επίδραση διαφόρων υδροθερμικών και πετρελαϊκών



ρευστών που βρίσκονται εντός της λεκάνης ιζηματογένεσης. Σε γενικές γραμμές, οι υδροδυναμικές παγίδες είναι σπάνιες, όμως οι επιδράσεις των διαφόρων ρευστών είναι πολύ σημαντικές, ειδικότερα σε κάποιες λεκάνες που εντοπίζονται στην προχώρα.

Παγκοσμίως, οι περισσότερες παγίδες υδρογονανθράκων είναι τεκτονικές αντικλινικές παγίδες σε ποσοστό μεγαλύτερο του 75%. Ακολουθούν, σε ποσοστό περίπου 11% ο συνδυασμός τεκτονικών και στρωματογραφικών παγίδων και τέλος, σε ποσοστό 6% εντοπίζονται καθαρά στρωματογραφικές παγίδες.

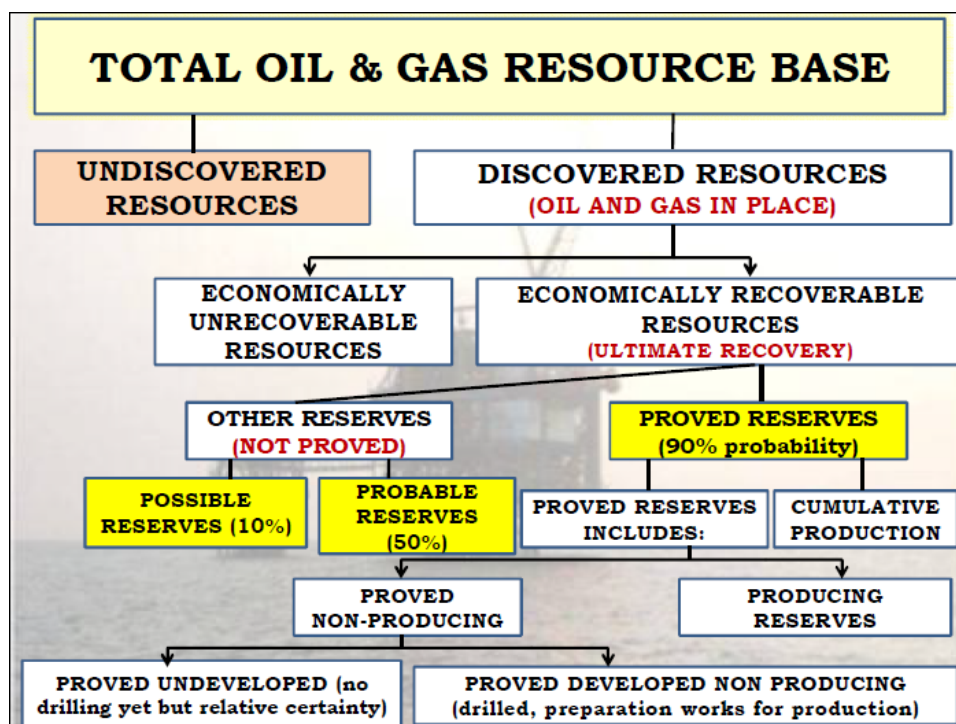


-Εικόνα 3.13: Απεικόνιση παγίδων υδρογονανθράκων. Πηγή: «Energyeducation.ca»

### 3.3 ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ (Reserves):

Ως απόθεμα ορίζεται η ποσότητα των ορυκτών πρώτων υλών η οποία είναι εκμεταλλεύσιμη και υπόκειται στις τρέχουσες οικονομικοτεχνικές συνθήκες. Ο όρος αυτός γενικά, αναφέρεται σε μία μεταβλητή πολύπλοκη τεchnο-οικονομική έννοια, η οποία είναι δύσκολο να εκτιμηθεί με σχετική ακρίβεια. Για να εκτιμηθεί το ακριβές απόθεμα ενός κοιτάσματος θα πρέπει να υπάρχει πλήρης αποστράγγιση του κοιτάσματος για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί η εκτίμηση. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιείται ο όρος "*resources*" ο οποίος περιλαμβάνει όλες τις ποσότητες υδρογονανθράκων που έχουν ανακαλυφθεί (discovered), αυτές έχουν ανακτηθεί και τέλος αυτές που δεν έχουν ανακαλυφθεί (undiscovered). Ο όρος *resources* διακρίνεται σε *discovered resources* και σε *undiscovered resources*. Τα κοιτάσματα των

υδρογονανθράκων που μπορούν να εκμεταλλευθούν θα πρέπει να υπόκεινται σε συγκεκριμένες συνθήκες τεχνικές και οικονομικές. Αναλυτικότερα, σε μία περιοχή είναι εφικτό οι έρευνες να αποδεικνύουν ότι μπορεί να υπάρξει και τεχνική δυνατότητα ανάκτησης (technically recoverable resources) εάν και το κόστος ανάκτησης δεν είναι υπερβολικά μεγάλο (economically recoverable resources), δηλαδή η ανάκτηση αυτή να επιφέρει σημαντικό κέρδος στην ανάδοχη εταιρία, τότε η εταιρία αυτή μπορεί να χαρακτηρίσει το κοίτασμα αυτό ως απόθεμα (reserve).



-Εικόνα 3.14: Απεικόνιση διαγράμματος ροής των διαφόρων κατηγοριών αποθεμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου. Στο δοθέν διάγραμμα, δεν λαμβάνονται υπόψη οι μη συμβατικοί υδρογονάνθρακες (unconventionall hydrocarbons). Πηγή: «Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Κοιτασματολογία Πετρελαίου. Δρ. Α. Γεωργακόπουλος. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.»

### ➤ ΠΕΤΡΕΛΑΙΚΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ

Τα αποθέματα πετρελαίου είναι οποιαδήποτε ποσότητα πετρελαίου που είναι εμπορικά ανακτήσιμη. Προκειμένου να θεωρηθεί ως αποθεματικό, μια δεδομένη κατάθεση πετρελαίου πρέπει να ικανοποιεί τέσσερα κριτήρια:

- Ανακαλύφθηκε μέσω εξερευνητικής γεώτρησης. Με άλλα λόγια, πρέπει να γίνει γεώτρηση για να αποδειχθεί η ανάκτηση. Πρέπει να είναι ανακτήσιμο χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα τεχνολογία.
- Πρέπει να είναι εμπορικά βιώσιμη, πράγμα που σημαίνει ότι το πετρέλαιο μπορεί να εξαχθεί με κέρδος και όχι με απώλεια.
- Πρέπει να είναι ακόμα στο έδαφος

Τα αποθέματα πετρελαίου εμπίπτουν σε τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες με βάση το πόσο βέβαιο είναι το πετρέλαιο που μπορεί να ανακτηθεί και πώς μια δεδομένη κατάθεση παραγόντων πετρελαίου στον σχεδιασμό ασφάλειας ενός έθνους. Τα αποθέματα πετρελαίου, αν και βρίσκονται σε συγκεκριμένες χώρες, θεωρούνται παγκόσμιοι πόροι, καθώς ο αντίκτυπος του πετρελαίου είναι παγκόσμιος.

### 1. Αποδεδειγμένα Αποθεματικά

Ένα αποδεδειγμένο απόθεμα είναι εκείνο στο οποίο υπάρχει 90% βεβαιότητα ότι το πετρέλαιο είναι ανακτήσιμο. Για να προσδιοριστεί η "δυνατότητα ανάκτησης" ενός δεδομένου αποθεματικού, λαμβάνονται υπόψη όλες οι γεωλογικές, οικονομικές και πολιτικές συνθήκες. Αυτά τα αποδεδειγμένα αποθέματα αναφέρονται ως P90 στη βιομηχανία, πράγμα που σημαίνει ότι έχουν 90% πιθανότητα να παραχθούν.

Τα αποδεδειγμένα αποθεματικά μπορούν να ταξινομηθούν περεταίρω είτε ως "αποδεδειγμένα ανεπτυγμένα" (PD) είτε ως "αποδεδειγμένα ανεπτυγμένα" (PUD). Το PD σημαίνει απλώς ότι έχουν βρεθεί ήδη πηγές σε αυτά τα αποθέματα ή ότι απαιτούνται λίγες πρόσθετες επενδύσεις. Τα αποθεματικά του PUD απαιτούν μεγαλύτερες επενδύσεις για να γίνουν παραγωγικές.

Τα πέντε μεγαλύτερα αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου βρίσκονται στη Σαουδική Αραβία, τον Καναδά, το Ιράν, το Ιράκ και το Κουβέιτ. Ενώ οι μεγαλύτερες ποσότητες πετρελαίου βρίσκονται στη Μέση Ανατολή, όταν διαιρούνται ανά χώρα, ο Καναδάς έχει το δεύτερο μεγαλύτερο αριθμό αποδεδειγμένων αποθεμάτων σε περίπου 19 έως 20% του συνολικού συνόλου. Οι Ηνωμένες Πολιτείες κατατάσσονται σε δέκατο τέταρτο και το Ηνωμένο Βασίλειο σε τριάντα.

### 2. Μη αποδεδειγμένα αποθεματικά

Τα αναγνωρισμένα αποθέματα είναι γεωλογικά ισοδύναμα με αποδεδειγμένα αποθέματα. Το "μη αποδεδειγμένο" τους καθεστώς βασίζεται σε τεχνικά, κανονιστικά ή πολιτικά ζητήματα. Αυτό είναι ένα παράδειγμα των γενικών κριτηρίων που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση ενός αποθεματικού. Εάν το απόθεμα παράγει πετρέλαιο, αλλά χρησιμοποιείται μόνο εσωτερικά από μια χώρα λόγω πολιτικών ή συμβατικών ζητημάτων, τότε χαρακτηρίζεται ως μη αποδεδειγμένο. Εάν το ίδιο πηγάδι άρχισε να παράγει πετρέλαιο για παγκόσμια κατανάλωση, τότε θα χαρακτηριζόταν ως αποδεδειγμένο.

Τα μη πιστοποιημένα αποθέματα εμπίπτουν σε δύο κατηγορίες: πιθανές και δυνατές. Ένα πιθανό αποθεματικό είναι το ίδιο με ένα αποθεματικό P50 στη βιομηχανική φρασεολογία, που απλά σημαίνει ότι υπάρχει πιθανότητα 50% να ανακτηθεί το πετρέλαιο από το αποθεματικό. Ένα πιθανό αποθεματικό ονομάζεται επίσης αποθεματικό P10. Τα αποθέματα P10 γενικά λαμβάνουν την ονομασία τους για τεχνικούς ή οικονομικούς προβληματισμούς και όχι για πολιτικούς λόγους.

### 3. Στρατηγικά αποθέματα

Τα στρατηγικά αποθέματα είναι τα «αποθέματα» πετρελαίου που ελέγχονται από την κυβέρνηση και διατηρούνται για να προστατεύσουν την οικονομία μιας χώρας και την εθνική ασφάλεια. Οι χώρες που διατηρούν αποθέματα εμπίπτουν σε δύο κατηγορίες: εκείνες που ανήκουν στον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA) και αυτές που δεν ανήκουν.

Τα μέλη του ΔΟΕ υποχρεούνται να διατηρούν αποθεματικό ίσο με 90 ημέρες από τις καθарές εισαγωγές πετρελαίου του προηγούμενου έτους, εκτός εάν η χώρα είναι καθαρός εξαγωγέας, όπως ο Καναδάς. Πολλές από αυτές τις χώρες έχουν συμφωνίες ανταλλαγής πετρελαίου έκτακτης ανάγκης που προβλέπουν ανταλλαγή πετρελαίου σε περιόδους έκτακτης ανάγκης ή καταστροφής. Οι χώρες του IEA περιλαμβάνουν τις Ηνωμένες Πολιτείες, τον Καναδά, το Ηνωμένο Βασίλειο, τη Γαλλία, τη Δανία, τη Γερμανία και την Ιαπωνία. Η Κίνα δεν είναι μέλος ή ο ΔΟΕ, αλλά διατηρεί στρατηγικό αποθεματικό που προβλέπεται να ισούται με 90 ημέρες εφοδιασμού μέχρι το 2020.

### 4. Πόροι

Το 2007, η Εταιρεία Μηχανικών Πετρελαίου (SPE) υιοθέτησε νέα κριτήρια αξιολόγησης για την ταξινόμηση των αποθεμάτων. Ο όρος "αποθεματικό" αντικαταστάθηκε από τον όρο "πόρος". Τα νέα κριτήρια προσθέτουν κατηγορίες για ενδεχόμενους και μελλοντικούς πόρους επιπλέον των προτύπων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Τα ενδεχόμενα αποθεματικά είναι εκείνα που είναι δυνητικά ανακτήσιμα αλλά για τα οποία η εμπορική ανάπτυξη δεν είναι ακόμη εφικτή λόγω ενός ή περισσότερων "απρόβλεπτων".

Περιλαμβάνονται αποθέματα για τα οποία η αγορά δεν έχει ακόμη ωριμάσει (δηλαδή η τιμή της εξόρυξης δεν αντισταθμίζεται από την τρέχουσα αγορά οι τιμές του πετρελαίου) και τα αποθέματα που εξαρτώνται από την τεχνολογία ανάκτησης που βρίσκεται ακόμη υπό ανάπτυξη. Τα μελλοντικά αποθέματα είναι περίπλοκα. Μπορούν γενικά να οριστούν ως τοποθεσίες όπου υπάρχει πιθανή πιθανότητα ανακάλυψης και ανάπτυξης, αλλά για τις οποίες δεν προέκυψε πραγματική ανακάλυψη πετρελαίου (χωρίς πηγάδια). Πολλά αποθέματα υπεράκτιων θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως προοπτικές.

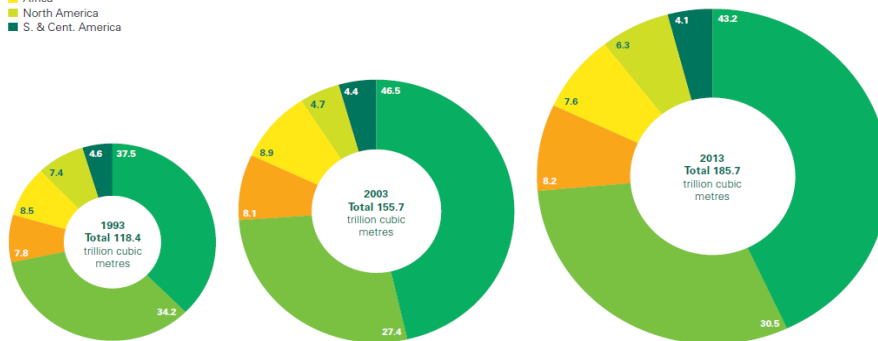
### 5. Ανταγωνιστικοί πόροι

Μια τελική ταξινόμηση είναι οι μη συμβατικοί πόροι. Επίσης, εισήχθη το 2007 από την SPE. Αυτή η ταξινόμηση περιλαμβάνει τις συσσωρεύσεις πετρελαίου που απαιτούν εξειδικευμένη τεχνολογία για την εξαγωγή, σε αντίθεση με τις γεωτρήσεις, πέραν της σημαντικής επεξεργασίας και των επενδύσεων πριν από τις πωλήσεις. Αυτό περιλαμβάνει πόρους, όπως εξαιρετικά βαρύ πετρέλαιο και σχιστόλιθο. Το συνολικό ποσό των αντισυμβατικών πόρων θεωρείται ότι είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το συμβατικό, αλλά είναι πιο δύσκολο να ανακάμψει και να δαπανηθεί περισσότερο.

**Distribution of proved reserves in 1993, 2003 and 2013**

Percentage

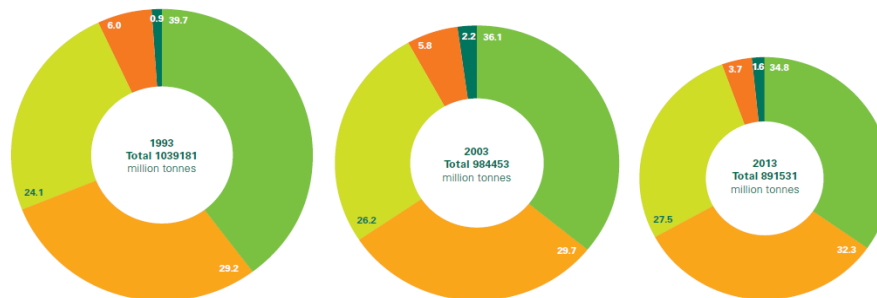
- Middle East
- Europe & Eurasia
- Asia Pacific
- Africa
- North America
- S. & Cent. America



**Distribution of proved reserves in 1993, 2003 and 2013**

Percentage

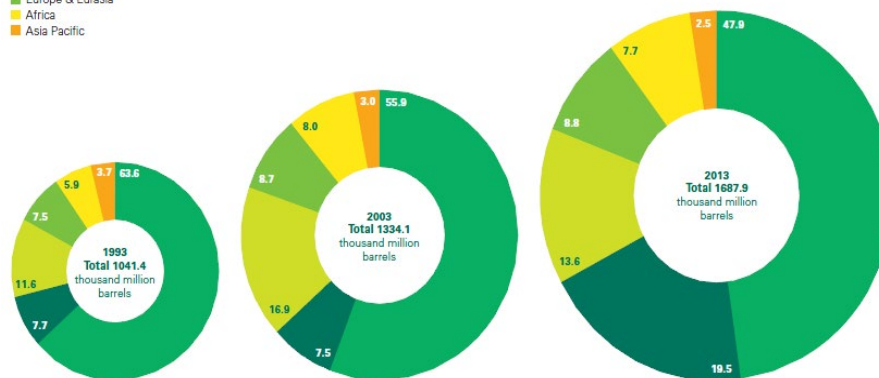
- Europe & Eurasia
- Asia Pacific
- North America
- Middle East & Africa
- S. & Cent. America



**Distribution of proved reserves in 1993, 2003 and 2013**

Percentage

- Middle East
- S. & Cent. America
- North America
- Europe & Eurasia
- Africa
- Asia Pacific



-Πίνακας 1: Τρία κυκλικά διαγράμματα ποσοστιαίας απεικόνισης παγκόσμιων αποδεδειγμένων αποθεμάτων υδρογονανθράκων. Πηγή: E8210: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝclass.uoa.gr/courses/GEOL250/

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

## **ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ**

### **4.1 ΕΥΡΕΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΑΘΡΑΚΩΝ ΜΕΣΩ ΜΙΚΡΟΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΩΝ**

Τα Πετρελαϊκά Συστήματα έχουν άμεση συσχέτιση με την Μικροπαλαιοντολογία διότι τα μικροαπολιθώματα, και ειδικότερα τα τρηματοφόρα, βοηθούν στην μελέτη της Βιοστρωματογραφίας και της Παλαιοπεριβαλλοντικής ανάλυσης μίας περιοχής μελέτης.

Σε αυτό το συνεχώς μεταβαλλόμενο οικονομικό και πολιτικό κλίμα, οι εξερευνητές πετρελαίου και οι γεωλόγοι ανάπτυξης πεδίων καλούνται να βρουν περισσότερο πετρέλαιο και να αναπτύξουν παλαιότερα αποθέματα. Παράλληλα με αυτήν την απαίτηση υπάρχει η σειρά νέων τεχνολογιών πληροφορικής, γεώτρησης και επιφανειακής μηχανικής. Ως εκ τούτου, είναι μια ικανοποιητική πρόκληση που οι γεωλόγοι πρέπει να κοιτάζουν προς τα μέσα και να ανακαλύψουν ξανά πώς μπορούν να προσθέσουν περισσότερη αξία στην επιχείρηση εξερεύνησης και παραγωγής. Αυτό έχει οδηγήσει τους βιοστρωματογράφους, συνήθως τους εξειδικευμένους παροχής υπηρεσιών, να αναπτύξουν νέες τεχνικές και προσεγγίσεις, αμφισβητώντας παλιές και ευθυγραμμίζοντας την επιστήμη με τις επιχειρηματικές ανάγκες. Τα μικροαπολιθώματα, όπως υποδηλώνει το όνομα, είναι εκείνα τα απολιθωμένα υπολείμματα που απαιτούν εξειδικευμένες μεθόδους προετοιμασίας και μελέτης. Συνήθως δεν μπορούν να μελετηθούν με «γυμνά μάτια» και απαιτούν τη χρήση μικροσκοπίου. Για να δώσουμε κάποιο ιστορικό απολογισμό, η συσχέτιση της μικροπαλαιοντολογίας με την εξερεύνηση του πετρελαίου είναι σχεδόν ένας αιώνας.

Η παλαιότερη χρήση επιδείχθηκε από τον Josef Gryzbowski της Πολωνίας το 1890 και πολλοί υπενθυμίζουν την πρωτοποριακή προσπάθειά του για τη στρωματογραφία και τη συσχέτιση των κλινών. Η εμπορική πτυχή της σπουδαιότητάς τους πραγματοποιήθηκε από πολλές γεωλογικές έρευνες, εταιρείες πετρελαίου και φυσικού αερίου και άνθρακα που προσέλαβαν ομάδες μικροπαλαιοντολόγων για να μάθουν περισσότερα για τα πετρώματα που χειρίζονταν. Αυτές οι μελέτες έχουν επίσης κερδίσει ώθηση και με την συστηματική τεκμηρίωση παγκοσμίως από διάφορες εταιρείες πετρελαίου και έχουν αποδείξει αναμφισβήτητα την προβλεπτικότητα τους στις τοπικές και γεωλογικές αναλύσεις.

Περαιτέρω οι εταιρείες πετρελαίου αποτέλεσαν επίσης σημαντικό ερέθισμα για την ανάπτυξη μικροπαλαιοντολογικών μελετών. Η αντιστοίχιση της ηλικίας αυτό το πέτρωμα είναι μία από τις βασικές απαιτήσεις των μικροπαλαιοντολογικών μελετών ως εισροών για την ανασυγκρότηση της στρωματογραφίας. Σε θαλάσσια ιζηματογενή στρώματα, είναι γνωστό ότι τα τρηματοφόρα εμφανίζονται άφθονα (αλλά μερικές φορές



όχι τόσο άφθονα) και επομένως η χρησιμότητά τους ως εργαλείο για τη χρονολόγηση και τη συσχέτιση των ιζημάτων στη σφαίρα της εξερεύνησης. Εκτός από την εκχώρηση ηλικίας στα πετρώματα, η άλλη κεντρική πτυχή των μικροπαλαιοντολογικών μελετών είναι η πρόβλεψη του βάθους του νερού και του περιβάλλοντος εναπόθεσης των ιζημάτων. Τέτοιες μελέτες είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση των συνθηκών εναπόθεσης και για την προετοιμασία ενός καταφατικού μοντέλου με λογική προβλεπτικότητα.

Οι συμβατικές μικροπαλαιοντολογικές μελέτες παρέμειναν σε μεγάλο βαθμό ένα εργαλείο για την εξερεύνηση. Τον τελευταίο καιρό, η αλλαγή στο μυαλό ανάμεσα σε πολλούς βιοστρωματογράφους βοηθά τις μελέτες να κερδίσουν προβάδισμα ως προβλέψιμα μέσα στη σφαίρα της γεωλογικής ανάπτυξης και της μοντελοποίησης των δεξαμενών. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μέθοδο της βιοανάλυσης υψηλής ανάλυσης σε κλίμακα δεξαμενής. Η εμβέλεια της μικροπαρελντολογίας στην ερμηνεία του βάθους της παλαιοκεανογραφίας και της παλαιοοικολογίας είναι επίσης ζωτικής σημασίας στοιχεία για την ανάπτυξη γεωλογικά καταφατικών μοντέλων. Η εφαρμογή τους στις μελέτες βιοποικιλότητας, έχει αποδειχθεί πέρα από κάθε αμφιβολία σημαντική, ιδιαίτερα όταν ασχολείται με την κλίμακα των αποθεμάτων (reservoir).

Εκτός από τους ρόλους που συζητήθηκαν, η σημασία της μικροπαλαιοντολογίας στην βιοτεχνολογία και στη στρωματογραφική παρακολούθηση και την εύρεση της σωστής θέσης για την εκτέλεση μίας γεώτρησης, σε πραγματικό χρόνο, είναι ένα άλλο σημαντικό στοιχείο που χρησιμοποιούν οι πετρελαϊκές εταιρείες. Αυτή η άσκηση είναι ωφέλιμη, από πλευράς κόστους, καταφέροντας τη μεγιστοποίηση της διείσδυσης στο υπάρχον απόθεμα με χαμηλή οικονομική ζημία, και αυξάνοντας σημαντικά το δείκτη παραγωγής.

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών τύπων μικροαπολιθωμάτων διαθέσιμων προς χρήση. Υπάρχουν τρεις ομάδες που έχουν ιδιαίτερη σημασία για την εξερεύνηση των υδρογονανθράκων. Οι τρεις ομάδες μικροαπολιθωμάτων που χρησιμοποιούνται συχνότερα είναι:

- Τα Τρηματοφόρα
- Τα Ασβεστολιθικά Ναννοαπολιθώματα και
- Τα Παλυνόμορφα.

Το καθένα από αυτά βοηθά στην εξερεύνηση λόγω συγκεκριμένων χαρακτηριστικών που αναλύονται παρακάτω.

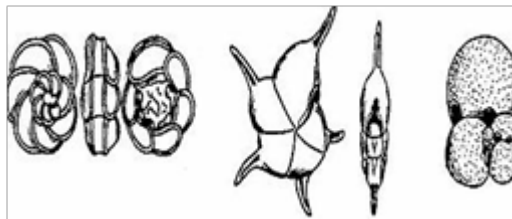
- **ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ:** Τα τρηματοφόρα είναι πρώτιστα που δημιουργούν ένα κέλυφος από την έκκριση ανθρακικού ασβεστίου ή τη συγκόλληση κόκκων άμμου ή λάσπης. Τα περισσότερα είδη τρηματοφόρων εντοπίζονται στην κατώτερη στήλη του νερού, τα οποία ονομάζονται βενθονικά τρηματοφόρα (εικ. 4.1). Όμως, κατά το Μεσοζωικό προέκυψε και μία άλλη ομάδα τρηματοφόρων, τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα (εικ. 4.2). Αυτά, ήταν και είναι ελεύθερα στη στήλη του νερού με αποτέλεσμα να είναι ευρέως διασκορπισμένα, σε αντίθεση με τα βενθονικά τρηματοφόρα. Μετά το θάνατό τους, τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα καθιζάνουν στον πυθμένα και μπορούν να απολιθωθούν στα ίδια πετρώματα με τα σύγχρονα βενθονικά τρηματοφόρα. Τα βενθονικά τρηματοφόρα τείνουν να περιορίζονται σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα

και λόγω αυτού παρέχουν πληροφορίες για το περιβάλλον όπου σχηματίστηκε το πέτρωμα στο οποίο βρίσκονται, δηλαδή λειτουργούν σαν δείκτες παλαιοπεριβάλλοντος. Για παράδειγμα, ορισμένα είδη τρηματοφόρων προτιμούν τα θολά νερά κοντά στις εκβολές των ποταμών, ενώ άλλα ζουν μόνο σε περιοχές πολύ καθαρού νερού.



-Εικόνα 4.1: Βενθονικά τρηματοφόρα. Πηγή: «Micropaleontology in Petroleum Exploration», by Asheesh Singh.

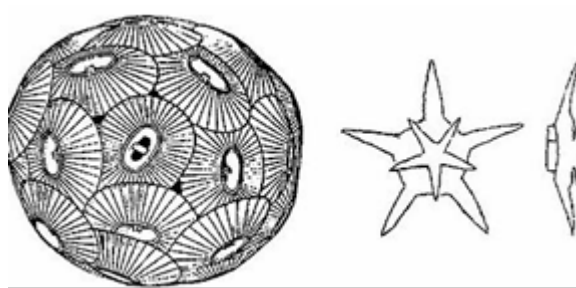
Τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα παρέχουν λιγότερες πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον απόθεσης, δεδομένου ότι ζούσαν και ζουν επιπλέοντας στη στήλη του νερού αλλά έχουν άλλα πλεονεκτήματα. Ενώ τα βενθονικά τρηματοφόρα περιορίζονται σε ορισμένα περιβάλλοντα, τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα διασκορπίζονται σε ένα πολύ ευρύτερο τμήμα των παγκόσμιων ωκεανών και συχνά βρίσκονται σε μεγάλους αριθμούς. Σε μια γεωλογική χρονική κλίμακα, γεγονότα όπως η πρώτη εμφάνιση ενός δεδομένου είδους ή η εξαφάνισή του μπορεί να συμβούν πολύ γρήγορα. Για τους παλαιοτολόγους, αυτά συσχετίζουν τα σημεία στο χρόνο και στο χώρο σε μια δεδομένη περιοχή εναπόθεσης ή ακόμα και σε ολόκληρους ωκεανούς. Ωστόσο, οι τοπικές συνθήκες ενδέχεται να αποκλείσουν ένα είδος από μια περιοχή, ενώ αυτό εξακολουθεί να υπάρχει κάπου αλλού. Αυτό δίνει ένα "κατασταλτικό" σημείο εξαφάνισης, δηλαδή, το είδος εξαφανίζεται τοπικά νωρίτερα στο γεωλογικό χρόνο απ' ό,τι σε άλλα τμήματα της ευρύτερης περιοχής.



-Εικόνα 4.2: Πλαγκτονικά τρηματοφόρα. Πηγή: «Micropaleontology in Petroleum Exploration», by Asheesh Singh.

- **ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ ΝΑΝΝΟΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΑ:** Τα Ασβεστολιθικά Νανοαπολιθώματα είναι εξαιρετικά μικρά σε μέγεθος (μικρότερα από 25 μm) που παράγονται από πλαγκτονικά μονοκυτταρικά φύκη (εικ.4.3). Όπως υποδηλώνει το όνομα, είναι κατασκευασμένα από ανθρακικό ασβέστιο. Τα νανοαπολιθώματα εμφανίστηκαν για πρώτη φορά κατά το Μεσοζωικό, εξελίχθηκαν διαχρονικά και συνεχίζουν να εξελίσσονται έως σήμερα. Η λειτουργία των ασβεστολιθικών "πλακών", ακόμη και σε ζωντανές μορφές, είναι αβέβαιη. Μια υπάρχουσα ομάδα που παράγει "ναννοαπολιθώματα" είναι τα κοκκολιθοφόρα, πλαγκτονικά χρυσαφένια φύκη που είναι άφθονα στους ωκεανούς. Οι ασβεστολιθικές πλάκες συσσωρεύονται στο βυθό του ωκεανού, απολιθώνονται κάτω από τα μεταγενέστερα στρώματα και διατηρούνται ως νανοαπολιθώματα. Όπως και τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα, ο

πλαγκτονικός τρόπος ζωής και η τεράστια αφθονία των ασβεστολιθικών νανοαπολιθωμάτων, τα καθιστούν πολύ χρήσιμα εργαλεία για τη βιοστρωματογραφία.

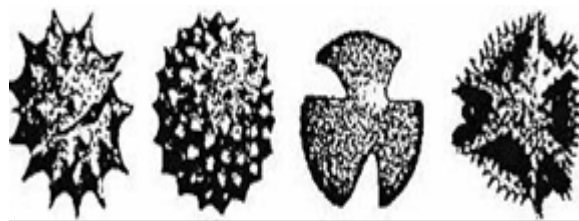


-Εικόνα 4.3: Ασβεστολιθικά νανοαπολιθώματα. Πηγή: «Micropaleontology in Petroleum Exploration», by Asheesh Singh

Τα νανοαπολιθώματα αποτελούν μία σπάνια ομάδα απολιθμάτων που έχουν καταταχθεί στην χρονολογική κλίμακα μέσω της μεθόδου της μαγνητοστρωματογραφίας ή σπάνια μέσω ραδιομετρικών μεθόδων εύρεσης ηλικιών. Όπως και τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα, έτσι και αυτά μπορούν να μελετηθούν εύκολα λόγω του τεράστιου όγκου δεδομένων που μπορούν να συλλεχθούν κατά τη διάρκεια δειγματοληπτικών γεωτρήσεων. Αυτό το πλεονέκτημα μαζί με την χρονοστρωματογραφική ανάλυση των περιοχών και των γεγονότων των νανοαπολιθωμάτων τα καθιστούν ένα από τα πιο ισχυρά εργαλεία για τη στρωματογραφική συσχέτιση. Αυτό είναι πρωταρχικής σημασίας για τη βιομηχανία των υδρογονανθράκων, όπου απαιτούνται λεπτομερείς διακρίσεις για να αποκρυπτογραφηθούν οι συσχετισμοί των στρωμάτων και κατ' επέκταση η ιστορία της στρωματογραφικής ακολουθίας. Το προστιθέμενο πλεονέκτημα των νανοαπολιθωμάτων είναι ότι, όπου υπάρχουν, η κατανομή τους είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητη από τις ιζηματογενείς αποθέσεις στις οποίες εμφανίζονται, με μοναδικό κίνδυνο τη διαγονιδιακή τροποποίηση και καταστροφή.

- **ΠΑΛΥΝΟΜΟΡΦΑ:** Τα Πολυνόμορφα (εικ.4.4) είναι οργανικά απολιθώματα τα οποία περιλαμβάνουν απολιθωμένη γύρη και σπόρους, καθώς και ορισμένους θαλάσσιους οργανισμούς όπως dinoflagellates (κόκκινα φύκια που συνθέτουν τις "κόκκινες παλίρροιες" στους σύγχρονους ωκεανούς). Η γύρη και οι σπόροι μεταφέρονται μέσω του αέρα και του νερού και μπορούν να ταξιδεύουν σε μεγάλες αποστάσεις πριν από την τελική τους απόθεση. Είναι εκπληκτικά ανθεκτικά στις διεργασίες της αποσάθρωσης, της διάβρωσης και της αποσύνθεσης και είναι κοινά ως απολιθώματα. Λόγω της μακράς μεταφοράς πριν από την απόθεσή τους, συνήθως μας λένε ελάχιστα για το περιβάλλον απόθεσης, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη βιοστρωματογραφία. Η ορυκτή γύρη και οι σπόροι μπορούν επίσης να μας δώσουν πληροφορίες για τα παλαιοκλίματα. Επιπλέον, οι οργανικές χημικές ουσίες που περιλαμβάνουν τα παλυνόμορφα γίνονται πιο σκούρες μέσω αύξησης της θερμότητας. Λόγω αυτής της αλλαγής χρώματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκτιμηθεί η θερμοκρασία στην οποία θερμάνθηκε μια σειρά πετρωμάτων κατά τη διαδικασία του ενταφιασμού. Αυτό είναι χρήσιμο στην πρόβλεψη του ενδεχόμενου

σχηματισμού πετρελαίου ή φυσικού αερίου στην υπό μελέτη περιοχή, επειδή η θερμότητα από το εσωτερικό της Γης, σε συνάρτηση με τον ενταφιασμό των διαφόρων πετρωμάτων, κάνουν το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο από τις πρώτες οργανικές πλούσιες αποθέσεις.



-Εικόνα 4.4: Παλυνόμορα. Πηγή: «Micropaleontology in Petroleum Exploration», by Asheesh Singh.

#### **4.2. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΣΩ ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΩΝ**

Η ύπαρξη ενός κοιτάσματος πετρελαίου προκαλεί στο περιβάλλον του πυθμένα της θάλασσας μία φυσική ρύπανση. Η φυσική ρύπανση αυτή εντοπίζεται μέσα από την διαδικασία της βαθμομετρικής κατανομής. Από την διαδικασία αυτή εντοπίζεται η κατανομή των τρηματοφορών με το πέρας του βάθους. Τα τρηματοφόρα τα οποία εντοπίζονται σε μεγάλη αφθονία όταν υπάρχει πετρελαϊκή ρύπανση είναι τα βενθονικά για αυτό και βοηθούν σημαντικά στην διαδικασία εύρεσης πετρελαϊκών κοιτασμάτων.

Τα βενθονικά τρηματοφόρα είναι οι κυριότεροι δείκτες θερμοκρασίας, πυκνότητας και των επικρατούντων συνθηκών του πυθμένα σε αντίθεση με τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα τα οποία επικαλύπτουν μια ποικιλία ιζηματογενών περιβαλλόντων, γεγονός που υποδεικνύει τα ευρύτερα γεωγραφικά όρια θερμοκρασίας και αλατότητας των υπερκείμενων υδάτων. Όπως έχει αναφερθεί, τα βενθονικά τρηματοφόρα ζουν στον βυθό των ωκεανών ενώ τα πλαγκτονικά επιπλέουν στην στήλη του νερού. Ο βυθός των ωκεανών, λόγω αυτού, ονομάζεται επίσης και βενθονική ζώνη. Στη βενθονική ζώνη το φως του ήλιου δεν μπορεί να διεισδύσει λόγω του μεγάλου βάθους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, τα βενθονικά τρηματοφόρα να είναι καλοί δείκτες της φυσικής ρύπανσης που προκαλούν τα κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου, επειδή ζουν στα ιζήματα για όλη ή για το μεγαλύτερο μέρος της ζωής τους με περιορισμένη κινητικότητα και διαφέρουν ως προς την ανοχή τους στην ποσότητα και στον τύπο ρύπανσης από τα υπόλοιπα μικροαπολιθώματα που ζουν στην βενθονική ζώνη (στην βενθονική ζώνη ζουν εκτός από τα βενθονικά τρηματοφόρα και βρυόζωα, σπόγγοι, θαλάσσιες αράχνες, κρινοειδή κ.α.). Μεγάλο μέρος του οικοσυστήματος / οικοτόπου της βενθονικής ζώνης, και κατ' επέκταση και των βενθονικών τρηματοφόρων, μπορεί να χαθεί ή να αποσταθεροποιηθεί λόγω την πετρελαϊκής ρύπανσης που προκαλείται από τις δραστηριότητες εξερεύνησης και παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η ρύπανση που προκαλείται από τις διάφορες δραστηριότητες δεν είναι μόνο οι διάφορες χημικές ουσίες που εμπεριέχονται στην χημική σύσταση του πετρελαίου αλλά και τυχόν αύξηση της τοπικής θερμοκρασίας στο περιβάλλον του πυθμένα ή πρόκληση θορύβου από τα γεωτρύπανα και τις διάφορες γεωτρυτικές δραστηριότητες. Τρανταχτό παράδειγμα αποσταθεροποίησης των βενθονικών οικοσυστημάτων αποτελεί το Δέλτα

του Νίγηρα, όπου μέσω των δραστηριοτήτων αυτών και λόγω της έλλειψης σωστών κατευθυντήριων γραμμών προκλήθηκε σχεδόν αφανισμός των βενθονικών οικοτόπων.



-Εικόνα 4.5: Εικόνα από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, όπου απεικονίζονται μικροοργανισμοί της βενθικής ζώνης, όπως amphipoda. Πηγή: «Wikipedia.org»

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

## **ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΑΘΡΑΚΩΝ**

### **5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Όταν πρόκειται για την εξεύρεση πετρελαίου, οι υπεύθυνοι είναι οι γεωλόγοι. Οι γεωλόγοι χρησιμοποιούν τις γνώσεις τους για τους βραχώδεις σχηματισμούς προκειμένου να βρουν τις κατάλληλες συνθήκες για μια παγίδα πετρελαίου (reservoir). Τα παλαιότερα χρόνια οι γεωλόγοι χρειαζόταν να ερμηνεύσουν τα επιφανειακά χαρακτηριστικά, το επιφανειακό πέτρωμα, τους τύπους εδάφους και ενίοτε να μελετήσουν δείγματα πυρήνων που λαμβάνονται με ρηχές γεωτρήσεις για να «προβλέψουν» τη θέση των κοιτασμάτων πετρελαίου. Ενώ οι σύγχρονοι γεωλόγοι εξετάζουν επίσης τους επιφανειακούς σχηματισμούς και το έδαφος, βοηθούνται από τεχνολογίες όπως η δορυφορική απεικόνιση, το σόναρ και τη σεισμολογία κατά την αναζήτηση πετρελαίου. Προσπαθούν ακόμη και να μετρήσουν μικρές μεταβολές στο βαρυτικό και μαγνητικό πεδίο της Γης που θα μπορούσαν να δείξουν ότι το πετρέλαιο εντοπίζεται σε συγκεκριμένη περιοχή κάτω από την επιφάνεια της Γης.

Για τον εντοπισμό ενός κοιτάσματος πετρελαίου ή/και φυσικού αερίου πραγματοποιείται μια σειρά ερευνών οι οποίες βασίζονται κυρίως στις επιστήμες της Γεωλογίας, της Γεωφυσικής και της Γεωχημείας. Η επιβεβαίωση της ύπαρξης ενός κοιτάσματος πετρελαίου ή/και φυσικού αερίου αποτελεί ένα μεγάλο «ρίσκο» στην πετρελαϊκή βιομηχανία διότι η επιστημονική έρευνα σε μία περιοχή μπορεί να εμφανίσει στοιχεία που δεν είναι γνωστά για την περιοχή αυτή και να έχει σαν αποτέλεσμα πολλές φορές και τη μη-πραγματοποίηση εξορυκτικών γεωτρήσεων.

Κατά την διαδικασία εξερεύνησης ενός κοιτάσματος πετρελαίου ή/και φυσικού αερίου η επιστημονική ομάδα που έχει οριστεί για την συγκεκριμένη εργασία, αναλαμβάνει να εξετάσει διάφορα μακροσκοπικά επιφανειακά στοιχεία σε μια περιοχή τα οποία πιθανολογούν την ύπαρξη ενός κοιτάσματος. Στην συνέχεια, εμβαθύνουμε μέσω διαφόρων μεθόδων οι οποίες θα αναφερθούν στη συνέχεια.

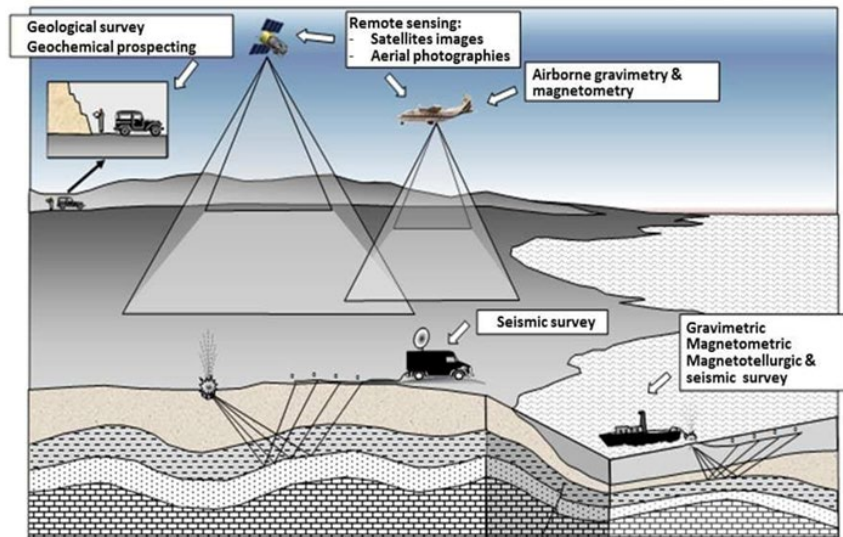
Για την πλήρη πιστοποίηση της ύπαρξης, κατανόησης, έκτασης και τα αποθέματα ενός κοιτάσματος πετρελαίου και φυσικού αερίου, ακολουθούνται οι εξής εξερευνητικές μέθοδοι:

- Οι γεωλογικές
- Οι εναέριες
- Οι τοπογραφικές



- Οι υδρογραφικές
- Οι γεωφυσικές
- Οι γεωχημικές

Τα αποτελέσματα των παραπάνω μεθόδων δίνουν την πλήρη εικόνα για την θέση του κοιτάσματος καθώς και για την έναρξη δειγματοληπτικών αλλά και εξορυκτικών γεωτρήσεων.



-Εικόνα 5.1: Απεικόνιση των μεθόδων εξερεύνησης ανάλογα με την περιοχή μελέτης - εξερεύνησης.  
Πηγή: «Oil-gasportal.com»

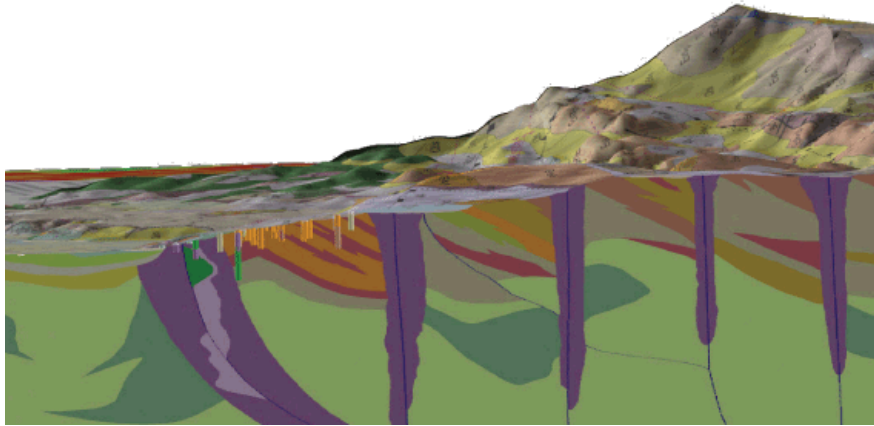
## 5.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η γεωλογική έρευνα είναι ουσιαστικά η γεωλογική χαρτογράφηση. Κατά την γεωλογική χαρτογράφηση αναγνωρίζονται, στην περιοχή μελέτης, οι διάφοροι γεωλογικοί σχηματισμοί, δηλαδή τα πετρώματα που την αποτελούν, οι τεκτονικές επαφές (ρήγματα, ασυμφωνίες κ.α.), οι στρωματογραφικές ακολουθίες, η ιζηματογένεση της περιοχής. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να σχεδιαστεί ένας γεωλογικός χάρτης ή ένα γεωλογικό μοντέλο της περιοχής μελέτης.

Τα δείγματα των πετρωμάτων της περιοχής μελέτης μπορούν να συλλεχθούν ή με τον «παραδοσιακό τρόπο», δηλαδή σκαψίματος και «σπάσιμο» υγιούς δείγματος με γεωλογικό σφυρί, ή με πιο σύγχρονες μεθόδους όπως δειγματοληπτικές γεωτρήσεις από τις οποίες μπορούν να συλλεχθούν υγιή δείγματα πετρωμάτων από βαθύτερα στρώματα που δεν είναι ανιχνεύσιμα μακροσκοπικά σε μια συγκεκριμένη στρωματογραφική ακολουθία. Όσον αφορά τις τεκτονικές επαφές και τις στρωματογραφικές ακολουθίες χρησιμοποιείται ή *in situ* μακροσκοπική παρατήρηση ή διάφορες μέθοδοι όπως οι γεωφυσικές ή μέθοδοι τηλεπισκόπησης<sup>1</sup> για ακολουθίες κάτω από την επιφάνεια και σε μεγάλα βάθη.

Ο γεωλογικός χάρτης ή το γεωλογικό μοντέλο που θα κατασκευαστεί, έπειτα από τα αποτελέσματα της διαδικασίας της γεωλογικής χαρτογράφησης, μπορεί να είναι είτε σε διδιάστατη μορφή (2D) είτε σε τρισδιάστατη μορφή (3D). Τα τελευταία χρόνια η

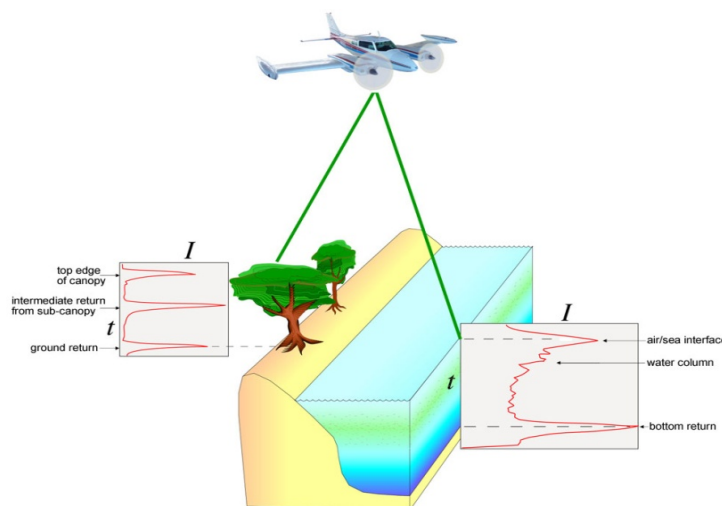
διαδικασία της γεωλογικής χαρτογράφησης αναπτύσσεται με ταχείς ρυθμούς και εντάσσεται έντονα στην εξέλιξη των σύγχρονων τεχνολογιών.



-Εικόνα 5.2: Απεικόνιση γεωλογικού μοντέλου σε τρισδιάστατη μορφή (3D). Πηγή: «Washington State Department of Natural Resources.gov»

### 5.3 ΕΝΑΕΡΙΑ ΕΡΕΥΝΑ

Η εναέρια δραστηριότητα αποτελείται από την μέθοδο η οποία μπορεί να μας παρέχει πληροφορίες για σημεία όπου είναι μη ορατά επί εδάφους. Τα αποτελέσματα της μεθόδου συλλέγονται μέσω αεροφωτογραφιών, LIDAR ή/και τηλεπισκοπικές εικόνες και η μέθοδος αυτή συνήθως υλοποιείται με την συνδρομή αεροπλάνων, μη επανδρωμένων αεροσκαφών και ελικοπτέρων. Κατά την εναέρια μέθοδο χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι ζώνες αυτές είναι η υπέρυθη ή/και η υπεριώδης ζώνη. Μέσω της μεθόδου αυτής έχουμε μεγαλύτερη ευκρίνεια έναντι της τοπογραφικής (θα αναλυθεί στη συνέχεια) η οποία στηρίζεται στην δορυφορική τεχνολογία.

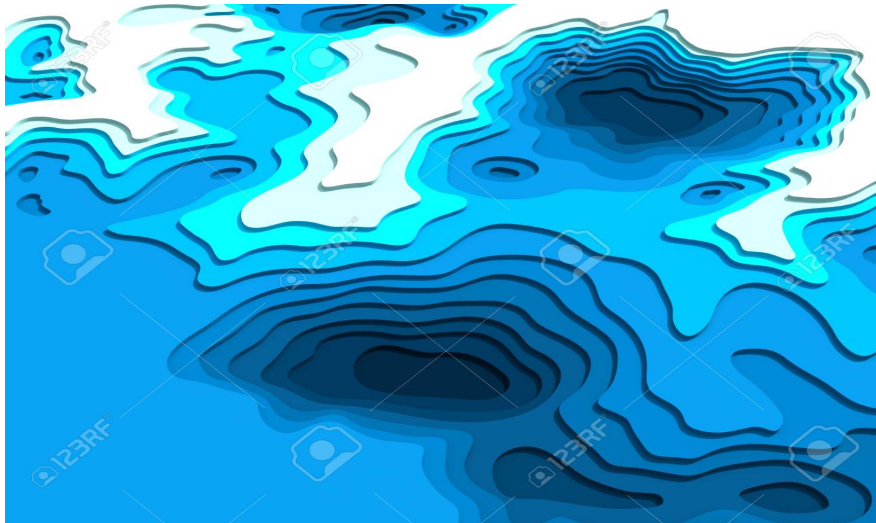


-Εικόνα 5.3: Εναέρια μέθοδος με την χρήση μη επανδρωμένου αεροσκάφους και αποτύπωση αποτελεσμάτων μέσω LIDAR Πηγή: «ResearchGate.net»

## 5.4 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η επιστήμη της τοπογραφίας ανήκει στον ευρύτερο κλάδο της επιστήμης της μηχανικής όπου μέσω αυτής έχουμε την δυνατότητα χαρτογράφησης της γήινης επιφάνειας. Ειδικότερα, η τοπογραφική έρευνα στοχεύει στην αποτύπωση των διαφόρων καμπυλών και υψομετρικών διαφορών της γήινης επιφάνειας της περιοχής μελέτης. Η περιοχή μελέτης αρχικά διαχωρίζεται σε μικρότερα τμήματα και στη συνέχεια σε κάθε τμήμα τοποθετούνται σημεία εντός των ορίων κάθε τμήματος τα οποία βοηθούν στη μελέτη κάθε τμήματος.

Η μελέτη των τμημάτων γίνεται με την βοήθεια είτε «παραδοσιακών συσκευών μέτρησης», είτε με δορυφόρους, είτε με ειδικά αεροσκάφη. Με την βοήθεια αυτών των μέσων μπορούν να οριστούν τα σημεία και οι αποστάσεις. Οι διάφορες υψομετρικές ανωμαλίες μεταξύ των σημείων αυτών αναγνωρίζονται μέσω ειδικού τοπογραφικού εξοπλισμού. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν απ' τη μελέτη του κάθε τμήματος παρατίθενται σ' έναν τοπογραφικό χάρτη όπου οι διάφορες υψομετρικές ανωμαλίες αποτυπώνονται σε μορφή 3D και η κάθε υψομετρική διαφορά διακρίνεται μέσω χρωματισμού.

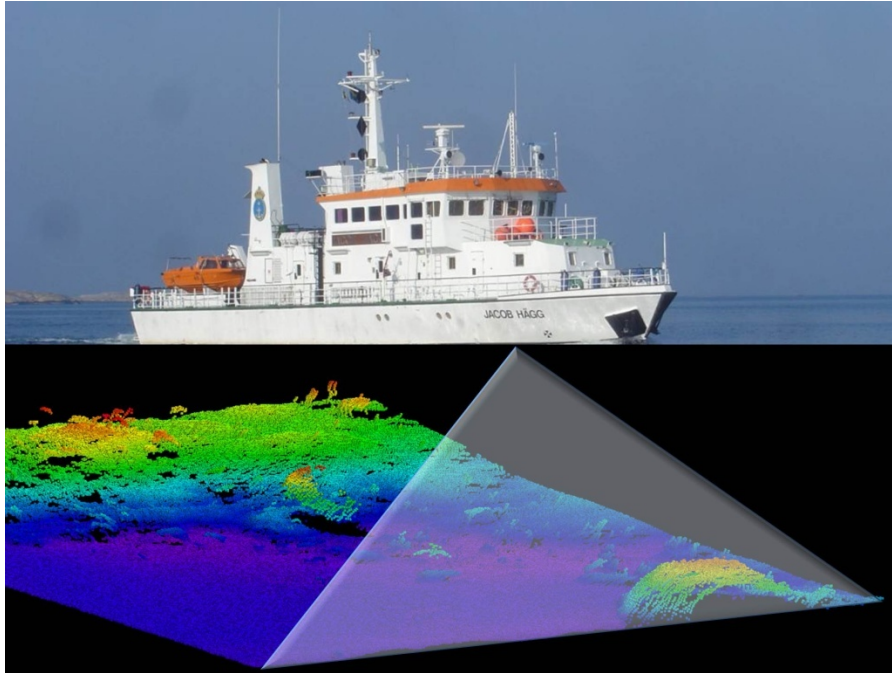


-Εικόνα 5.4: Τρισδιάστατο τοπογραφικό μοντέλο θαλάσσιου πυθμένα. Πηγή: «123RF.com»

## 5.5 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η υδρογραφική δραστηριότητα είναι ουσιαστικά η υδρογραφική επιστήμη η οποία έχει ως στόχο να μετρά, να περιγράφει και να αναλύει το κάθε χαρακτηριστικό που επηρεάζει τις διάφορες θαλάσσιες δραστηριότητες. Η εξερεύνηση κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου καθώς και οι επερχόμενες γεωτρήσεις συγκαταλέγονται στις δραστηριότητες αυτές. Η υδρογραφική έρευνα πραγματοποιείται ως επί το πλείστον μέσω πλοίων με τη βοήθεια της ηχοβολιστικής μεθόδου. Μέσω αυτής της διαδικασίας αποτυπώνονται οι βαθμομετρήσεις, τα θαλάσσια ρεύματα, η μορφολογία του βυθού, οι παλίρροιας κ.α.

Τα αποτελέσματα της μελέτης αποτυπώνονται, αφού υποστούν μετατροπή για την εύκολη κατανόησή τους, σε ψηφιακές εικόνες και οι διάφορες μορφές του βυθού αποτυπώνονται σε τρισδιάστατη μορφή (3D) και με χρωματισμό.



-Εικόνα 5.5: Διεξαγωγή υδρογραφικής έρευνας με την βοήθεια ειδικού πλοίου και χρήση του ηχοβολιστικού συστήματος Sonar. Πηγή: «FAMOS. Finalising Surveys For Baltic Motorways Of The Sea.eu».

## **5.6 ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ**

Η γεωφυσική αποτελεί το εργαλείο με το οποίο ο άνθρωπος μελετά τα φυσικά φαινόμενα της Γης. Πιο συγκεκριμένα, διερευνά τον γήινο ηλεκτρισμό και μαγνητισμό, τη δύναμη της βαρύτητας και αλλά φαινόμενα που αφορούν στην μελέτη της υδρογείου. Με την κατάλληλη χρήση ορισμένων οργάνων διενεργείται διασκόπηση του υπεδάφους(γεωφυσική έρευνα), ενώ η επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων και των στοιχείων που λαμβάνονται είναι δυνατόν να οδηγήσει, έμμεσα ή άμεσα στον εντοπισμό γεωλογικών σχηματισμών ή μεταλλοφόρων συγκεντρώσεων οικονομικού ενδιαφέροντος.

Η γεωφυσική δραστηριότητα είναι το σημαντικότερο μέρος της εξερεύνησης των υδρογονανθράκων και συνεισφέρει καθ' όλη τη διάρκεια της εξερεύνησης ως εξής :

- Το δικαίωμα της αρχής της εξερεύνησης (κυρίως σε νομικό επίπεδο)
- Η εξερεύνηση (screening).
- Ηστοχευόμενη εξερεύνηση (ανίχνευση ενδεχόμενου κοιτάσματος)
- Εύρεση σημείου τοποθέτησης της δειγματοληπτικής και εξορυκτικής γεώτρησης.

Πραγματοποιείται πριν την δειγματοληπτική γεώτρηση και στοχεύει στην καλύτερη εκτίμηση ενός κοιτάσματος πετρελαίου ή/και φυσικού αερίου. Η εκτίμηση αυτή βασίζεται :

- Στην ακριβή γνώση των εξερευνητικών δραστηριοτήτων, όχι μόνο στο ποιες και πόσες θα είναι αλλά και στην οικονομική δαπάνη γι' αυτές που θα λάβουν χώρα για την κατ' εκτίμηση ύπαρξη ενός κοιτάσματος πετρελαίου ή/και φυσικού αερίου.
- Στο ποσοστό εύρεσης ενός οικονομικά εκμεταλλεύσιμου κοιτάσματος και κατ' επέκταση την οικονομική εξέλιξη των αποθεμάτων αυτού.
- Στο γενικό οικονομικό πλαίσιο (upstream, midstream, downstream) (όπως αποθέματα, κόστος παραγωγής, μεταφορά, επεξεργασία αρχικού προϊόντος)
- Στους διάφορους νόμους και νομοθεσίες που ισχύουν στην περιοχή μελέτης αλλά και στο ισχύον πλαίσιο (όροι και προϋποθέσεις) της υπάρχουσας υπογραφόμενης σύμβασης.

Για να πραγματοποιηθούν όλα τα παραπάνω θα πρέπει το κόστος και το ποσοστό επιτυχίας να είναι μεγαλύτερο από το κόστος και το ποσοστό αποτυχίας.

Στην εξερεύνηση των υδρογονανθράκων οι γεωφυσικές μέθοδοι που λαμβάνουν χώρα είναι:

- Η μαγνητική ( Magnetic)
- Η βαρυτική (Gravity)
- Η σεισμική (Seismic)
- Η μαγνητοτελουρική
- Η γεωηλεκτρική
- Οι γεωτρητικές διαγραφίες (Well Logs)

Από όλες τις γεωφυσικές μεθόδους, η σεισμική μέθοδος αποτελεί την πιο «ακριβή» γεωφυσική μέθοδο. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι οι υπόλοιπες μέθοδοι δεν είναι το ίδιο αξιόπιστες με την σεισμική. Η μαγνητική και η βαρυτική έχουν σαν στόχο τον προσδιορισμό της γεωμετρίας και του βάθους των γεωλογικών σχηματισμών που υπόκεινται της επιφάνειας της περιοχής μελέτης καθώς και των διαφόρων τεκτονικών σχηματισμών (αντίκλινα, ρήγματα, πτυχές, ασυμφωνίες κ.α.) αλλά και τις τυχόν μαγματικές/πυριτικές εισβολές που πιθανολογούνται να υπάρχουν. Ο λόγος που χρησιμοποιούνται αυτές οι μέθοδοι οφείλεται στο ότι διάφορες γεωλογικές και τεκτονικές δομές, και πιο συγκεκριμένα, οι παγίδες πετρελαίου και φυσικού αερίου διαφοροποιούνται από τα περιβάλλοντα τους πετρώματα ως προς την μαγνητική τους επιδεκτικότητα . Η σεισμική μέθοδος επακολουθεί των υπολοίπων (με εξαίρεση τις γεωτρητικές διαγραφίες) διότι μέσω αυτής υπάρχει μεγαλύτερη και πλήρης στρωματογραφική και τεκτονική ευκρίνεια και εικόνα των υπεδαφικών σχηματισμών και δομών.

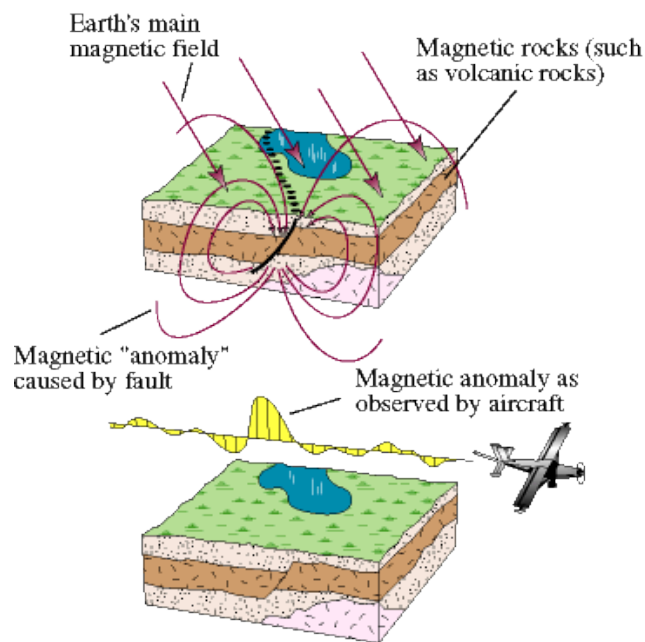


### 5.6.1 ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ (Magnetic Survey)

Η μαγνητική μέθοδος στηρίζεται στην μαγνητική επιδεκτικότητα των πετρωμάτων, εξαρτάται από το μέγεθος και το σχήμα του πετρώματος, και για την διεξαγωγή της χρησιμοποιούνται τα μαγνητόμετρα τα οποία ειδικεύονται στην μέτρηση της μαγνήτισης ενός υλικού αλλά και στην κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου στο χώρο. Για την έρευνα πετρελαίου είναι απαραίτητη η ακριβής μέτρηση του μαγνητικού πεδίου κάτι το οποίο κάτι το οποίο επιτυγχάνεται μέσω ενός αισθητήρα που υπάρχει στο μαγνητόμετρο προκαλώντας την “σάρωση” της περιοχής μελέτης.

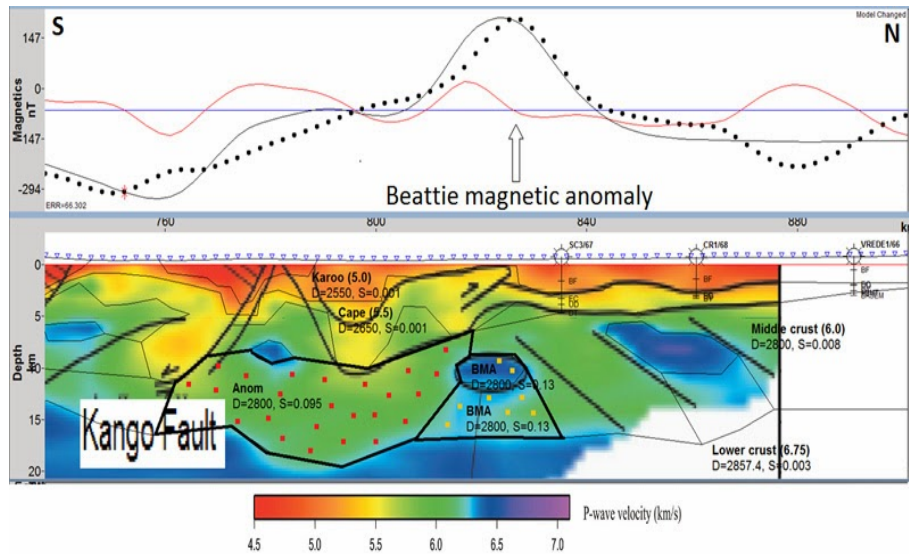
Η μαγνητική μέθοδος συμβάλει στην πετρελαϊκή έρευνα λόγω του ότι μπορεί να υποδείξει τα σημεία στην περιοχή μελέτης όπου θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί ωφέλημα μια γεώτρηση αλλά και να δώσει μια γενικότερη στρωματογραφική εικόνα αυτής της περιοχής. Συνήθως πραγματοποιείται είτε από αέρος είτε από θάλασσης. Η πρώτη κατηγορία (airborne) πραγματοποιείται με την χρήση ειδικών εξοπλισμένων επανδρωμένων ή μη επανδρωμένων αεροσκαφών, πετώντας σε χαμηλό υψόμετρο και σαρώνοντας την περιοχή μελέτης είτε αυτή βρίσκεται στην ξηρά είτε στη θάλασσα. Η δεύτερη κατηγορία πραγματοποιείται μόνο σε θαλάσσιες περιοχές μελέτης χρησιμοποιώντας ειδικά εξοπλισμένα πλοία.

Τα αποτελέσματα της μεθόδου επεξεργάζονται σε ειδικά προγράμματα στους Ηλεκτρονικούς Υπολογιστές, όπου, μετά την επεξεργασία, τα αποτελέσματα παρατίθενται σε μορφή χάρτη είτε σε 2D είτε σε 3D (εικ. 5.6).



-Εικόνα 5.6: Απεικόνιση της μαγνητικής ανωμαλίας που δημιουργείται λόγω ύπαρξης ρήγματος και η απεικόνιση της καταγραφής της μαγνητικής ανωμαλίας από ειδικό ελικόπτερο (κάτω εικόνα). Πηγή: <<SpingerLink.com >>





-Εικόνα 5.7: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της μαγνητικής μεθόδου. Στην πάνω εικόνα είναι η άμεση καταγραφή της μαγνητικής ανωμαλίας από ειδικό ελικόπτερο ή αεροπλάνο και στην κάτω απεικονίζεται η τελική επεξεργασία των αποτελεσμάτων σε μορφή χάρτη ο οποίος απεικονίζει τις διάφορες υψομετρικές διαφορές αλλά και τις τεκτονικές δομές της περιοχής μελέτης. Πηγή: « FuriousPlanet.blogspot.com »

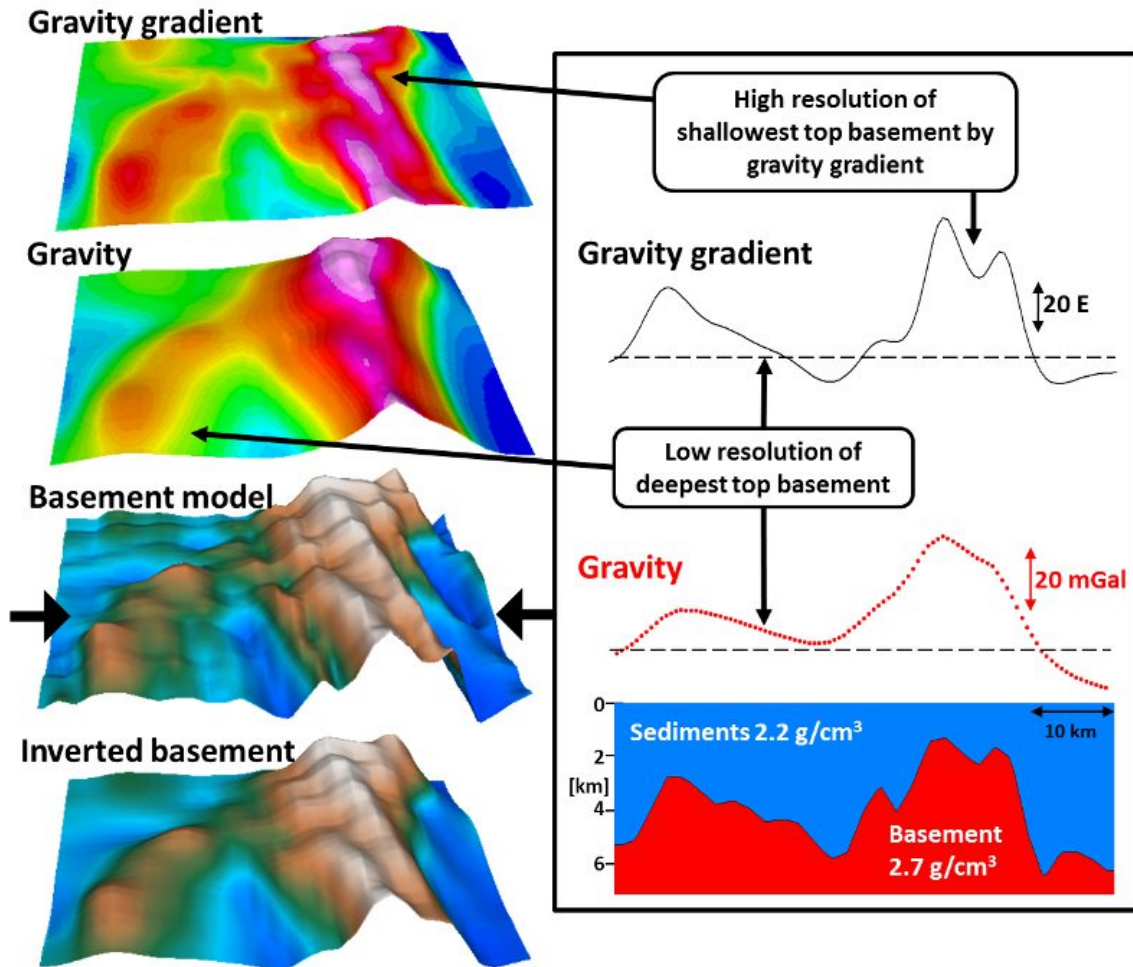
## 5.6.2 ΒΑΡΥΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ (Gravity Survey)

Η βαρυτική μέθοδος στηρίζεται στην διαφορά της πυκνότητας μεταξύ των πετρωμάτων, εξαρτάται από το μέγεθος, το σχήμα και την πυκνότητα του πετρώματος και κατά την εκτέλεσή της χρησιμοποιούνται τα βαρυτόμετρα τα οποία ειδικεύονται στην μέτρηση του τοπικού βαρυτικού πεδίου της Γης, έχουν μία μεγάλη ευαισθησία σαν όργανα κάτι που τα καθιστά ειδικά στην μέτρηση ακόμα και πολύ μικρών μεταβολών του βαρυτικού πεδίου.

Οι μεταβολές του βαρυτικού πεδίου μπορούν να προκληθούν τόσο στο εσωτερικό όσο και στη ατμόσφαιρα της Γης. Η μεταβολή που προκαλείται στο εσωτερικό της Γης συμβάλει στην πετρελαϊκή έρευνα, διότι μπορεί να προκληθεί είτε από γεωλογικές και τεκτονικές δομές που υπάρχουν είτε γενικά απ' το σχήμα της Γης. Συγκεκριμένα, στην πετρελαϊκή έρευνα, οι μεταβολές αυτές δημιουργούνται από την διαμόρφωση των λεκανών ιζηματογένεσης που έχουν αποτεθεί τα διάφορα πετρώματα και φιλοξενούν στο εσωτερικό τους κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η βαρυτική μέθοδος πραγματοποιείται από αέρος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για περιοχές μελέτης που βρίσκονται στη ξηρά είτε και για θαλάσσιες περιοχές.

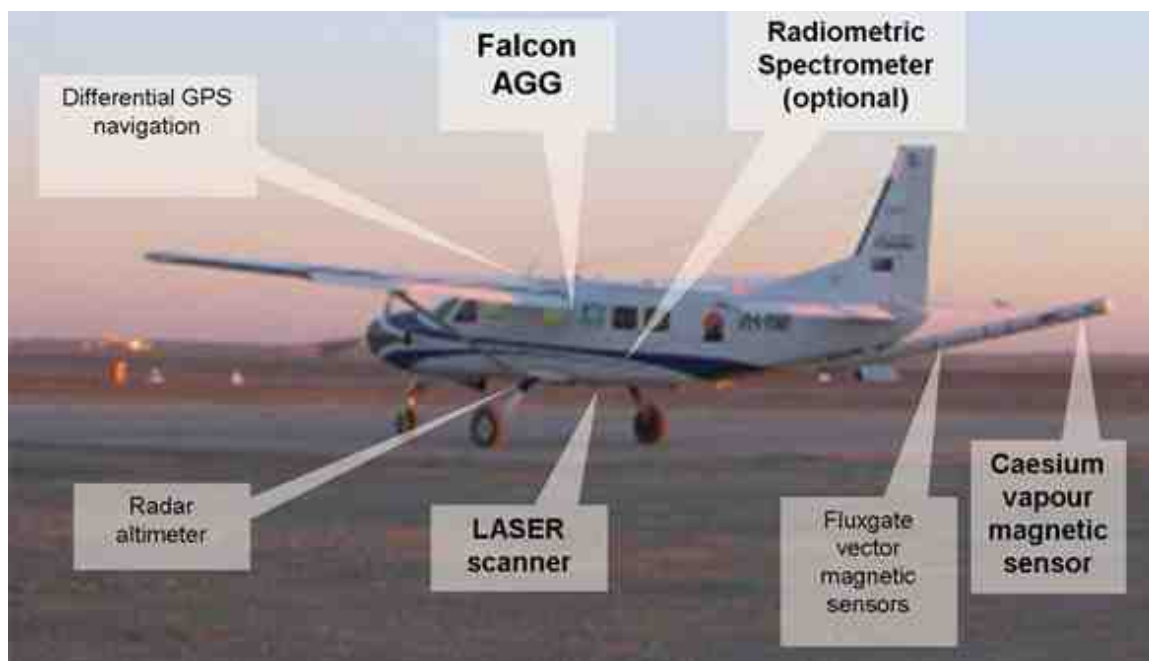
Η βαρυτική μέθοδος εμφανίζει πολλά κοινά στοιχεία με την μαγνητική, όπως στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων και τα χαρακτηριστικά από τα οποία εξαρτώνται (μέγεθος και σχήμα πετρώματος). Παρ' όλα αυτά, η μαγνητική μέθοδος είναι πιο δύσκολη και πιο πολύπλοκη από την βαρυτική. Αυτό οφείλεται στο ότι η μαγνητική επιδεκτικότητα ενός σώματος καθορίζεται από την ένταση της μαγνήτισής του ,η οποία είναι ανυσματικό μέγεθος(δηλαδή έχει φορά και διεύθυνση) και για αυτό κάθε σώμα με αυξημένη ένταση

μαγνήτισης<sup>4</sup> έχει 2 πόλους, έναν θετικό και έναν αρνητικό. Αντίθετα, η βαρυτική μέθοδος, μετρά μόνο την πυκνότητα η οποία είναι μονόμετρο μέγεθος, και κάθε στοιχείο του πετρώματος επηρεάζεται μόνο απ' την επίδραση της βαρύτητας.



-Εικόνα 5.8: Συνθετικό μοντέλο υποβάθρου σε μορφή 3D και σε προφίλ (θέση με μεγάλα μαύρα βέλη), με υπολογισμένη βαρύτητα ( $Gz$ ) και κατακόρυφη κλίση ( $Gzz$ ). Το ανεστραμμένο υπόβαθρο που προκύπτει, οφείλεται στην αναστροφή της υπολογισμένης βαρύτητας (αναστροφή Parker, *GEOSFTOasisMontaj*). Πηγή: <<GEOExPro.com>>

<sup>4</sup>Ένταση μαγνήτισης ενός σώματος ορίζεται η φυσική σταθερά που καθορίζει την "φυσική" μαγνήτιση του σώματος αυτού, είναι ανυσματικό μέγεθος και μετριέται σε μονάδες Tesla (S.I). Άλλες μονάδες μέτρησης είναι: 1 Gauss (G) =  $10^{-4}$  Tesla = 100  $\mu$ T και 1 weber/m<sup>2</sup> = 1 Tesla



-Εικόνα 5.9: Απεικόνιση αεροσκάφους airborneειδικά εξοπλισμένο για την εκτέλεση της βαρυτικής μεθόδου. Πηγή: «Lygeros.org »

### 5.6.3 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ (Seismic Survey)

Η σεισμική μέθοδος είναι η πιο αξιόπιστη γεωφυσική μέθοδος στην έρευνα πετρελαίου και φυσικού αερίου και χρησιμοποιείται είτε ως επακόλουθη των υπολοίπων γεωφυσικών μεθόδων (μαγνητική, βαρυτική, γεωηλεκτρική, μαγνητοτελλουρική) είτε απευθείας αυτή, κάτι που γίνεται σε πολλές περιπτώσεις. Η σεισμική μέθοδος, όπως προέρχεται και από το όνομά της, βασίζεται στην σεισμολογία και στις ιδιότητες των σεισμικών κυμάτων. Η αξιοπιστία της σεισμικής μεθόδου οφείλεται κυρίως στο ότι δεν υπόκεινται σε κανέναν περιορισμό (πχ: βάθους) και μπορεί να υπάρξει ένα πλήθος αξιόπιστων πληροφοριών για μεγάλης έκτασης περιοχές μελέτης.

Ειδικότερα, το “κομμάτι” που χρησιμοποιείται από την σεισμική μέθοδο είναι η Σεισμική Ανάκλαση(Reflection Seismology). Μέσω της μεθόδου της σεισμικής ανάκλασης αποτυπώνονται όλες οι υπεδαφικές ιδιότητες με την ιδιότητα της ανάκλασης των σεισμικών κυμάτων. Η σεισμική ανάκλαση εξαρτάται από την διαφορά της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων αλλά και της ακουστικής τους εμπέδησης καθώς διαπερνούν διάφορα στρώματα. Αυτό που μετράται κατά την μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης είναι οι χρόνοι διαδρομής των σεισμικών ανακλώμενων κυμάτων καθώς και οι εντάσεις αυτών από ειδικούς σειсмоγράφους που βρίσκονται στην επιφάνεια. Για τον υπολογισμό των χρόνων διαδρομής χρησιμοποιούνται διάφορες μαθηματικές εξισώσεις οι οποίες τροποποιούνται ανάλογα με την περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου. Για παράδειγμα, εάν η μέθοδος εκτελείται σε οριζόντια στρώματα και η πρώτη επαφή που συναντά το σεισμικό κύμα είναι οριζόντια τότε ο τύπος υπολογισμού του χρόνου διαδρομής είναι διαφορετικός απ’ ότι όταν η πρώτη επαφή που συναντά το σεισμικό κύμα είναι υπό κλίση. Γενικότερα, ο χρόνος διαδρομής ενός σεισμικού κύματος εξαρτάται από:

- Τις ελαστικές σταθερές των πετρωμάτων από τα όποια διέρχεται το σεισμικό κύμα και
- Από την πυκνότητα των πετρωμάτων.

Μέσω της μεθόδου σεισμικής ανάκλασης, λοιπόν, επιτυγχάνεται:

- ✓ η πλήρης κατανόηση και η μετέπειτα αξιολόγηση των διαφόρων υπεδαφικών δομών,
- ✓ η κατανόηση και η αξιολόγηση του πετρώματος – ταμιευτήρα και
- ✓ ο εντοπισμός ενός πιθανού αποθέματος πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Η εκτέλεση της μεθόδου σεισμικής ανάκλασης γενικότερα γίνεται ως εξής:

- Υπάρχει μια σεισμική πηγή η οποία είναι ελεγχόμενης ενέργειας. Η πηγή αυτή διαφέρει ανάλογα με τον εάν η μελέτη γίνεται στην ξηρά ή στη θάλασσα. Τα κύματα που παράγονται από την πηγή είναι κυρίως τεχνητές δονήσεις ή ηχητικής φύσης κύματα.
- Υπάρχουν ειδικοί υποδοχείς (γεώφωνα για την ξηρά και υδρόφωνα για την θάλασσα) των κυμάτων αυτών οι οποίοι τοποθετούνται σε ορισμένη απόσταση από την πηγή ελεγχόμενης ενέργειας και
- Τέλος, υπάρχει ένα ειδικό σύστημα καταγραφής των κυμάτων αυτών στο οποίο συνδέονται οι ειδικοί υποδοχείς.

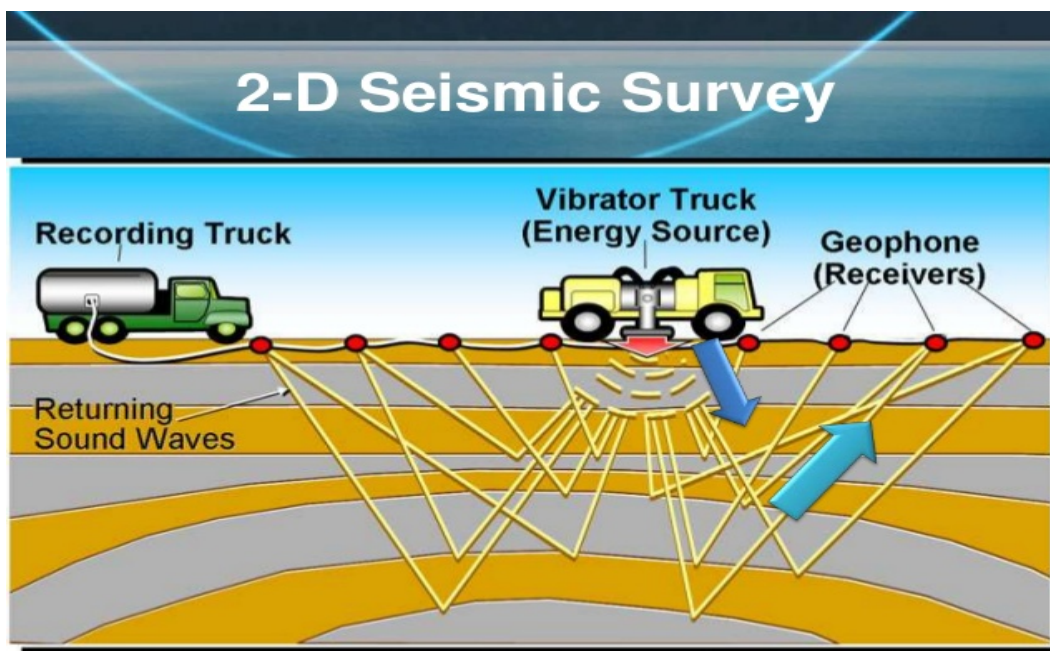
Η μέθοδος σεισμικής ανάκλασης μπορεί να εφαρμοστεί στις εξής περιοχές-ζώνες:

- Στη ζώνη χέρσου
  - Στη ζώνη μετάβασης και
  - Στη θαλάσσια ζώνη.
- Η Ζώνη Χέρσου αντιπροσωπεύει όλα τα τμήματα της ξηράς , όπως π.χ: οι ζούγκλες, τα δάση, οι αστικές περιοχές, οι ορεινές περιοχές κ.α.. Στη ζώνη αυτή η σεισμική έρευνα πραγματοποιείται με συγκεκριμένο τρόπο κατά τον οποίο χρησιμοποιούνται εξειδικευμένα οχήματα με ειδικό εξοπλισμό ο οποίος παράγει δονήσεις. Τα κύματα που παράγονται διαπερνούν τους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς και στρώματα και κατά την επαφή ενός στρώματος με το υποκείμενό του ένα μέρος των κυμάτων αυτών (ηχητικής κυρίως φύσης κύματα) ανακλάται και ένα διαθλάται και συνεχίζει προς τα βαθύτερα στρώματα. Τα κύματα διαφοροποιούν την ταχύτητά τους ανάλογα με την φύση του στρώματος που συναντούν.

Υλικό	Ταχύτητα P κυμάτων (m/s)	Ταχύτητα S κυμάτων (m/s)
Αέρας	332	
Νερό	1400-1500	
Πετρέλαιο	1300-1400	
Σίδηρο	6100	3500
Τσιμέντο	3600	2000
Γρανίτης	5500-5900	2800-3000
Βασάλτης	6400	3200
Ψαμμίτης	1400-4300	700-2800
Ασβεστόλιθος	5900-6100	2800-3000
Άμμος (ακόρεστη σε νερό)	200-1000	80-400
Άμμος (κορεσμένη σε νερό)	800-2200	320-880
Άργιλος	1000-2500	400-1000
Πλειστοκαινικές αποθέσεις (κορεσμένες)	1500-2500	600-1000

-Εικόνα 5.10: Πίνακας ταχυτήτων των επιμηκών (P) και εγκάρσιων (S) κυμάτων σε διάφορους σχηματισμούς και υλικά που εντοπίζονται στον φλοιό της Γης. Πηγή: « Τ.Ε.Ι. Κρήτης – Εργαστήριο Γεωφυσικής και Σεισμολογίας, ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΟΝΗΣ ΤΟΠΛΟΥ ΣΤΗ ΣΗΤΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ »

Τα γεώφωνα είναι ειδικές συσκευές ανίχνευσης κυμάτων τα οποία μετατρέπουν την ενέργεια των σεισμικών κυμάτων σε ηλεκτρική τάση. Τα γεώφωνα ποντίζονται στο έδαφος και το κάθε γεώφωνο “επικοινωνεί” με το προηγούμενο και το επόμενο του μέσω ενός καλωδίου το οποίο συνδέεται με ένα κανάλι καταγραφής που βρίσκεται πάνω σ’ έναν φορητό σειсмоγράφο. Ουσιαστικά, τα γεώφωνα έχουν την ιδιότητα να γίνονται αποδέκτες των ανακλώμενων κυμάτων.



-Εικόνα 5.11: Απεικόνιση 2D σεισμικής μεθόδου στη ζώνη χέρσου. Απεικονίζονται επίσης τα γεώφωνα, η ελεγχόμενη πηγή ενέργειας καθώς και το καταγραφικό όχημα το οποίο έχει και τον σειсмоγράφο. Πηγή: « SlideShare.net »



- Η Ζώνη Μετάβασης (Μεταβατική Ζώνη) αντιπροσωπεύει την περιοχή μετάβασης της ζώνης της χέρσου με την θαλάσσια ζώνη. Στην ζώνη μετάβασης ανήκουν περιβάλλοντα όπως οι κοραλλιογενείς ύφαλοι, τα δέλτα των ποταμών κ.α.. Για το λόγο ότι είναι ζώνη μετάβασης, οι συνθήκες που επικρατούν είναι ιδιαίτερα δύσκολες για την διεξαγωγή της σεισμικής μεθόδου, γι' αυτό το λόγο η υπεύθυνη επιστημονική ομάδα εκτελούν την σεισμική μέθοδο και στην ζώνη χέρσου και στο ρηχό τμήμα της θαλάσσιας ζώνης έτσι ώστε να σχηματιστεί πλήρως το γεωλογικό καθεστώς της περιοχής.



-Εικόνα 5.12: Κοραλλιογενής ύφαλος στην Καραϊβική. Πηγή: <<Kathimerini.gr >>

- Η Θαλάσσια Ζώνη αντιπροσωπεύει περιοχές όπου η στάθμη του νερού είναι μεγαλύτερη από τα 2,00 μέτρα (αντιπροσωπεύει δηλαδή τα ρηχά νερά έως τους βαθύς ωκεανούς). Παράδειγμα θαλάσσιας ζώνης αποτελεί ο Κόλπος του Μεξικού. Στη θαλάσσια ζώνη, η εφαρμογή της σεισμικής μεθόδου είναι πολύ πιο εύκολη απ' ό τι στη μεταβατική και στη ζώνη χέρσου. Αυτό οφείλεται στο ότι δεν υπάρχουν διάφορα φυσικά εμπόδια ( πχ: δέντρα, γρασίδι, διάφορες μορφολογικές ανωμαλίες κ.α.) και η απόσταση πομπού-δέκτη παραμένει σταθερή χωρίς να υπάρχει φόβος να επηρεαστεί, η απόσταση αυτή, από διάφορα εμπόδια.

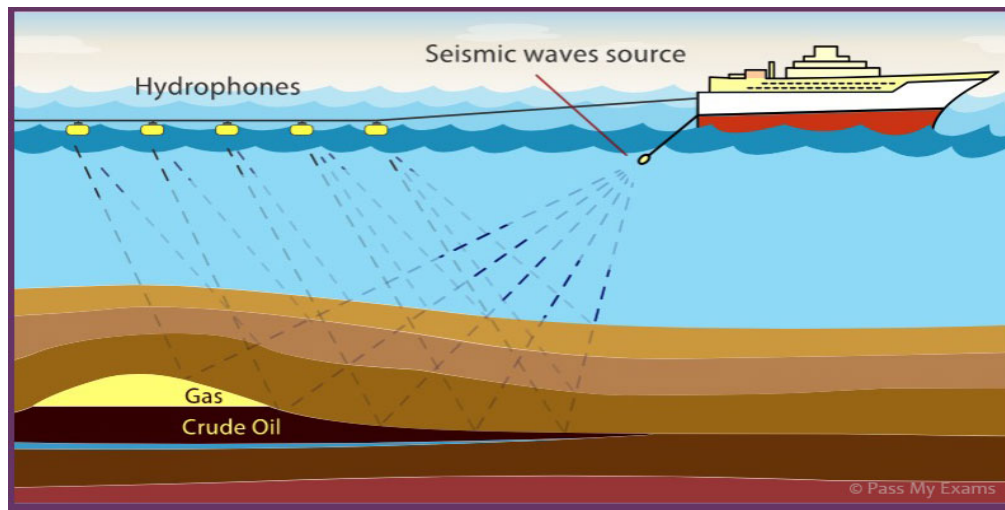
Η διαδικασία εκτέλεσης της σεισμικής μεθόδου διαφέρει με εκείνη της ζώνης χέρσου ως εξής:

- Το όχημα αντικαθίσταται με πλοίο και
- Τα γεώφωνα αντικαθιστώνται απ' τα υδρόφωνα.

Το πλοίο έλκει τα υδρόφωνα και ως σεισμική πηγή χρησιμοποιούνται αεροβόλα όπλα (airguns) τα οποία απελευθερώνουν αέρα υψηλής πίεσης ( 2000 psi) στο

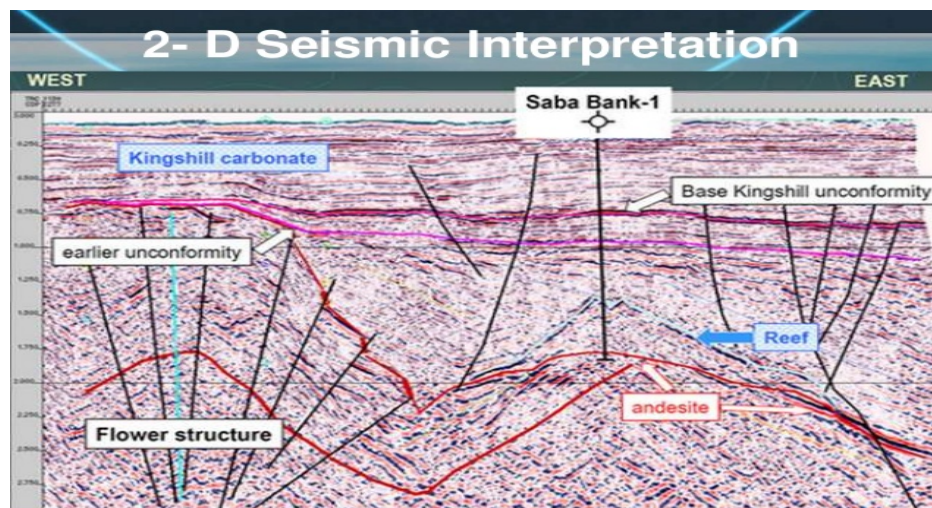


θαλασσινό νερό και με τον τρόπο αυτό προκαλείται σεισμικό κύμα. Για μεγαλύτερη ανάλυση και ευκρίνεια του υποβάθρου της περιοχής μελέτης τα πλοία (ή αλλιώς καταγραφικά σκάφη) χρησιμοποιούν πάνω από ένα καταγραφικά καλώδια.

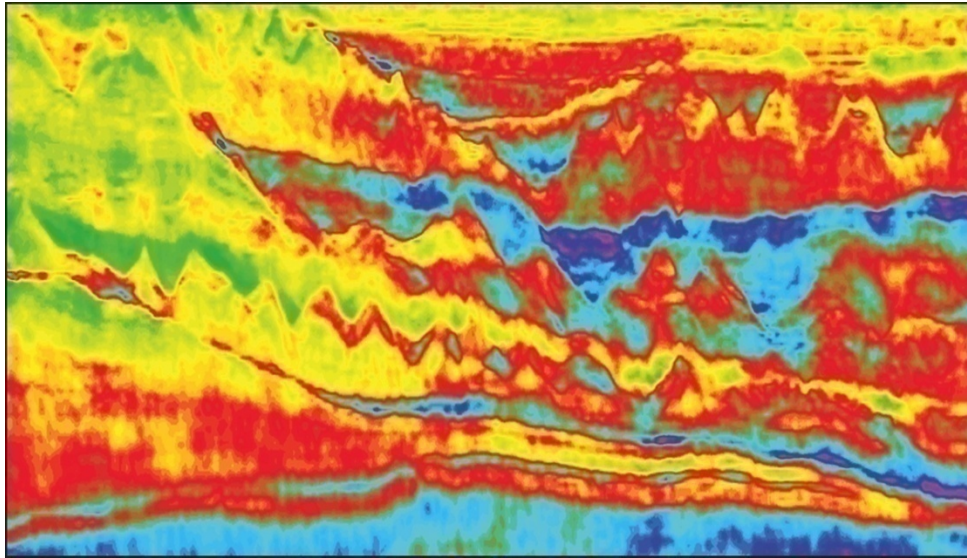


-Εικόνα 5.13: Απεικόνιση 2D σεισμικής μεθόδου στη θαλάσσια ζώνη. Απεικονίζονται επίσης τα υδρόφωνα, η ελεγχόμενη πηγή ενέργειας (airguns) καθώς και το καταγραφικό πλοίο το οποίο έχει και τον σειсмоγράφο. Επίσης, απεικονίζονται η ανάκλαση των σεισμικών κυμάτων καθώς και η παγίδα νερού, αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου. Πηγή: «Pass my exams.co.uk »

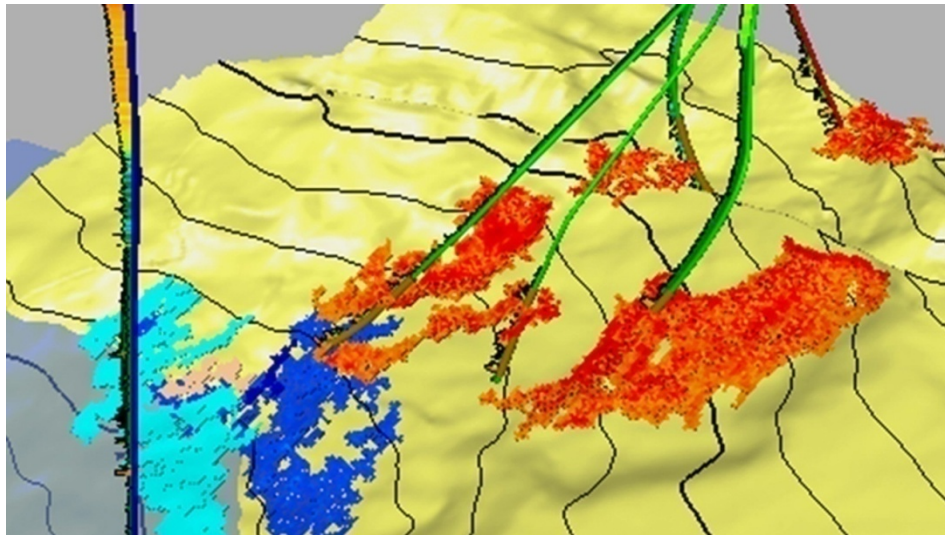
Τα αποτελέσματα της σεισμικής μεθόδου, ανεξαρτήτως της ζώνης εκτέλεσης, αποτυπώνονται σε μαγνητικές ταινίες, βελτιστοποιούνται δια μέσου ειδικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και ερμηνεύονται. Τα βελτιωμένα αποτελέσματα αποτυπώνονται αρχικά σε μορφή 2D και στη συνέχεια σε 3D μορφή έτσι ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη κατανόηση των σχηματισμών. Τα τελευταία χρόνια η αποτύπωση αυτή πραγματοποιείται και σε 4D μορφή, δηλαδή σε τέταρτη διάσταση ή διάσταση του χρόνου.



-Εικόνα 5.14: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της σεισμικής μεθόδου σε μορφή 2D. Πηγή: « SlideShare.net »



-Εικόνα 5.15: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της σεισμικής μεθόδου σε μορφή 3D και HighDefinition. Πηγή: «Exxonmobil.com»



-Εικόνα 5.16: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της σεισμικής μεθόδου σε μορφή 4D. Πηγή: «Exxonmobil.com»

#### **5.6.4 ΜΑΓΝΗΤΟΤΕΛΛΟΥΡΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ (MT)**

Η Μαγνητοτελλουρική μέθοδος, μέσω του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, υπολογίζει την ηλεκτρική αγωγιμότητα της Γης και έτσι δίνεται με ευκρίνεια η δομή του εσωτερικού της. Στην μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται ειδικά μαγνητόμετρα και ζεύγη ηλεκτροδίων. Κατά την εκτέλεση της μεθόδου, τα ζεύγη ηλεκτροδίων τοποθετούνται σε αποστάσεις τέτοιες ώστε η καταγραφή των μεταβολών του ηλεκτρικού πεδίου, να γίνεται με ακρίβεια. Τα καταγραφόμενα σήματα αναλύονται και επεξεργάζονται μέσω του

μετασχηματισμού Fourier. Η μαγνητοτελλουρική μέθοδος χρησιμοποιείται στην εξερεύνηση υδρογονανθράκων στις περιπτώσεις όπου η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης δεν μπορεί να εκτελεστεί, λόγω δυσμενών συνθηκών της περιοχής και λόγω του μεγάλου κόστους της μεθόδου των σεισμικών ανακλάσεων. Συνήθως, τα αποτελέσματα της μαγνητοτελλουρικής μεθόδου συνδυάζονται με διαθέσιμα αποτελέσματα άλλων μεθόδων, όπως των διαγραφιών, γιατί οι πληροφορίες που λαμβάνουμε από αυτήν και τα μοντέλα προσομοίωσης που προκύπτουν, παρουσιάζουν ένα απλουστευμένο μοντέλο του εσωτερικού της Γης.

### **5.6.5 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ (ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY)**

Η μέθοδος αυτή μας βοηθά να έχουμε σωστές και ακριβείς καταγραφές των σκληρών ενστρώσεων στους διάφορους σχηματισμούς ενδιαφέροντος, το πάχος των ιζημάτων καθώς και την μορφολογία της λεκάνης μελέτης. Για αυτό το λόγο, η μέθοδος αυτή θα ήταν σωστό να εκτελείται πιο συχνά στην εξερεύνηση των υδρογονανθράκων, διότι θα μπορούσαν να αποτραπούν γεωτρήσεις που καταλήγουν σε σφάλματα.

### **5.6.6 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ (Formation Evaluation) - ΜΕΘΟΔΟΣ ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΩΝ ΔΙΑΓΡΑΦΙΩΝ (Well Logging Survey)**

Έπειτα των γεωφυσικών μεθόδων ακολουθούν μέθοδοι, περισσότερο ειδικευμένες για την πιο ευκρινή αξιολόγηση των σχηματισμών που περιβάλλουν και εγκλείουν ένα κοίτασμα πετρελαίου ή / και φυσικού αερίου.

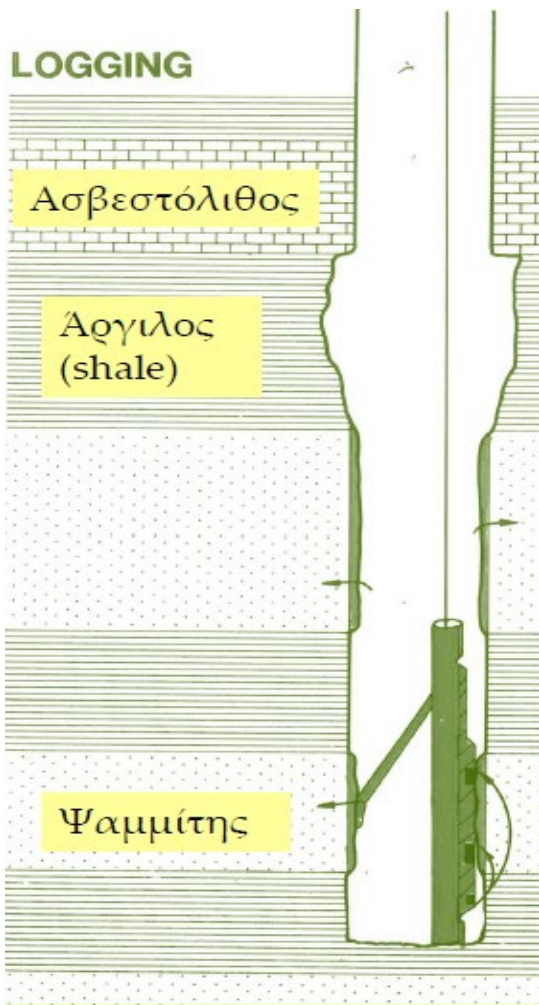
Υπάρχουν δύο είδη καταγραφής για την αξιολόγηση των σχηματισμών:

- Η καλωδιακή καταγραφή (Wireline logging) και
- Οι καταγραφές κατά τη διάτρηση (Recordings while drilling).

Η καλωδιακή καταγραφή (Wireline logging) πραγματοποιεί σχηματική απεικόνιση των διαφόρων σχηματισμών που έχουν διατρηθεί από την γεώτρηση. Η απεικόνιση αυτή πραγματοποιείται μέσω μιας συσκευής καταγραφής **sonde** («καθετήρας»). Αυτή η συσκευή καταγραφής – sonde μπορεί να πιέζεται στα τοιχώματα της γεώτρησης υδραυλικά αλλά και να είναι τοποθετημένο κεντρικά, ανάλογα με το είδος της καταγραφής (logging) που εκτελείται. Κατά την καλωδιακή καταγραφή πραγματοποιούνται τα εξής βήματα:

- Αφαίρεση γεωτρητικής στήλης (drill string)
- Η συσκευή καταγραφής –sonde συνδέεται με την μονάδα καταγραφής στην επιφάνεια μέσω ενός θωρακισμένου και σπλισμένου καλωδίου.
- Η συσκευή καταγραφής –sonde ανασύρεται με ταχύτητα 300 – 1800 m/h προς την επιφάνεια.
- Η συσκευή καταγραφής –sonde αρχίζει την καταγραφή καθώς ανασύρεται προς την επιφάνεια.

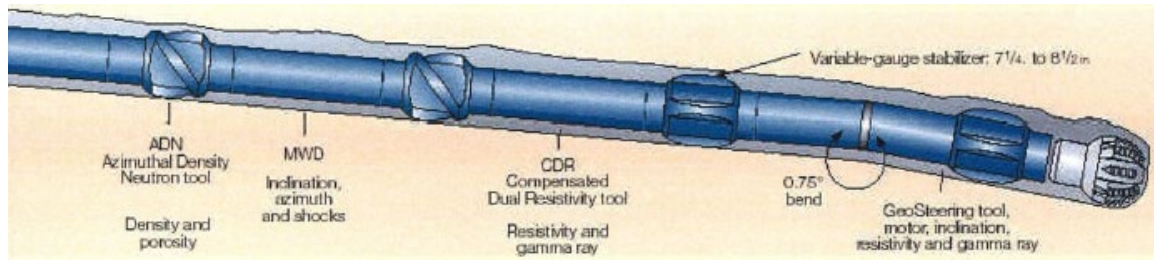




-Εικόνα 5.17: Απεικόνιση της καταγραφικής συσκευής sonde εντός της γεώτρησης (αριστερά) και απεικόνιση χειριστή κατά την εκτέλεση της καλωδιακής καταγραφής (κάτω). Πηγή: «E8210: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ eclass.uoa.gr/courses/GEOL250/»



Οι καταγραφές κατά τη διάτρηση (Recordings while drilling) πραγματοποιούνται με την τοποθέτηση καταγραφικών οργάνων στην κεφαλή του γεωτρύπανου με σκοπό η καταγραφή να πραγματοποιηθεί κατά την εκτέλεση της γεώτρησης. Ο συγκεκριμένος τύπος καταγραφής είναι πολύ σημαντικός διότι μπορούν να καταγραφούν τυχόν απρόβλεπτες αλλαγές στην λιθολογία με αποτέλεσμα να γίνει αναγκαία η τροποποίηση της διαδικασίας εκτέλεσης της γεώτρησης. Οι καταγραφές κατά τη διάτρηση είναι γνωστές και ως Διαγραφίες Γεωτρητικής Λάσπης (Mud – Logging). Η βασικότερη παράμετρος των διαγραφιών γεωτρητικής λάσπης αποτελεί το «formation gas», όπου είναι το πρώτο αέριο που σχηματίζεται στον ταμιευτήρα και έχει ιδιαίτερη σημασία η καταγραφή των διαφόρων μεταβολών που παρουσιάζονται στην συγκέντρωση του αερίου αυτού. Σήμερα, τα αποτελέσματα των των διαγραφιών γεωτρητικής λάσπης δίνονται σε πραγματικό χρόνο (real time) και είναι ιδιαίτερα σημαντικά διότι, αναλύονται σημαντικές παράμετροι όπως: ο ρυθμός διείσδυσης της γεώτρησης, η συγκέντρωση και το ποσοστό αέριων υδρογονανθράκων, η λιθολογία και άλλα.



-Εικόνα 5.18: Απεικόνιση των διαφόρων καταγραφικών συσκευών κατά την διαδικασία των καταγραφών κατά τη διάτρηση . Πηγή: «E8210: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ eclass.uoa.gr/courses/GEOL250/»

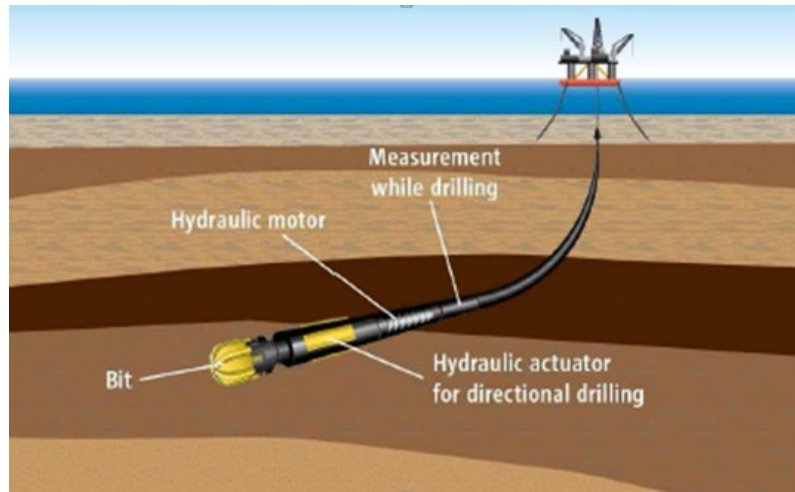
Οι δύο καταγραφικές συσκευές – καταγραφικά που χρησιμοποιούνται κατά τις καταγραφές κατά τη διάτρηση είναι τα καταγραφικά **LWD – Logging While Drilling** και **MWD – Measurement While Drilling**.

- Τα καταγραφικά **LWD** λειτουργούν όπως και τα καταγραφικά sonde στην καλωδιακή καταγραφή, όμως δεν μπορεί να γίνει η πλήρης υποκατάσταση του ενός από του άλλου. Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχει διαφοροποίηση κάποιων φυσικοχημικών ιδιοτήτων με το πέρασ του χρόνου. Παρόλα αυτά είναι πολύ χρήσιμα σε αποκλίνουσες γεωτρήσεις και απεικονίζουν τον κάθε σχηματισμό πριν αυτός εμπλουτιστεί και επηρεαστεί από τα υγρά της γεώτρησης. Τα δεδομένα που προκύπτουν από την καταγραφή αποθηκεύονται στην μνήμη του καταγραφικού προσωρινά.



- Εικόνα 5.19: Απεικόνιση του καταγραφικού LWD. Πηγή: «E8210: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ eclass.uoa.gr/courses/GEOL250/»

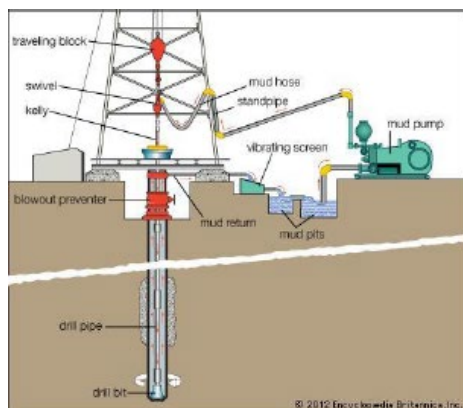
- Τα καταγραφικά **MWD** έχουν την ικανότητα να μετρούν τις παραμέτρους της διάτρησης , όπως για παράδειγμα το βάρος της κεφαλής του γεωτρύπανου, η ροπή που δημιουργείται κατά την περιστροφή του γεωτρύπανου κ.α.. Τα δεδομένα της καταγραφής φτάνουν στην επιφάνεια είτε ενσύμαρτα είτε μέσω του γεωτρητικού πολτού. Στην περίπτωση του γεωτρητικού πολτού η μεταφορά των δεδομένων πραγματοποιείται μέσω της αποστολής ηχητικών παλμών (modulate pressure waves / mud pulse).



-Εικόνα 5.20: Απεικόνιση της καταγραφής κατά τη διάτρηση μέσω του καταγραφικού MWD. Πηγή: E8210: «ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ eclass.uoa.gr/courses/GEOL250/»

Ο γεωτρητικός πολτός (drilling mud) ανήκει στα καταγραφικά **MWD** και είναι ένα από τα πιο βασικά στοιχεία της διάτρησης διότι βοηθούν :

- Για τη ψύξη του κοπτικού.
- Για τη συλλογή και τη μεταφορά των διαφόρων θραυσμάτων (cuttings) που υπάρχουν στο κοπτικό λόγω της διάτρησης.
- Για να επέλθει ισορροπία στην πίεση μεταξύ των διαφόρων ρευστών του εκάστοτε σχηματισμού (π.χ. νερό, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) αλλά και να επέλθει σταθερότητα στην οπή.
- Συνήθως έχει σαν βάση του το νερό, αλλά υπάρχουν και φορές που μπορεί η βάση να είναι κάποιο πετρελαιοειδές.



-Εικόνα 5.21: Απεικόνιση της διαδικασίας ανάκτησης του γεωτρητικού πολτού (αριστερά) και η εμφάνισή του στην επιφάνεια (δεξιά). Πηγή: E8210: «ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ eclass.uoa.gr/courses/GEOL250/»



Οι γεωτρητικές διαγραφίες (Well logging) είναι η γεωφυσική τεχνική που πραγματοποιείται που πραγματοποιείται εντός των γεωτρήσεων και δίνουν πληροφορίες για τα διάφορα πετρώματα και τα διάφορα ρευστά που υπάρχουν εντός των γεωτρήσεων.

Οι διαγραφίες γεώτρησης διακρίνονται σε 2 μεγάλες κατηγορίες στις στατικές και στις δυναμικές.

Στις δυναμικές διαγραφίες ανήκουν:

- Η μέθοδος ραδιενεργών διαγραφιών (Nuclear log)στις οποίες ανήκουν :
  - ❖ Η μέθοδος φυσικής ακτινοβολίας γάμμα (Gamma-ray log)
  - ❖ Η μέθοδος διαγραφίας πυκνότητας (Density log) ή η μέθοδος γάμμα-γάμμα (Gamma-Gamma log)
  - ❖ Η μέθοδος διαγραφίας νετρονίων (Neutron log)
- Η μέθοδος μέτρησης ηλεκτρικής αντίστασης (Resistivity log)

Στις στατικές διαγραφίες ανήκουν :

- Η μέθοδος διαγραφίας διαμετρήματος (Calliper log)
- Η μέθοδος φυσικού δυναμικού (SP – logging)
- Η μέθοδος μέτρησης ταχύτητας ρευστών (Flowmeter log)

Στόχοι των διαγραφιών (δυναμικών και στατικών) είναι:

- Η αναγνώριση των χαρακτηριστικών των ταμιευτήρων πετρελαίου και φυσικού αερίου [λιθολογία, κορεσμός , πορώδες (έχουν αναλυθεί στο Κεφάλαιο 3)].
- Η λήψη διαφόρων χαρακτηριστικών αλλά και σημαντικών στοιχείων της γεώτρησης (τσιμεντοποίηση γεώτρησης, διάμετρος γεώτρησης κ.α.).
- Η δυνατότητα σύγκρισης των χαρακτηριστικών διαφόρων γεωτρήσεων με την υπάρχουσα γεώτρηση με σκοπό την μοντελοποίηση των κοινών τους χαρακτηριστικών.

Είδος διαγραφίας	Εφαρμογή
Διαγραφή διαμετρήματος <b>Caliper Log</b>	Είδος πετρώματος, εντοπισμός περατού σχηματισμού
Διαγραφή γ (Φυσική ακτινοβολία) <b>Gamma Log</b>	Είδος πετρώματος + Περιβάλλον απόθεσης
Φυσικού Δυναμικού <b>Spontaneous Potential Log</b>	Είδος πετρώματος + Αλατότητα νερού
Πυκνότητας <b>Density Log</b>	Πυκνότητα + Πορώδες
Νετρονίων <b>Neutron Log</b>	Πορώδες
<b>Σε συνδυασμό με πυκνότητα</b>	Ρευστά σχηματισμού
Αντίστασης <b>Resistivity Log</b>	Ρευστά σχηματισμού, (H/C, H <sub>2</sub> O) + πορώδες
Κλισιομετρία <b>Dipmeter/FMI/FMS-Log</b>	Γεωμετρία σχηματισμού + ιζηματοδομές
Ακουστική <b>Sonic/Velocity Log</b>	V <sub>p</sub> + V <sub>s</sub> + Ρευστά σχηματισμού + πορώδες

-Πίνακας 2: Πίνακας με τα διάφορα είδη των διαγραφιών και οι εφαρμογές αυτών. Πηγή: «E8210: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ eclass.uoa.gr/courses/GEOL250/»

▪ **Μέθοδοι Ραδιενεργών Διαγραφιών (Nuclear logs)**

Οι Ραδιενεργές διαγραφίες (Nuclear log) εστιάζουν στην ανίχνευση της εκπομπής που προκαλούν τα σωματίδια που βρίσκονται στον πυρήνα ενός ατόμου (πρωτόνια, νετρόνια).

Στις Ραδιενεργές Διαγραφίες εντάσσονται :

- ❖ Η μέθοδος φυσικής ακτινοβολίας γάμμα (Gamma-ray log)
- ❖ Η μέθοδος διαγραφίας πυκνότητας ή η μέθοδος γάμμα-γαμμά (Gamma-Gamma log)
- ❖ Η μέθοδος διαγραφίας νετρονίων (Neutron log)

❖ **Μέθοδος Διαγραφίας Πυκνότητας (Density log) ή Μέθοδος Γάμμα-Γαμμά (Gamma-Gammalog):**

Στην μέθοδος Γάμμα-Γάμμα (Gamma-Gamma log) ή αλλιώς διαγραφή πυκνότητας καταγράφεται η συνολική πυκνότητα (bulk rock density) του κάθε σχηματισμού που διαπερνά η γεώτρηση, δηλαδή καταγράφεται η πυκνότητα του πετρώματος και των διαφόρων εγκλειόμενων ρευστών. Για την καταγραφή χρησιμοποιείται ένα βλήμα (οβίδα)–sonde που τοποθετείται μέσα στη γεώτρηση, μέσα στο οποίο τοποθετείται μια πηγή ραδιενέργειας με κύριο συστατικό το κοβάλτιο ( $^{57}\text{Co}$ ). Το βλήμα αυτό στην συνέχεια εκπέμπει ακτινοβολία τύπου γάμμα στους σχηματισμούς που περιβάλλουν την γεώτρηση. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται ακολουθεί το φαινόμενο Compton και ένα μέρος της σκέδασης της καταγράφεται από ειδικά όργανα. Λόγω του ότι η εκπεμπόμενη ακτινοβολία υπάγεται στο φαινόμενο Compton, συνεπάγεται ότι το ποσοστό των καταγραφόμενων ακτινών γάμμα είναι ανάλογο με το ποσοστό των ηλεκτρονίων τα οποία προκαλούν την σκέδαση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και επομένως ανάλογο με το ποσοστό της πυκνότητας των σχηματισμών που βρίσκονται γύρω από την γεώτρηση. Η απόσβεση (attenuation) των ακτινών γάμμα είναι ανάλογη της ηλεκτρονιακής πυκνότητας η οποία είναι κατ' επέκταση ανάλογη με την πυκνότητα του εκάστοτε σχηματισμού (π.χ. λιγότερη καταγεγραμμένη ακτινοβολία συνεπάγεται πυκνότερος σχηματισμός).

Τα φαινόμενα που παρατηρούνται κατά την μέθοδο αυτή λόγω της ακτινοβολίας γάμμα και το πώς αυτή επηρεάζει τα άτομα που υπάρχουν στο πλέγμα των πετρωμάτων είναι τα εξής:

✓ **Σκέδαση Compton (Compton Scattering):**

Το φαινόμενο Compton πραγματοποιείται όταν υπάρχει σύγκρουση των ηλεκτρονίων ενός σχηματισμού με υψηλής ενέργειας ακτινοβολία γάμμα. Κατά την σύγκρουση υπάρχει απώλεια ενέργειας μεταξύ ακτίνας και ηλεκτρονίου και προκαλείται και σκέδαση των ακτινών. Οι σκεδασμένες καταγραφόμενες ακτίνες δημιουργούν ένα φάσμα ενέργειας το οποίο προκαλείται από την δημιουργία ενός διαγράμματος συχνότητας-ενέργειας και το φάσμα αυτό ονομάζεται και συνεχές φάσμα Compton (Compton continuum).

✓ Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο (Photoelectric Effect):

Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο δημιουργείται όταν το επίπεδο ενέργειας των ακτινών γάμμα πέφτει κάτω από τα 0,5 MeV λόγω των πολλαπλών συγκρούσεων των ακτινών γάμμα με τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στην εξωτερική στιβάδα των ατόμων του σχηματισμού. Κατά το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο υπάρχει αλληλεπίδραση των ακτινών γάμμα και των ηλεκτρονίων των εσωτερικών στιβάδων, και λόγω της αλληλεπίδρασης αυτής καθώς και της υψηλής ενέργειας που έχουν οι ακτίνες γάμμα τα ηλεκτρόνια των εσωτερικών στιβάδων ωθούνται σε πιο εξωτερικές στιβάδες.

✓ Παραγωγή ζεύγους (Pair Production):

Η παραγωγή ζεύγους είναι η διαδικασία στην οποία όταν ένα φωτόνιο με υψηλή ενέργεια (συνήθως μεγαλύτερη των 2 MeV) χάσει όλη του την ενέργεια και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η ακτίνα γάμμα να μετατραπεί πλήρως σε ένα ηλεκτρόνιο και ένα ποζιτρόνιο. Στην συνέχεια υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ του ποζιτρονίου και ενός άλλου ηλεκτρονίου με αποτέλεσμα να παράγονται 2 ακτίνες γάμμα με αντίθετες κατευθύνσεις .

Στην συγκεκριμένη διαγραφή πραγματοποιούνται συνήθως δύο παράλληλες καταγραφές, μία κοντινή και μία μακρινή. Η κοντινή καταγραφή επηρεάζεται έντονα από το άμεσο περιβάλλον της γεώτρησης, π.χ. από τον γεωτρητικό πολτό και «αφαιρείται» από την μακρινή καταγραφή, έτσι ώστε τα αποτελέσματα της καταγραφής να είναι περισσότερο αξιόπιστα και να είναι ακριβέστερη η πυκνότητα του σχηματισμού.

Έπειτα, για τον υπολογισμό του πορώδους χρησιμοποιείται η ακόλουθη μαθηματική σχέση:

$$\phi = \frac{\rho_{ma} - \rho_{log}}{\rho_{ma} - \rho_f}$$

Όπου: • $\rho_{log}$ : τιμή καταγραφής

• $\rho_{ma}$ : πυκνότητα κύριας μάζας

• $\rho_f$ : πυκνότητα ρευστού πόρων

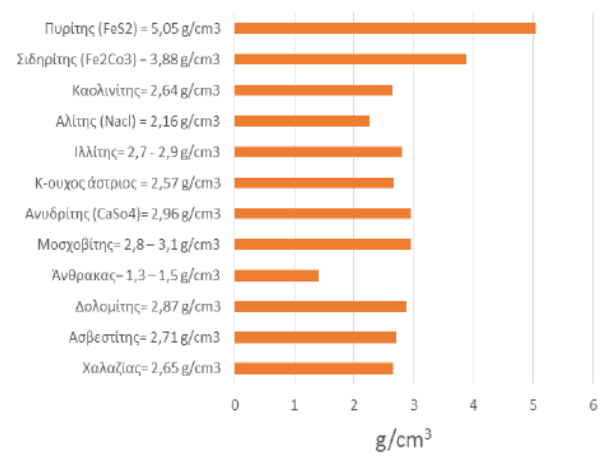
Για την συγκεκριμένη μαθηματική σχέση υπάρχουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Είναι ο πιο αξιόπιστος δείκτης μέτρησης του πορώδους.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε περιπτώσεις μικρού βάθους διερεύνησης.
- Το αποτέλεσμα που προκύπτει από την επίλυση του τύπου διορθώνεται ανάλογα με το είδος του γεωτρητικού πολτού.
- Συνήθως, το αποτέλεσμα είναι πιο αξιόπιστο όταν εφαρμόζεται σε πετρώματα αποτελούμενα από ένα ορυκτό [π.χ: χαλαζιακός ψαμμίτης ( $\rho_{ma} = 2,65 \text{ g/cm}^3$ ), καθαρός ασβεστόλιθος ( $\rho_{ma} = 2,71 \text{ g/cm}^3$ )

Η πυκνότητα των διαφόρων ρευστών ενός σχηματισμού ο οποίος έχει χαρακτηριστικά ταμειυτήρα είναι οι εξής:

- Αλμυρό νερό:  $1,03 \text{ g/cm}^3$  σε επιφανειακές συνθήκες. Η πυκνότητα μειώνεται με το βάθος.

- Πετρέλαιο: 0,6 – 1,0 g/cm<sup>3</sup> ανάλογα με την χημική σύστασή του.
- Φυσικό αέριο: 0,1 – 0,3 g/cm<sup>3</sup> ανάλογα με την χημική σύστασή του και το βάθος.



-Εικόνα 5.20: Πυκνότητα των πιο κοινών ορυκτών στα ιζηματογενή πετρώματα. Πηγή: E8210: «ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ eclass.uoa.gr/courses/GEOL 250/»

### ❖ Μέθοδος Διαγραφίας Φυσικής Ακτινοβολίας Γάμμα (Gamma Ray log):

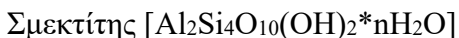
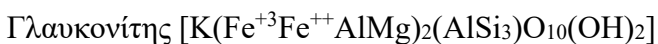
Με την συγκεκριμένη διαγραφή καταγράφεται η φυσική ακτινοβολία γάμμα των σχηματισμών της γεώτρησης. Τα κυριότερα ραδιενεργά χημικά στοιχεία είναι το Κάλιο (<sup>40</sup>K), το Ουράνιο (<sup>238</sup>U) και το Θόριο (<sup>232</sup>Th). Ανάλογα με τον κάθε ιζηματογενή σχηματισμό διαφέρει και η ραδιενέργεια που αυτός εκπέμπει.

Το **Κάλιο** (<sup>40</sup>K) προέρχεται από αργιλικά ορυκτά, μαρμαρυγίες, αστρίους και πιο σπάνια από συλβίτη.

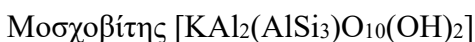
Το **Ουράνιο** (<sup>238</sup>U) συνήθως εντοπίζεται με την ιοντική του μορφή, δηλαδή ως Ουρανίλιο (UO<sub>2</sub><sup>-2</sup>) και είναι χαρακτηριστικό των μητρικών πετρωμάτων που προέρχονται από θαλάσσιες αργίλους πλούσιες σε οργανική ύλη.

Το **Θόριο** (<sup>232</sup>Th) συνήθως εντοπίζεται στο πλέγμα διαφόρων βαρέων ορυκτών, όπως το ζιρκόνιο.

Αναλυτικότερα, τα πιο σημαντικά ορυκτά με υψηλά ποσοστά εκπομπής φυσικής ακτινοβολίας γάμμα είναι κυρίως τα αργιλικά ορυκτά. Παραδείγματα αργιλικών ορυκτών είναι:



Άλλα ορυκτά με σημαντικό ποσοστό εκπομπής φυσικής ακτινοβολίας γάμμα είναι:



Γύψος [ $\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ ]

Ανυδρίτης( $\text{CaSO}_4$ )

Συλβίτης( $\text{KCl}$ )

Μοναζίτης [ $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Th}, \text{Y})\text{PO}_4$ ]

Παραδείγματα πετρωμάτων, κατά αύξουσα σειρά εκπομπής ραδιενέργειας, αποτελούν :

✓ Ασβεστόλιθοι (Limestones) και Δολομίτες (Dolomites):

Οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες είναι ανθρακικά πετρώματα και αποτελούνται κυρίως από ανθρακικά ορυκτά (σε ποσοστό < 50%) τα οποία είναι: ο ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ), ο αραγωνίτης ( $\text{CaCO}_3$ ) και ο δολομίτης [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ], αλλά και από δευτερεύοντα ορυκτά. Ως δευτερεύοντα ορυκτά στο πλέγμα των πετρωμάτων αυτών υπάρχουν : ο σιδηρίτης ( $\text{FeCO}_3$ ), ο ανκερίτης [ $\text{Ca}(\text{Fe}^{+2}, \text{Mg}, \text{Mn}^{+2})(\text{CO}_3)_2$ ], ο κλαστικός χαλαζίας ( $\text{SiO}_2$ ), διάφορα αργιλικά ορυκτά όπως ο ιλλίτης [ $\text{KAl}_4(\text{Si}, \text{Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ ], ο μοντμοριλονίτης [ $(\text{Na}, \text{Ca})_{0,5}\text{Al}_2(\text{Si}_{3,5}\text{Al}_{0,5})\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ] κ.α., ο σιδηροπυρίτης ( $\text{FeS}$ ), ο αιματίτης ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), ορυκτά  $\text{SiO}_2$  (οπάλιος, χαλκηδόνιος), φωσφορικά ορυκτά όπως ο απατίτης [ $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$ ], εβαποριτικά ορυκτά όπως η γύψος [ $\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ ] και ο ανυδρίτης ( $\text{CaSO}_4$ ) και οργανικό υλικό (απολιθώματα).

Μέσω λοιπόν, της ορυκτολογικής ανάλυσης των πετρωμάτων αυτών εξάγεται το συμπέρασμα ότι παρ' όλο που στο πλέγμα τους πιθανολογείται η ύπαρξη ορυκτών με υψηλά ποσοστά ραδιενεργής ακτινοβολίας (πχ: ιλλήτης, γύψος, ανυδρίτης), επειδή είναι δευτερεύοντα ορυκτά, δεν επηρεάζουν το συνολικό ποσοστό της ραδιενεργής ακτινοβολίας των πετρωμάτων αυτών, παράλληλα τα κύρια ανθρακικά ορυκτά βρίσκονται στο κρυσταλλικό πλέγμα των πετρωμάτων αυτών, όπως προαναφέρθηκε, σε ποσοστό <50%, και έτσι " επισκιάζουν " τα δευτερεύοντα ορυκτά. Όλα αυτά συντελούν στο ότι οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες είναι τα πετρώματα με το χαμηλότερο ποσοστό εκπομπής φυσικής ακτινοβολίας γάμμα.

✓ Ψαμμίτες (Sandstones) και Άμμοι (Sands):

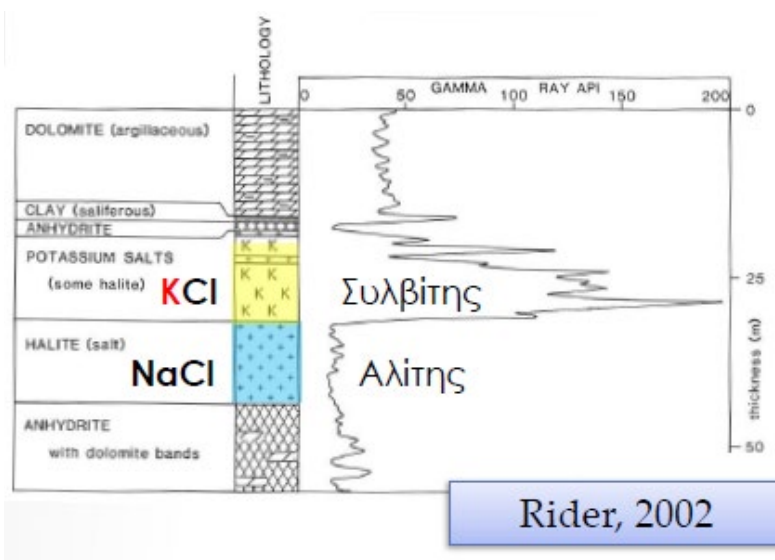
Οι ψαμμίτες αποτελούνται κυρίως από Χαλαζία( $\text{SiO}_2$ ), Καλιούχους αστρίους ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) και Μαρμαρυγίες όπως: βιοτίτη [ $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ], μοσχοβίτη [ $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ], λεπιδόλιθος [ $\text{K}(\text{Li}, \text{Al})_3(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_{10}(\text{F}, \text{OH})_2$ ], γλαυκονίτη [ $(\text{K}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ] κ.α.. Ο χαλαζίας καταλαμβάνει ποσοστό >65% στο πλέγμα των ψαμμιτών και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να έχουν χαμηλά ποσοστά εκπομπής φυσικής ακτινοβολίας γάμμα. Οι μαρμαρυγίες και οι Κ-ούχοι άστριοι είναι δευτερεύοντα του χαλαζία με αποτέλεσμα να "επισκιάζονται" από αυτόν. Οι άμμοι είναι το ίζημα το οποίο, μέσω διαφόρων διεργασιών, στερεοποιείται και το πέτρωμα παράγεται είναι ο ψαμμίτης. Άρα, οι άμμοι έχουν ακριβώς τα ίδια λιθολογικά χαρακτηριστικά με τους ψαμμίτες αλλά και ποσοστό της εκπεμπόμενης φυσικής ακτινοβολίας γάμμα.

✓ Άργιλοι (Claystones) και Αργιλικό Σχίστες (Clayschist):

Το πλέγμα των αργίλων αποτελείται κυρίως από Αστρίους και Μαρμαρυγίες. Οι άστριοι είναι μη συνεκτικοί και μη συμπαγείς ιζηματογενείς σχηματισμοί που αποτελούνται από

υλικά προερχόμενα από την διαδικασία της αποσάθρωσης. Η "συμπύκνωση" της αργίλου παράγει τους Αργιλικούς Σχίστες. Οι άργιλοι και οι αργιλικοί σχίστες περιέχουν στο πλέγμα τους το ισότοπο  $^{40}\text{K}$ . Επίσης, στο πλέγμα τους μπορούν να εντοπιστούν ποσότητες του ισότοπου  $^{238}\text{U}$  όταν οι άργιλοι προέρχονται από θαλάσσια ιζηματογένεση. Λόγω, των 2 αυτών ραδιενεργών ισωτόπων, οι σχηματισμοί αυτοί έχουν αυξημένα ποσοστά στην ακτινοβολία γάμμα (gamma ray).

Για τον συγκεκριμένο τύπο διαγραφίας χρησιμοποιείται ένα βλήμα (οβίδα), όπου μέσα σε αυτό υπάρχει ένας "απαριθμητής σπινθήρων (scintilo meter)" ο οποίος περιέχει έναν κρύσταλλο ιωδιούχου νατρίου (NaI) και έναν ενισχυτή σήματος. Το βλήμα αυτό κατεβαίνει προς την γεώτρηση με πολύ αργή ταχύτητα έτσι ώστε οι μετρήσεις που θα παρθούν να είναι σωστές χωρίς να επηρεαστούν απ' την ταχύτητα και το βλήμα αυτό φτάνει σε βάθος έως 30cm.

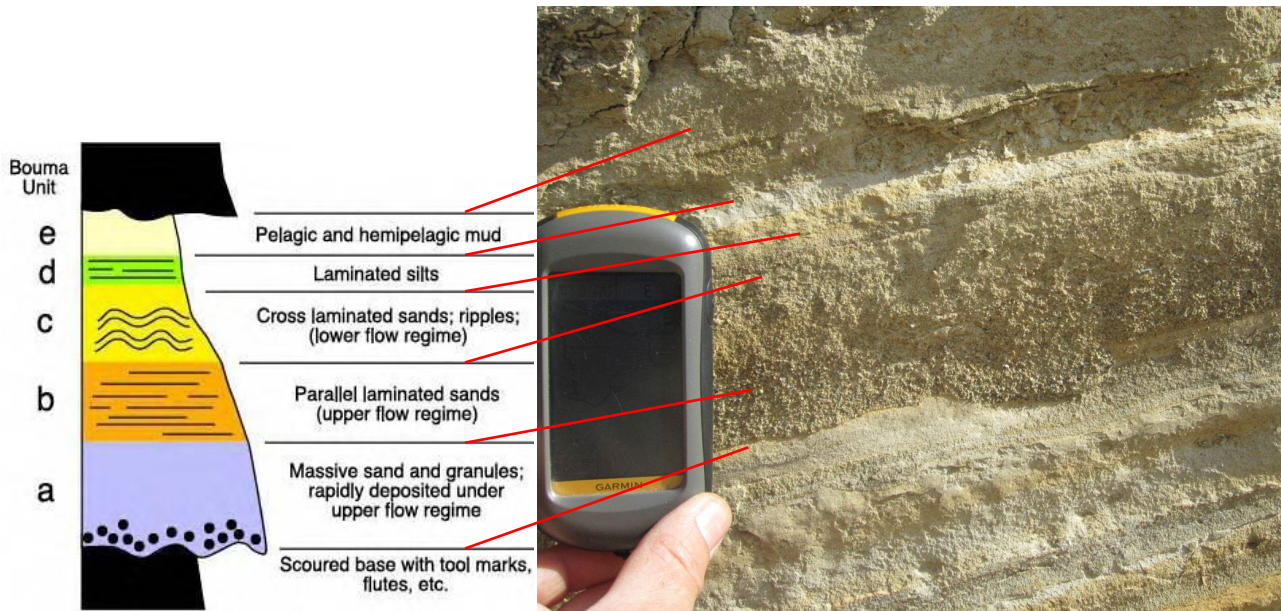


-Εικόνα 5.21: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της απορρόφησης από τον Συλβίτη και τον Αλίτη της ακτινοβολίας γάμμα κατά τον Rider, 2002. Πηγή: «E8210: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝclass.uoa.gr/courses/GEOL 250/»

Η συγκεκριμένη διαγραφή, ακριβώς επειδή χρησιμοποιεί την καταγραφή ακτινών γ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως δείκτης του περιβάλλοντος απόθεσης. Αυτό προκαλείται:

- Όταν ένα ίζημα κλαστικής προέλευσης υποστεί αλλαγή στο μέγεθος των κόκκων, τότε οι αλλαγές αυτές έχουν αντίκτυπο στο περιεχόμενο σε άργιλο.
- Όταν παρατηρηθούν μειώσεις προς τα πάνω στις τιμές καταγραφής γ, προκύπτει αύξηση του μεγέθους των κόκκων, άρα μείωση του ποσοστού των ραδιενεργών ορυκτών, άρα εντοπίζονται ακολουθίες με ανάστροφη κοκκομετρία (coarsening-upwards). Τέτοιες ακολουθίες είναι: οι παράκτιες αμμολωρίδες (offshore sand bars) και οι μετωπικές αποθέσεις στα δέλτα (delta front deposits)
- Όταν παρατηρηθούν αυξήσεις προς τα πάνω στις τιμές καταγραφής γ και είναι σε συμφωνία με το ποσοστό αύξησης του περιεχομένου σε άργιλο, τότε προκύπτουν ακολουθίες με κανονική κοκκομετρική ταξίθηση (fining upwards). Τέτοιες ακολουθίες είναι τα point bars και οι ακολουθίες Bouma.



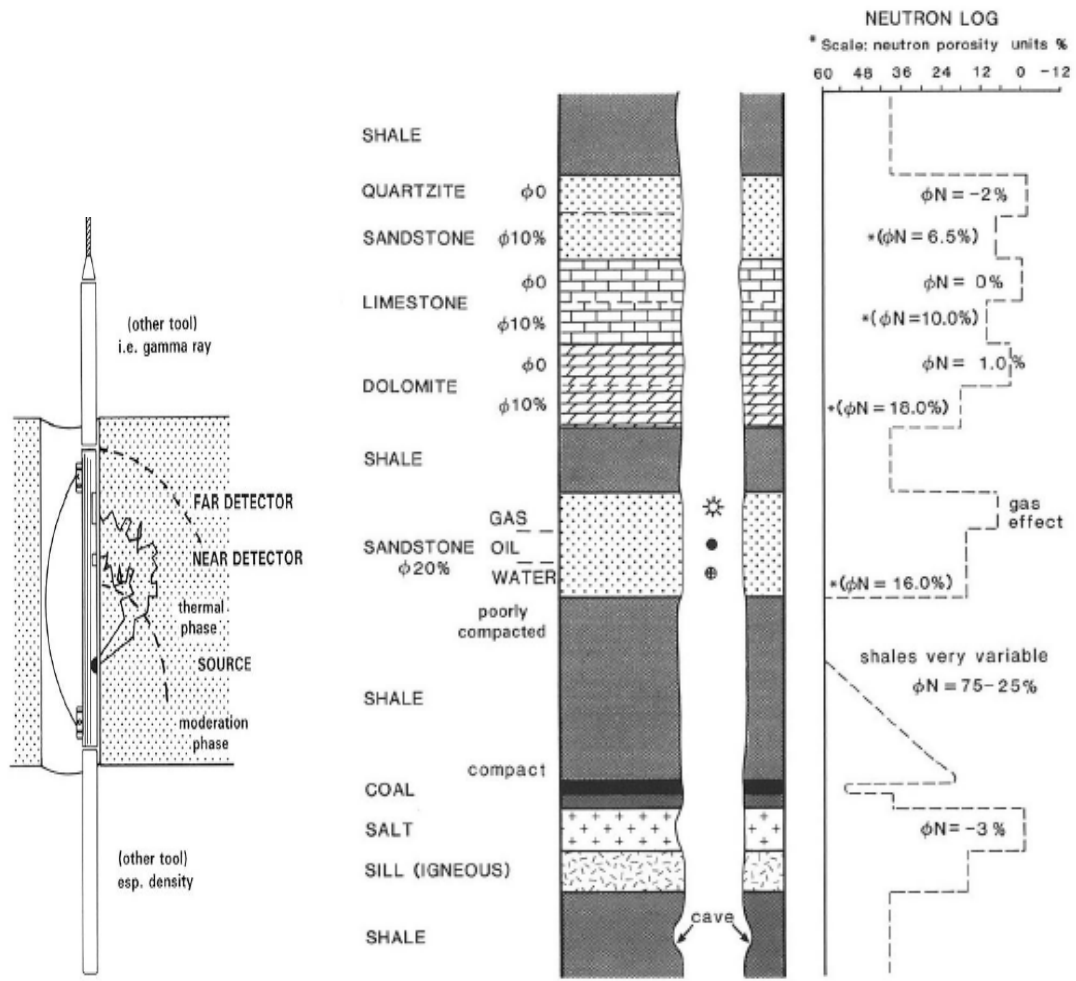


-Εικόνα5.22: Απεικόνιση μίας τουρβιδιτικής ακολουθίας με κανονική κοκκομετρική ταξίθευση. Πηγή: «E8210: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩNeclass.uoa.gr/courses/GEOL250/»

### ❖ Μέθοδος Διαγραφίας Νετρονίων (Neutron log):

Η διαγραφή Νετρονίων χρησιμοποιείται κυρίως για να εντοπιστούν περατοί σχηματισμοί καθώς και να εκτιμηθεί το ποσοστό πορώδους των σχηματισμών αυτών. Η διαγραφή αυτή πραγματοποιείται με την χρήση ενός βλήματος (οβίδα) η οποία λειτουργεί σαν πηγή ραδιενέργειας η οποία "σφηροκοπεί" τον εκάστοτε σχηματισμό με νετρόνια τα οποία έχουν υψηλές τιμές ταχύτητας (epithermal fenomeno). Στη συνέχεια, υπάρχει "σύγκρουση" μεταξύ των ατόμων που βρίσκονται στο πλέγμα του σχηματισμού και των νετρονίων του πυρήνα. Μέσω αυτής της σύγκρουσης, τα νετρόνια χάνουν ποσοστό απ' την ενέργειά τους με αποτέλεσμα να εκτελούν επιβραδυνόμενη κίνηση (μείωση μέτρου ταχύτητας) (thermal state fenomeno). Λόγω της επιβραδυνόμενης κίνησης των νετρονίων καθώς και της απώλειας της ενέργειάς τους, τα νετρόνια εισβάλλουν μέσα στο πλέγμα του σχηματισμού, εγκλωβίζονται στους πυρήνες των ατόμων και αποβάλλουν ενέργεια με την μορφή ακτινοβολίας γάμμα (η ενέργεια αποβάλλεται λόγω του εγκλωβισμού). Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία γάμμα και κατ' επέκταση τα σκεδαζόμενα νετρόνια καταγράφονται από το βλήμα (οβίδα). Οι κυριότεροι πυρήνες υδρογόνου (H) θα βρίσκονται άφθονοι στο νερό, όμως υπάρχουν πυρήνες υδρογόνου (H) και στο πετρέλαιο και η καταγραφή των σκεδαζόμενων νετρονίων απ' το βλήμα είναι αντιπροσωπευτική του πορώδους του σχηματισμού-ταμιευτήρα, διότι οι πυρήνες υδρογόνου (H) λειτουργούν σαν επιβραδυντές των ηλεκτρονίων. Αντίθετα, το φυσικό αέριο έχει λιγότερους πυρήνες υδρογόνου απ' το πετρέλαιο και το νερό και έτσι η καταγραφή των σκεδαζόμενων νετρονίων δείχνει λιγότερο ποσοστό πορώδους του ταμιευτήρα απ' ότι υπάρχει πραγματικά. Τέλος, υπάρχουν περιπτώσεις, όπως οι άργιλοι και οι αργιλικόι σχίστες κ.α. όπου στο κρυσταλλικό τους πλέγμα υπάρχουν ιόντα υδροξυλίου (OH). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι πυρήνες υδρογόνου (H) να "γίνονται ένα" με τους πυρήνες του οξυγόνου (O). Έτσι, τα σκεδασμένα νετρόνια που καταγράφονται από τον πυρήνα έχουν σαν αποτέλεσμα να

εμφανίζουν μεγαλύτερο ποσοστό πορώδους απ' αυτό που πραγματικά υπάρχει στον σχηματισμό.



-Εικόνα 5.23:Απεικόνισηοργάνου εκτέλεσης της διαγραφίας νετρονίων (αριστερά) και απεικόνιση αποτελεσμάτων (δεξιά) σε μορφή 2D και 3D. Πηγή: E8210: «ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩNeclass.uoa.gr/courses/GEOL250/»

### ▪ Μέθοδοι Μέτρησης Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης (Resistivity log)

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι η παλαιότερη μέθοδος διαγραφίας γεώτρησης και χρονολογείται από το 1927. Στόχος της διαγραφίας ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι να υπολογιστούν τα διάφορα ρευστά που υπάρχουν εντός των διαφόρων σχηματισμών που περιβάλλουν την γεώτρηση, το ποσοστό των υδρογονανθράκων και του νερού που πιθανολογούνται να υπάρχουν εντός κάποιων σχηματισμών – ταμιευτήρων, καθώς και το πορώδες των σχηματισμών. Στη μέθοδο αυτή, μετρείται η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Κατά την εκτέλεσή της, εντός της γεώτρησης, τοποθετούνται 2 ηλεκτρόδια τα οποία διατρέχουν την γεώτρηση, το ένα είναι ηλεκτρόδιο δυναμικού και το άλλο ηλεκτρόδιο ρεύματος, και 2 ηλεκτρόδια στην επιφάνεια το οποίο το ένα λειτουργεί ως πηγή και το άλλο ως μετρητής. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου εντός της γεώτρησης διατρέχονται 3 ηλεκτρόδια και 2 τοποθετούνται στην επιφάνεια. Από τα 3 ηλεκτρόδια που βρίσκονται εντός της γεώτρησης το 1 είναι ηλεκτρόδιο ρεύματος και τα άλλα 2 ηλεκτρόδια δυναμικού . Τα 2

ηλεκτρόδια δυναμικού βρίσκονται σε πολύ κοντινή απόσταση μεταξύ τους και το ηλεκτρόδιο ρεύματος βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση από τα άλλα 2. Και στις 2 περιπτώσεις υπάρχει μεγάλη διακριτική ικανότητα για τον εντοπισμό των λεπτών στρωμάτων, όμως στην περίπτωση των 3<sup>ων</sup> ηλεκτροδίων εντός της γεώτρησης οι μετρήσεις επηρεάζονται από τα διάφορα ρευστά που υπάρχουν στην γεώτρηση καθώς και από την ηλεκτρική αγωγιμότητα αυτών. Για να ξεπεραστούν τα προβλήματα αυτά χρησιμοποιούνται εστιασμένες διατάξεις (focused later log ή guard log) στις οποίες το ηλεκτρικό ρεύμα εντός των σχηματισμών και όχι εντός της γεώτρησης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχει καλύτερη διακριτική ικανότητα και οι τιμές οι οποίες υπολογίζονται κατά την μέτρηση είναι ανάλογες με τις τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης των σχηματισμών.

Ως επί το πλείστον, τα πετρώματα τα οποία απασχολούν τα πετρελαϊκά συστήματα και την εξερεύνηση των υλικών είναι τα ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία είναι κυρίως αντιστατικά πετρώματα (τα λιθολογικά τους υλικά είναι κυρίως μη αγωγίμα). Όσον αφορά τα πετρώματα με αυξημένο ποσοστό πορώδους, όταν το ρευστό που περιέχουν είναι κυρίως αλμυρό νερό, η τιμή της αγωγιμότητάς είναι αυξημένη. Αντιθέτως, όταν το πορώδες είναι πληρωμένο από πετρέλαιο και φυσικό αέριο τότε υπάρχει αύξηση στην τιμή της αντίστασης (π.χ. 50-1000 Ωm). Ο παράγοντας ο οποίος επηρεάζει την αγωγιμότητα και την αντίσταση ενός σχηματισμού είναι η θερμοκρασία. Όταν η θερμοκρασία αυξάνεται τότε η αντίσταση ενός σχηματισμού μειώνεται και αυτό γιατί η αύξηση της θερμοκρασίας, σε πολλούς σχηματισμούς, επηρεάζει τους δεσμούς και τις συνδέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των ορυκτών και των μορίων που τους αποτελούν. Η διαγραφή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εφαρμόζεται κυρίως σε γεωτρήσεις οι οποίες έχουν αγωγίμο πολτό, δηλαδή η βάση τους είναι το αλμυρό νερό. Εάν η βάση του γεωτρητικού πολτού είναι το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο, κάτι που καθιστά τον πολτό αντιστατικό, τότε χρησιμοποιείται η επαγωγική καταγραφή (induction log)

Με τις μετρήσεις που λαμβάνονται από την μέθοδο αυτή υπολογίζεται και ο παράγοντας σχηματισμού ( formation factor (f) ) από την 1<sup>η</sup> εξίσωση του Archie η οποία είναι:

$$F = \frac{R_0}{R_w} = \frac{1}{\phi^m}$$

Όπου :

- **φ**: πορώδες,

- **R<sub>0</sub>**: αντίσταση κορεσμένου πετρώματος,
- **R<sub>w</sub>**: αντίσταση νερού σχηματισμού (formation water)
- **m**: σταθερά συνεκτικοποίησης (cementation factor)(1.3<m<2.6.)

Μέσω υπολογισμού του παράγοντα σχηματισμού μπορεί να υπολογιστεί και το ποσοστό κορεσμού του ταμιευτήρα σε υδρογονάνθρακες μέσω της 2<sup>ης</sup> εξίσωσης του Archie

$$S_w^n = \frac{R_t}{(R_w \cdot \phi - m)}$$

**R<sub>t</sub>**: αντίσταση του σχηματισμού που περιέχει υδρογονάνθρακες

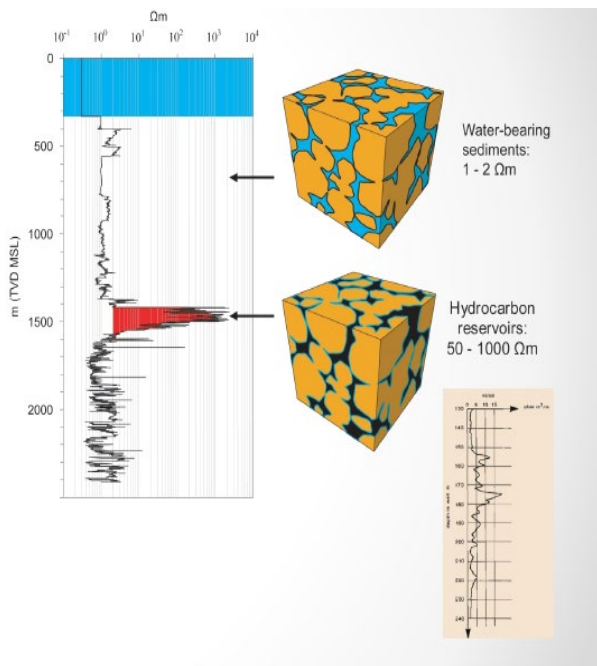
**S<sub>w</sub>**: κορεσμός σε νερό

**n**:σταθερά κορεσμού (saturation factor) (1.6<n<2.2)

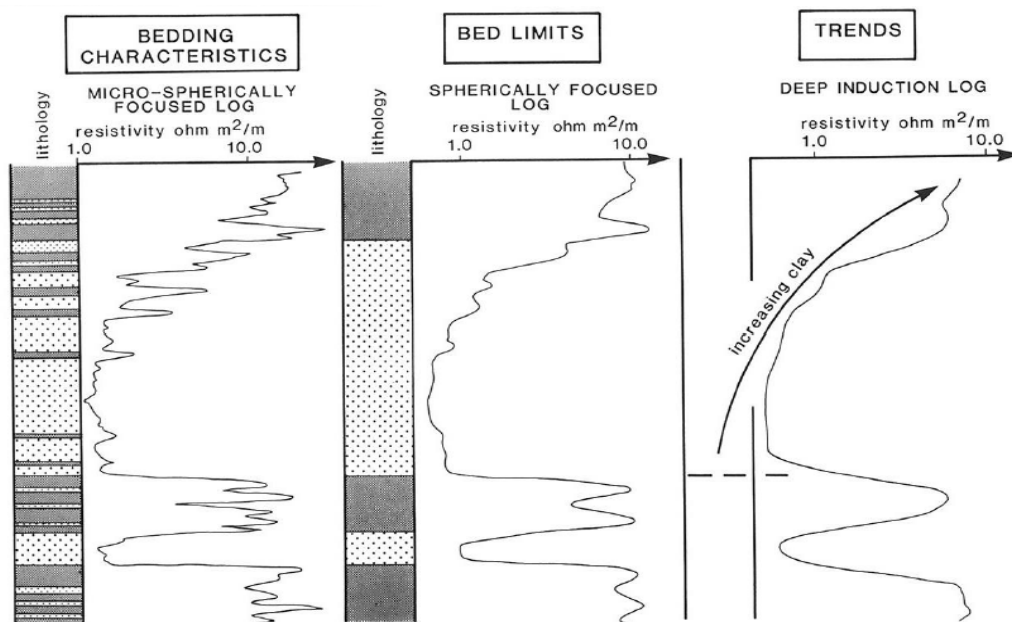
Και

$$S_{hc} = 1 - S_w$$

όπου:  $S_{hc}$ : ποσοστό κορεσμού σε υδρογονάνθρακες



-Εικόνα 5.24: Απεικόνιση αποτελεσμάτων διαγραφίας ηλεκτρικής αντίστασης σε μορφή 2D και 3D. Πηγή: «E8210: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ class.uoa.gr/courses/GEOL250/»



-Εικόνα 5.25: Απεικόνιση αποτελεσμάτων της διαγραφίας ηλεκτρικής αντίστασης ανάλογα με τον γεωλογικό σχηματισμό (κατά M. Rider, 2002). Πηγή: «E8210: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ class.uoa.gr/courses/GEOL250/»



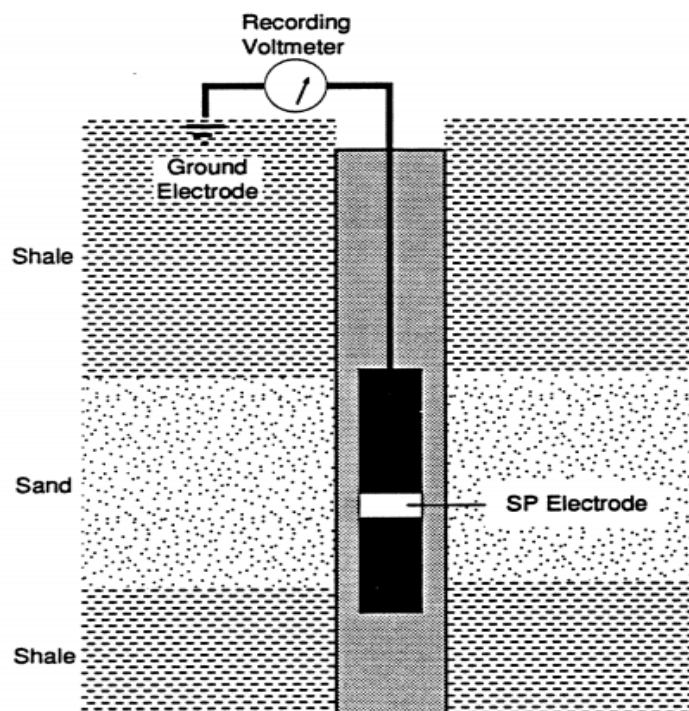


### ▪ Μέθοδος Φυσικού Δυναμικού (SP – logging)

Με την μέθοδο αυτή καταγράφονται συνέχεια οι διαφορές μεταβολές του φυσικού δυναμικού μιας γεώτρησης. Εφαρμόζεται κυρίως όταν η γεώτρηση είναι κορεσμένη από ρευστό (πολτός, νερό κ.α. )

Η μέθοδος φυσικού δυναμικού επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες:

- Την αλατότητα των ρευστών που υπάρχουν στην γεώτρηση
- Το πάχος του περατού στρώματος (π.χ. πάχος ταμιευτήρων)
- Την ειδική αντίσταση των στρωμάτων που συναντά η γεώτρηση
- Την ύπαρξη αργίλου μέσα στο στρώμα
- Τα σημεία όπου υπάρχει έντονη υδραυλική αγωγιμότητα μέσα στον περατό σχηματισμό
- Την μετατόπιση του αργίλου εντός του περατού σχηματισμού (κυρίως λόγω μεταβολών των γεωλογικών σχηματισμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας, της σύστασης, της αλατότητας κ.α )



-Εικόνα 5.27: Απεικόνιση διάταξης της οβίδας – sonde εντός της γεώτρησης καθώς και απεικόνιση της διάταξης στην επιφάνεια του βολτομέτρου αλλά και του γειωμένου ηλεκτροδίου. Πηγή: «Opencl.org».

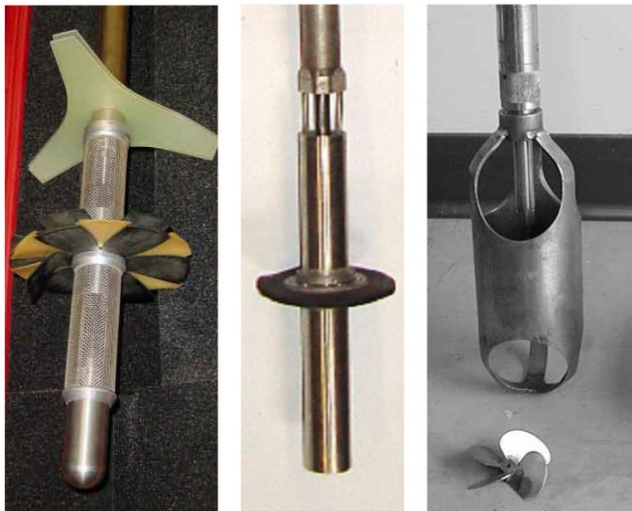
### ▪ Μέθοδος Μέτρησης Ταχύτητας Ρευστών (Flowmeter log)

Με αυτήν την μέθοδο καταγράφονται οι διαφορές μεταβολές στην ταχύτητα ενός ρευστού μέσω της ταχύτητας ροής και της διαμέτρου μιας γεώτρησης. Χρησιμοποιούνται για την καταγραφή τα ροόμετρα έλικα (impeller flowmeters) τα οποία αρχίζουν την καταγραφή από ταχύτητες των 5 ft/min και πάνω. Για τον λόγο



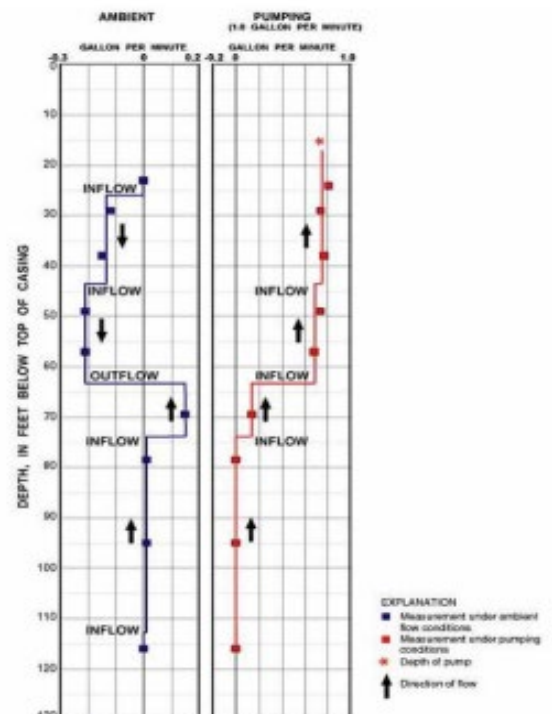
αυτόν κατασκευάστηκε ένα πιο εξελιγμένο όργανο, το ροόμετρο θερμικού παλμού (heat pulse flowmeter) το οποίο μπορεί να καταγράφει και ταχύτητες μικρότερες των 0,1 ft/min. Οι μετρήσεις αυτές παρέχουν ολοκληρωμένη εικόνα τόσο για ποσοτικές όσο και ποιοτικές πληροφορίες. Για παράδειγμα, ποιοτικά, καταγράφουν τις περιοχές εισροής και εκροής (inflow and outflow) των διαφόρων ρευστών και μπορούν να υποδείξουν τις περιοχές του πετρώματος με μεγάλη περατότητα και υδραυλική αγωγιμότητα (παράδειγμα: ζώνες διάκλασεις, ρήγματα, άμμοι εντός του σχηματισμού). Όσον αφορά τις ποσοτικές αναλύσεις, συνήθως χρησιμοποιείται η τεχνική της προσομοίωσης (αναλυτικής προσομοίωσης) και πραγματοποιείται μέσω διαφόρων προγραμμάτων σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Οι ποσοτικές αναλύσεις βασίζονται κυρίως στις αρχές της υδροδυναμικής.

Η συγκεκριμένη διαγραφή είναι ιδιαίτερα σημαντική στην εξερεύνηση των υδρογονανθράκων διότι ο άνθρακας έχει μεγάλη απορρόφηση θερμικής ενέργειας.



-Εικόνα 5.28: Απεικόνιση των τριών κύριων τύπων οβίδων μέτρησης ταχύτητας ρευστών (a) ροόμετρο θερμικού παλμού, (b) ροόμετρο μέτρησης ηλεκτρομαγνητικής παροχής και (c) ροόμετρο έλικα.  
Πηγή: «Openci.org»

-Εικόνα 5.29: Απεικόνιση καταγραφής από ροόμετρο θερμικού παλμού.  
Πηγή: «Δρ. Τσελέντης Άκης, Δρ. Παπαρσκευόπουλος Παρασκευάς. Εφαρμοσμένη Γεωφυσική»



#### ▪ Μέθοδος Ακουστικής Διαγραφίας (Sonic Log)

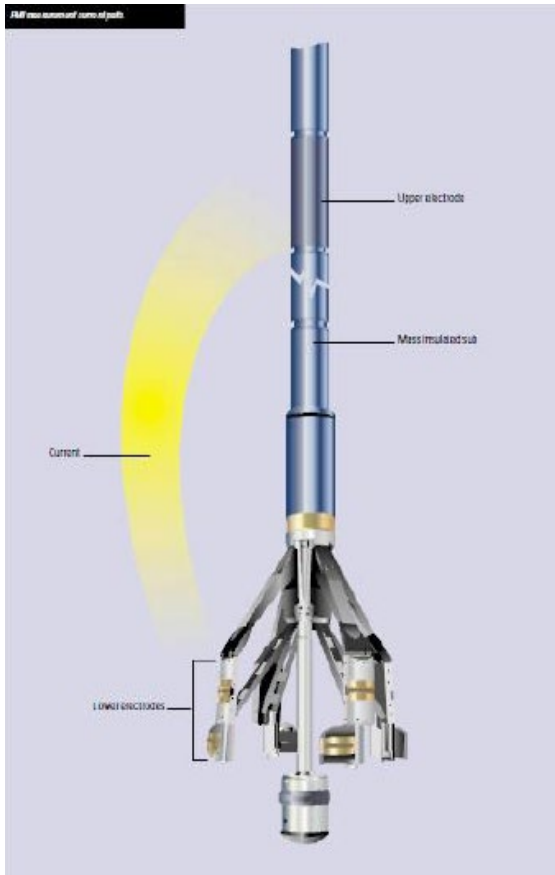
Η μέθοδος της ακουστικής διαγραφίας βασίζεται στις αρχές διάδοσης των σεισμικών κυμάτων. Στην μέθοδο αυτή καταγράφεται, από ένα βλήμα (οβίδα) που περιέχει σεισμικές πηγές και σεισμικούς δέκτες, ο χρόνος διαδρομής των σεισμικών κυμάτων, μεταξύ 2 σημείων εντός της γεώτρησης.

Ο χρόνος διαδρομής ενός σεισμικού κύματος εξαρτάται από το είδος του πετρώματος, την λιθολογία του, αλλά και το ποσοστό του πορώδους του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ότι, για να υπολογιστεί ο χρόνος διάδοσης ενός σεισμικού κύματος, θα πρέπει να είναι γνωστή η ταχύτητα με την οποία διαδίδεται το κύμα αυτό.

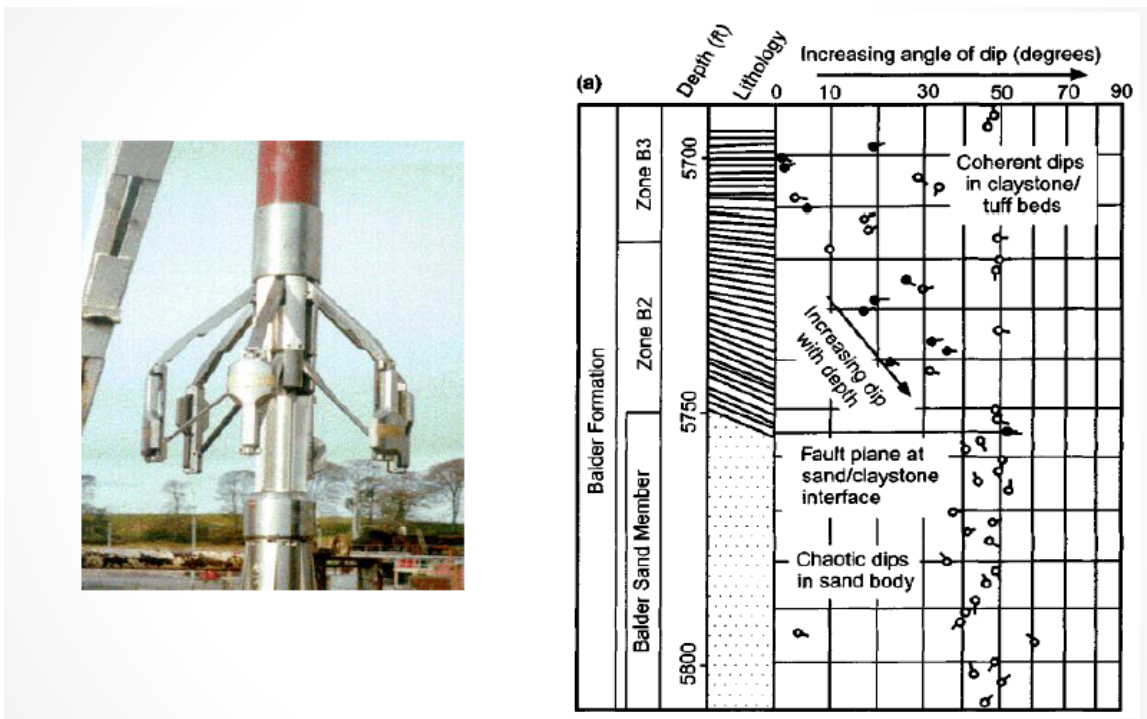
Συμπερασματικά, στόχοι της μεθόδου αυτής είναι να υπολογιστούν οι ταχύτητες των σεισμικών κυμάτων (εγκαρσίων κυμάτων Vs και ταχύτητες επιμηκών κυμάτων Vp), το πορώδες των σχηματισμών της γεώτρησης, καθώς και τα διάφορα ρευστά που υπάρχουν εντός των σχηματισμών.

#### ▪ Μέθοδος Κλισιομετρικής Καταγραφής (Dipmeter log)

Η διαγραφή αυτή στοχεύει στην καταγραφή των τιμών της κλίσης αλλά και στην φορά κλίσης των σχηματισμών που περιβάλλουν την γεώτρηση. Γενικότερα, στοχεύει στην γεωμετρία των σχηματισμών αλλά και στις διάφορες ιζηματογενείς δομές. Το όργανο το οποίο κάνει τις μετρήσεις αποτελείται από το λιγότερο 4 «πόδια» (pads) όπου βραχίονες τα πιέζουν στα τοιχώματα της γεώτρησης. Το κάθε pad αποτελείται από ειδικούς αισθητήρες οι οποίοι καταγράφουν τις καμπύλες μικροαντίστασης (microresistivity). Το όργανο αυτό ονομάζεται κλισιόμετρο. Οι καμπύλες οι οποίες καταγράφονται από τους αισθητήρες του κλισιομέτρου, είναι 4 καμπύλες ειδικής αντίστασης. Ο υπολογισμός της φοράς της κλίσης των στρωμάτων είναι εύκολος και γίνεται μέσω μιας πυξίδας που είναι ενσωματωμένη στο όργανο. Αντίθετα, ο υπολογισμός της τιμής κλίσης των στρωμάτων διαφέρει ανάλογα την περίπτωση. Για παράδειγμα, εάν οι μετρήσεις εκτελούνται σε κεκλιμένα στρώματα τότε, η διαφοροποίηση των καμπυλών που προέρχονται από το κλισιόμετρο θα πραγματοποιηθεί σε διαφορετικό βάθος η μία από την άλλη και γνωρίζοντας εξ αρχής την απόσταση μεταξύ του κάθε βραχίονα του κλισιομέτρου μπορεί να υπολογιστεί η τιμή της κλίσης των στρωμάτων. Για την έκδοση των τελικών αποτελεσμάτων απαιτείται γεωμετρική διόρθωση, ειδικά στην περίπτωση όπου η γεώτρηση δεν είναι κατακόρυφη κάτι το οποίο δεν είναι σύνηθες στην πετρελαϊκή έρευνα.



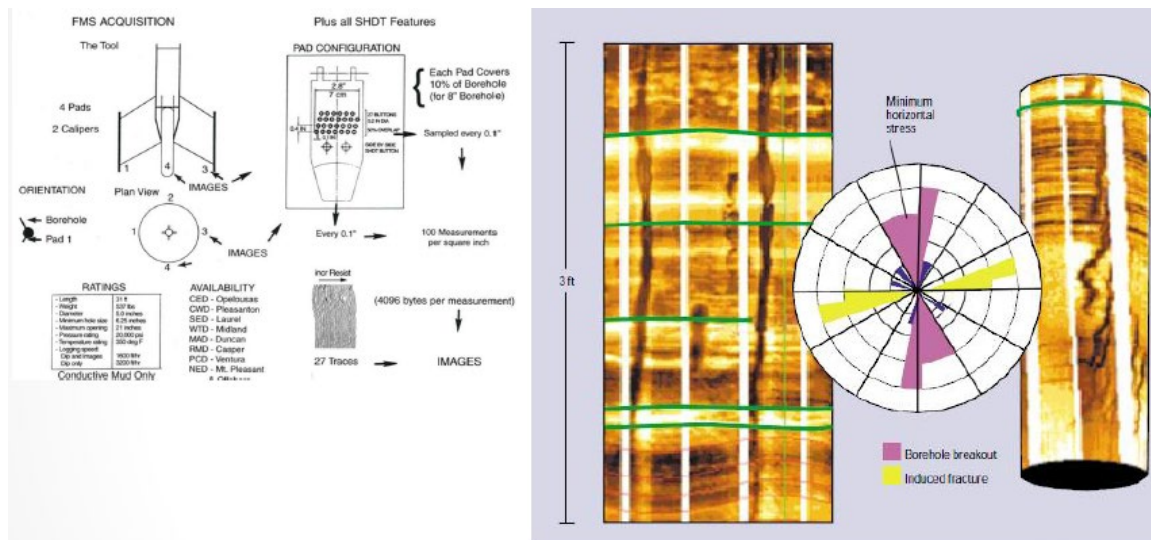
-Εικόνα 5.30: Απεικόνιση οργάνου κλισιομετρικής καταγραφής και ανάλυση των επιμέρους συστημάτων του. Πηγή: «E8210: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩNeclass.uoa.gr/courses/GEOL250/»



-Εικόνα 5.31: Απεικόνιση οργάνου κλισιομετρικής καταγραφής (αριστερά) και απεικόνιση αποτελεσμάτων (δεξιά). Πηγή: «E8210: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩNeclass.uoa.gr/courses/GEOL250/»

- **Μέθοδος Απεικονιστικών Καταγραφών (Image Logs VMI/FMI):**

Η τελευταία μέθοδος διαγραφίας είναι η απεικονιστική καταγραφή. Η μέθοδος αυτή συνδέεται με την μέθοδο των κλισιομετρικών καταγραφών, διότι μπορούν να δώσουν μεγαλύτερη ευκρίνεια στα ανώτερα στρώματα των κλισιομετρικών καταγραφών και σε αυτήν την μέθοδο στόχος είναι να υπολογισθεί η γεωμετρία του σχηματισμού και οι διάφορες ιζηματογενείς δομές. Το όργανο με το οποίο γίνονται οι καταγραφές είναι το κλισιόμετρο, όμως αυτό που διακρίνει τις 2 μεθόδους είναι ότι στην κλισιομετρική μέθοδο καταγράφονται ανά πόδι (pad) 2 καμπύλες μικροαντίστασης ενώ στην απεικονιστική μέθοδο καταγράφονται 48 καμπύλες μικροαντίστασης. Τα δεδομένα που καταγράφονται επεξεργάζονται και απεικονίζονται με χρωματική κλίμακα. Σε πολλές μετρήσεις που καταγράφονται μέσω αυτής της μεθόδου επιτρέπουν, εκτός από την πλήρη αποτύπωση της γεωμετρίας των σχηματισμών αλλά και ιζηματογενών δομών που πιθανόν να υπάρχουν στους σχηματισμούς με μεγάλη λεπτομέρεια όπως για παράδειγμα διάφορες μικροδιαρρήξεις.



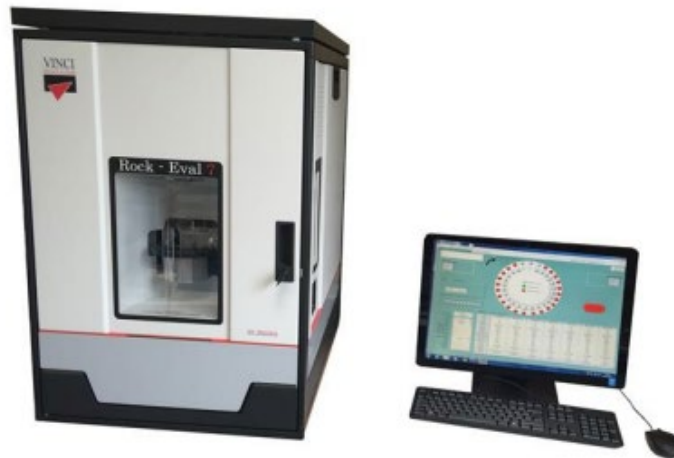
-Εικόνα 5.32: Απεικόνιση διάταξης οργάνου (αριστερά) και απεικόνιση αποτελεσμάτων (δεξιά). Πηγή: «E8210: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝeclass.uoa.gr/courses/GEOL250/»

## **5.7 ΓΕΩΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ**

Οι γεωχημικές μέθοδοι αποτελούν "αναπόσπαστο κομμάτι" της εξερεύνησης υδρογονανθράκων, καθώς βοηθούν στις μελέτες υδρογονανθράκων (δηλαδή την ποιότητα και την προέλευσή τους), στις μελέτες των λεκανών και στις μελέτες πετρελαιογένεσης (δηλαδή την ωρίμανση του μητρικού πετρώματος και του οργανικού υλικού καθώς και την ποιότητα και το ποσοστό του οργανικού υλικού εντός του μητρικού πετρώματος). Οι γεωχημικές μέθοδοι στηρίζονται κυρίως στην τάση των υδρογονανθράκων να μεταναστεύουν προς τα ανώτερα στρώματα και την επιφάνεια, λόγω της χαμηλής τους πυκνότητας. Οι μέθοδοι που πραγματοποιούνται είναι η πυρόλυση Rock – Eval και η ανάλυση ισοτόπων άνθρακα.

### 5.7.1 ΠΥΡΟΛΥΣΗ ROCK – EVAL

Με την μέθοδο της πυρόλυσης Rock – Eval εκτιμάται ο τύπος και ο βαθμός ωρίμανσης της οργανικής ύλης και το πετρελαϊκό δυναμικό (petroleum potential) των ιζημάτων. Κατά την μέθοδο αυτή, λαμβάνεται δείγμα ιζήματος από πυρήνα γεώτρησης βάρους 100 γραμμαρίων το οποίο θερμαίνεται σε ειδικό φούρνο (φούρνος πυρόλυσης) (pyrolysis oven).



-Εικόνα 5.33: Φούρνος πυρόλυσης και οθόνη καταγραφής των αποτελεσμάτων. Πηγή: «Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Κοιτασματολογία Πετρελαίου. Δρ. Α. Γεωργακόπουλος. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης».

### 5.7.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΙΣΟΤΟΠΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

Η ανάλυση ισοτόπων άνθρακα πραγματοποιείται κυρίως στα συστατικά του φυσικού αερίου και στηρίζεται στην αναλογία των ισοτόπων του άνθρακα 13 ( $^{13}\text{C}$ ) και άνθρακα 12 ( $^{12}\text{C}$ ) στο μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ). Έτσι, μπορεί να ανιχνευτεί και το ποσοστό ωρίμανσης του οργανικού υλικού από το οποίο έχει προέλθει το μεθάνιο. Στόχος της είναι να αποσπαστούν αξιόπιστες πληροφορίες και εκτιμήσεις για τα μητρικά πετρώματα αλλά και γενικότερα για την στρωματογραφική ακολουθία της περιοχής μελέτης, αλλά και να εμφανίσει το ποσοστό μετανάστευσης του αερίου προς την επιφάνεια.

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**

## **ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΚΕΣ** **ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ** **ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ**

### **6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Για την έναρξη των γεωτρήσεων σε μία περιοχή μελέτης, θα πρέπει να υπάρχει ένα πλήρες μοντέλο των διαφόρων αποθεμάτων των υδρογονανθράκων. Το μοντέλο αυτό πρέπει να περιλαμβάνει τις ακριβείς θέσεις των ταμιευτήρων, λόγω του εξαιρετικά μεγάλου κόστους για την εκτέλεση μιας γεώτρησης. Κατά μέσο όρο, το αρχικό κόστος μιας χερσαίας γεώτρησης αρχίζει από τα 5 εκ. ευρώ και φτάνει μέχρι τα 15 εκ. ευρώ. Οι υποθαλάσσιες γεωτρήσεις κοστολογούνται, κατά μέσο όρο, από 20 εκ. ευρώ και φτάνουν μέχρι και τα 60 εκ. ευρώ, ενώ σε δυσπρόσιτες περιοχές με πολύ μεγάλα βάθη και υπό δυσμενείς συνθήκες, κοστολογούνται στα 100 εκ. ευρώ.

Για την πραγματοποίηση μιας γεώτρησης, θα πρέπει πρώτα, τα αποτελέσματα των μεθόδων εξερεύνησης (υδρογραφική, τοπογραφική, εναέρια, γεωλογική, γεωφυσική), να κλείνουν θετικά προς την εκτέλεσή της, δηλαδή, το σφάλμα απόκλισης των αποτελεσμάτων των προαναφερθέντων μεθόδων να είναι ελάχιστο σε σχέση με το υπάρχον γεωλογικό καθεστώς.

### **6.2 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ**

Ως γεώτρηση, στην έρευνα υδρογονανθράκων, ορίζεται ο τρόπος διάτρησης ενός επιλεγμένου μέρους του υπεδάφους και είναι ανθρωπογενής διεργασία. Για την εκτέλεσή της, χρησιμοποιείται ένα τρυπάνι ειδικών προδιαγραφών. Στόχος της πραγματοποίησης μιας γεώτρησης είναι:

- η πρόσβαση στο κοίτασμα πετρελαίου και φυσικού αερίου,- η εξόρυξη των αποθεμάτων να γίνεται με ασφάλεια,
- η αποτελεσματική σύνδεση του εξοπλισμού επιφανείας με τον υπόγειο εξοπλισμό και το κοίτασμα για την σωστή παραγωγή, ανόρυξη και συντήρηση.

Οι γεωτρήσεις θα μπορούσαν να διακριθούν, ανάλογα:

- 1) με το περιβάλλον που εκτελούνται και
- 2) με το είδος τους.



Ανάλογα με το περιβάλλον εκτέλεσης διακρίνονται σε: - χερσαίες ,εάν εκτελούνται στη ξηρά και

-υποθαλάσσιες, εάν εκτελούνται σε θαλάσσιο χώρο.

Ανάλογα με το είδος τους διακρίνονται σε: α) δειγματοληπτικές – εξερευνητικές (exploration wells)

β) επιβεβαιωτικές (appraisal wells)

γ) παραγωγικές (productive wells)

α) Ως δειγματοληπτική – εξερευνητική γεώτρηση (exploration well) ορίζεται η γεώτρηση που λαμβάνει δείγμα του υπεδάφους για μελέτη και ειδική επεξεργασία και για την διαπίστωση και επιβεβαίωση αποθεμάτων υδρογονανθράκων σε μία περιοχή μελέτης. Σε αυτό το είδος γεώτρησης ανήκουν οι εξής διαδικασίες:

- i. οι γεωτρήσεις κρουστικών οπών (drilling of shotholes)
- ii. οι περιστροφικές δειγματοληπτικές οπές (core holes)
- iii. οι οπές στρωματογραφικού ελέγχου (stratigraphic test holes)

Στην αρχική δειγματοληπτική γεώτρηση, ταυτόχρονα με τη διάτρηση εκτελούνται συγκεκριμένες εργασίες που αποτελούν είδη δειγματοληψιών και δοκιμών. Αυτά είναι:

- η αρχική γεώτρηση (spudding)
- οι δοκιμές (testing)
- η πυρηνοληψία (coring)
- οι διαγραφίες (well logs)

Στις γεωτρήσεις κρουστικών οπών(drilling of shot holes) χρησιμοποιούνται εκρηκτικά, όπως ο δυναμίτης. Τα εκρηκτικά δημιουργούν σεισμικά κύματα, λειτουργούν δηλαδή ως πηγή, τοποθετούνται, από 6 έως και 76 μέτρα, διαδοχικά, κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, σε ένα άνοιγμα κυκλικής διατομής. Το άνοιγμα αυτό δημιουργείται από ένα ειδικό γεωτρύπανο, το ARDCOC-1000 το οποίο βρίσκεται πάνω σε ένα όχημα τύπου buggy ARDCOK 4x4.



-Εικόνα 6.1: Χερσαίο γεωτρύπανο για γεωτρήσεις κρουστικών οπών τύπου ARDCOC-1000 K 4X4. Πηγή: «wheelsage.org»

Στις περιστροφικές δειγματοληπτικές οπές (core holes) χρησιμοποιείται το περιστροφικό τρυπάνι, γνωστό και ως τρυπάνι πυρήνων ή «ποτηροτρύπανο», το οποίο αποσπά δείγμα κυλινδρικής μορφής. Το δείγμα που αποσπάται ονομάζεται πυρήνας. Το άκρο του κοπτικού έχει τη μορφή ποτηριού και είναι γνωστό με την ονομασία «καρότο». Τα τρυπάνια πυρήνων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πολλές περιπτώσεις, όπως δειγματοληψίες, αλλά και για εργασίες γεώτρησης που απαιτούν λιγότερο χρόνο και γρήγορες διαδικασίες. Τα τρυπάνια αυτά έχουν συνήθως καρότα από διαμάντι ή αδαμαντοκόρωνα με σκοπό το άνοιγμα οπών μεγάλης διατομής σε συμπαγή υλικά, όπως μπετόν ή πετρώματα έντονης σκληρότητας.



-Εικόνα 6.2: Τρυπάνι πυρήνων για γεωτρήσεις περιστροφικών δειγματοληπτικών οπών.  
Πηγή: «holtservicesinc.com»

Οι οπές στρωματογραφικού ελέγχου (stratigraphic test holes) πραγματοποιούνται κυρίως για την συλλογή περαιτέρω πληροφοριών για την στρωματογραφία και τις στρωματογραφικές δομές μιας περιοχής μελέτης. Στον τύπο αυτόν μπορούν να εκτελεστούν όλα τα προαναφερθέντα είδη γεώτρησης, εκτός από τις κρουστικές γεωτρήσεις.

β) Ως επιβεβαιωτικές γεωτρήσεις (appraisal wells) ορίζονται οι γεωτρήσεις που εκτελούνται στα βεβαιωμένα αποθέματα υδρογονανθράκων με σκοπό την εκτίμηση του μεγέθους τους, την εκτίμηση του ρυθμού παραγωγής του ταμιευτήρα καθώς και την εκτίμηση της εμπορευσιμότητας των αποθεμάτων αυτών. Όμως, υπάρχει και ένα είδος γεωτρήσεων το οποίο εκτελείται όταν τα ήδη υπάρχοντα στοιχεία έχουν ελλείψεις και είναι γνωστό με την ονομασία wildcat wells.

γ) Ως παραγωγικές γεωτρήσεις (productive wells), γνωστές και ως γεωτρήσεις ανάπτυξης (development wells), ορίζονται αυτές που λαμβάνουν χώρα στο πρόγραμμα FDP (Field Development Plan=Πλαίσιο Ανάπτυξης Πεδίου) και στόχος τους είναι η παραγωγή αλλά και η μέγιστη βελτίωση της διαδικασίας εξόρυξης. Σε αυτόν τον τύπο γεωτρήσεων υπάγονται και διάφορες παρεμβατικές κινήσεις που βοηθούν στην τέλεια λειτουργία της γεώτρησης ανάπτυξης, όπως διάφορες επισκευές, η συλλογή παραπάνω ακόμα και καινούργιων πληροφοριών και επιτήρηση των κανόνων ασφαλείας που πρέπει να τηρούνται εντός της γεώτρησης (π.χ. περιβαλλοντικοί κανόνες για την προστασία του περιβάλλοντος που εκτελείται η γεώτρηση ή κανόνες υγείας για το προσωπικό εργασίας που βρίσκεται στην επιφάνεια).

### **6.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ**

Πριν από την εκτέλεση οποιουδήποτε τύπου γεώτρησης απαιτείται η δημιουργία ενός προγράμματος – μελέτης όπου θα πληρούνται συγκεκριμένες προδιαγραφές.

Στο πρόγραμμα αυτό υπακούουν τα εξής βήματα:

#### **1) Η ανατομία της γεώτρησης**

Στο στάδιο αυτό παρατίθενται, σε μορφή μελέτης, όλα τα γενικευμένα δεδομένα που υπάρχουν για την κατασκευή της γεώτρησης.

#### **2) Η θέση της γεώτρησης**

Στο στάδιο αυτό συμψηφίζονται όλα τα στοιχεία του 1<sup>ου</sup> σταδίου μαζί με τα στοιχεία που έχουν δοθεί από τις διάφορες μεθόδους εξερεύνησης. Αναλυτικότερα, σε αυτό το στάδιο εντάσσονται οι ακριβείς συντεταγμένες της θέσης που θα εκτελεστεί η γεώτρηση, το σχετικό βάθος και μέγεθος του στόχου, τα αποτελέσματα των μεθόδων εξερεύνησης, τα στοιχεία που τυχόν υπάρχουν από προϋπάρχοντες γεωτρήσεις που πιθανόν να έχουν λάβει χώρα, τους διαφόρους περιορισμούς που υπόκεινται στο υπάρχον νομοθετικό και περιβαλλοντικό πλαίσιο της περιοχής μελέτης και την καταλυτική ημερομηνία λήξης του έργου, όπως αυτή αναφέρεται στο ημερολόγιο έργου.

#### **3) Το οικονομικό πλαίσιο της γεώτρησης**

Στο σημείο αυτό αναπτύσσεται μία νέα μελέτη η οποία συμπεριλαμβάνει όλα τα στοιχεία από τα προηγούμενα δύο στάδια και εφόσον η επιστημονική ομάδα κρίνει σωστή την έναρξη της γεώτρησης, προστίθενται παραπάνω τεχνικά αλλά και οικονομικά στοιχεία. Ειδικότερα, προστίθενται αναλυτικότερα η θέση που θα εκτελεστεί η γεώτρηση, οι πιθανότητες εύρεσης ενός κοιτάσματος υδρογονανθράκων, το γεωλογικό και γεωφυσικό υπάρχον καθεστώς, η εκτέλεση των διαγραφιών, η λήψη δειγμάτων και η ανάλυση αυτών, το προσωπικό εργασίας, ο απαιτούμενος εξοπλισμός, διάφορη αναλώσιμη ύλη κ.α.

#### **4) Ο σχεδιασμός του τρόπου διάτρησης και η σωλήνωση της γεώτρησης**

Στο τελευταίο αυτό στάδιο, στόχος είναι ο ακριβής και επαρκής σχεδιασμός της κατασκευής. Στην τελική μελέτη που παρουσιάζεται, συμπεριλαμβάνονται όλα τα στοιχεία των προαναφερθέντων 3 σταδίων, και προστίθενται στοιχεία, ιδιαίτερα σημαντικά, όπως, η διάμετρος των διαφόρων κοπτικών και των σωληνώσεων, ο αριθμός των σωληνώσεων συναρτήσει του βάθους, η τσιμέντωση της γεώτρησης, το πρόγραμμα επεξεργασίας των διαφόρων ρευστών που παράγονται κατά τη διάτρηση και το οικονομικό κόστος όλων αυτών των εργασιών. Στο στάδιο αυτό διευκρινίζεται το είδος των γεωτρήσεων διότι, όταν εκτελείται μία ερευνητική γεώτρηση ο τρόπος και η μηχανική της διάτρησης είναι διαφορετικά λόγω της αβεβαιότητας για το πραγματικό γεωλογικό καθεστώς, σε αντίθεση με μία παραγωγική γεώτρηση όπου το γεωλογικό καθεστώς είναι γνωστό και έτσι αλλάζει ο τρόπος και η μηχανική της διάτρησης.

Όσον αφορά το τελικό κόστος της γεώτρησης, λαμβάνονται υπόψη πολλά στοιχεία όπως η τιμή ενοικίασης του γεωτράπανου (συνήθως στις χερσαίες γεωτρήσεις, η τιμή ενοικίασης είναι χαμηλότερη από ότι στις υποθαλάσσιες, και ακόμα χαμηλότερη εάν

εκτελούνται σε μικρό βάθος). Το τελικό κόστος μπορεί να εκτιμηθεί μέσω της παρακάτω εξίσωσης:

$$C = \frac{R(t+t_d) + C_b}{F}$$

όπου: C = το κόστος της διάτρησης είτε ανά μέτρο (\$/m) είτε ανά πόδι(\$/ft) για κάθε κοπτικό (drilling cost)

R = το συνολικό κόστος του γεωτρύπανου ανά ώρα (\$/hr) (rig operating cost)

t = οι συνολικοί «νεκροί» χρόνοι που καταγράφονται για την εκτέλεση εργασιών, όπως, η καθέλκυση της διατρητικής στήλης στο βάθος έναρξης της διάτρησης, η τοποθέτηση των διαφόρων στοιχείων στη διατρητική στήλη για την έναρξη της διάτρησης και η ανέλκυση της στήλης στην επιφάνεια και κατ' επέκταση η αλλαγή του κοπτικού άκρου. Στην καθομιλουμένη το τείναι γνωστό και ως χρόνος «μανούβρας» (trip time). Υπολογίζεται σε ώρες (hr).

t<sub>d</sub> = ο χρόνος διάτρησης για κάθε κοπτικό (drilling time). Υπολογίζεται σε ώρες (hr).

C<sub>b</sub> = το κόστος του κοπτικού (bit cost). Υπολογίζεται σε δολάρια (\$).

F = τα πόδια (ft) ή τα μέτρα (m) που χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση της διάτρησης.

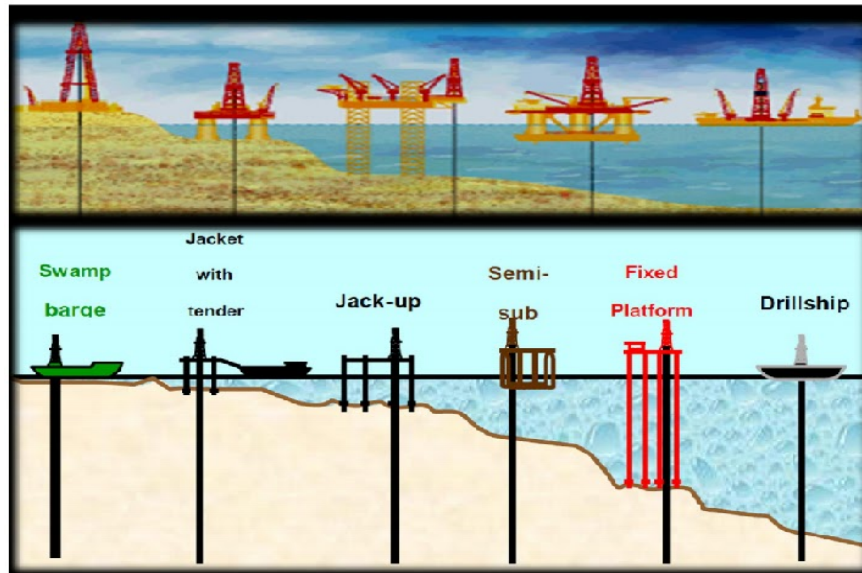
## 6.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΕΩΤΡΥΠΑΝΩΝ – ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ

Ως γεωτρύπανο ορίζεται το μηχάνημα το οποίο χρησιμοποιείται για το άνοιγμα μεγάλων οπών κυκλικής διατομής, και έχει ως στόχο την εμφάνιση στην επιφάνεια είτε νερού από κάποιον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα είτε την ανόρυξη και μετ' έπειτα την παραγωγή υδρογονανθράκων. Το γεωτρύπανο τοποθετείται πάνω σε μία «πλατφόρμα». Η «πλατφόρμα» αυτή μπορεί να αναφέρεται σε κάθε κινητό αντικείμενο που μπορεί πάνω να τοποθετηθεί ένα γεωτρύπανο, όπως: ειδικά σχεδιασμένα φορτηγά και κατασκευές χερσαίες ή υπεράκτιες μόνιμου χαρακτήρα. Οι πλατφόρμες χρησιμοποιούνται τόσο για την ανόρυξη και την παραγωγή υδρογονανθράκων, όσο και για την εκτέλεση εξερευνητικών – δειγματοληπτικών γεωτρήσεων.

Στην εξερεύνηση υδρογονανθράκων, τα γεωτρύπανα ποικίλουν ανάλογα με το σημείο που εκτελείται μία γεώτρηση. Εάν η γεώτρηση εκτελείται στη χέρσο, τότε χρησιμοποιείται γεωτρύπανο περιστροφικής διάτρησης και είναι ο πιο συνήθης τύπος γεωτρύπανου και εντοπίζεται σε διάφορα μεγέθη και με ποικιλία αντοχής. Συνήθως ταξινομούνται βάσει του βάθους διάτρησης και της ταχύτητας διάτρησης. Στις χερσαίες γεωτρήσεις ανόρυξης υδρογονανθράκων, με το πέρας της ανόρυξης σε ένα σημείο, η ειδικά σχεδιασμένη μονάδα απομακρύνεται και στην θέση της τοποθετείται μια μικρότερη πλατφόρμα η οποία συντελεί στον τερματισμό της γεώτρησης. Στην πετρελαϊκή βιομηχανία, οι χερσαίες γεωτρήσεις είναι γνωστές ως **Onshore Drilling**.

Όσον αφορά τις γεωτρήσεις που εκτελούνται σε θαλάσσιο χώρο, αλλάζουν κυρίως οι πλατφόρμες όπου τοποθετείται το κάθε γεωτρύπανο. Εάν η γεώτρηση εκτελείται σε

αβαθή νερά χρησιμοποιούνται πλατφόρμες που μπορούν να στερεοποιηθούν στο βυθό, ενώ εάν εκτελούνται σε μεγάλα βάθη χρησιμοποιούνται πλατφόρμες που μπορούν να επιπλέουν. Για την επιλογή της πλατφόρμας λαμβάνονται υπόψη όχι μόνο το βάθος, αλλά και οι επικρατούσες συνθήκες στην περιοχή, δηλαδή, οι καιρικές συνθήκες, τα κύματα, τα ρεύμα και η ταχύτητα του νερού. Στην πετρελαϊκή βιομηχανία, οι υπεράκτιες γεωτρήσεις είναι γνωστές ως **Offshore drilling**.

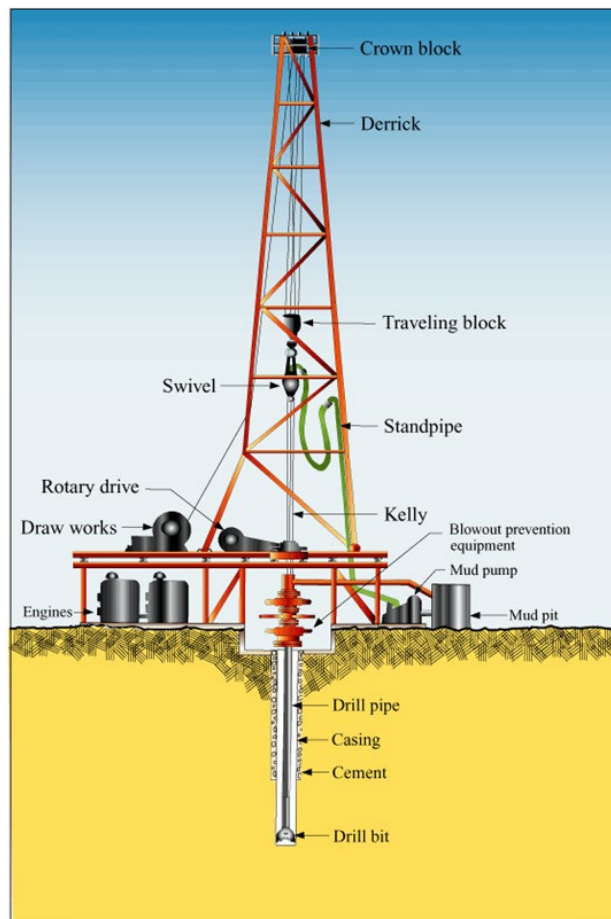


-Εικόνα 6.3: Τύποι πλατφορμών γεώτρησης. Πηγή: «petoil.blogspot.com»

Τα γεωτρήματα, ανεξαρτήτως του είδους τους και του σημείου που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση μιας γεώτρησης, έχουν μια συγκεκριμένη ανατομία. Αναλυτικότερα, αποτελούνται από τα εξής:

- Κινητήρα,-ες: Είναι τύπου Diesel, είναι η κύρια πηγή ενέργειας του γεωτρήματος και βοηθούν στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, τροφοδοτώντας τις αντίστοιχες γεννήτριες.
- Γερανοί: Ανυψώνουν τους σωλήνες για την γεώτρηση και τα διατρητικά στελέχη τους περιστρέφονται μέσω των κινητήρων. Έχουν πολύ υψηλές αντοχές συγκράτησης βάρους.
- Σύστημα Ανύψωσης: Χρησιμοποιείται για την ανύψωση αντικειμένων πολύ μεγάλου βάρους και κινείται με ηλεκτρικό ρεύμα προερχόμενο από τις ηλεκτρογεννήτριες. Αποτελείται από ένα μηχανικό βαρούλκο το οποίο έχει καλώδιο από χάλυβα, ένα σύστημα με τροχαλίες, μία υποδοχή για το καλώδια κυλινδρικής μορφής και μία τράπεζα περιστροφής.
- Εξοπλισμός Περιστροφής: Βασικό στοιχείο για την περιστροφή της γεώτρησης. Αποτελείται από την διάταξη περιστροφής, το στέλεχος που μεταφέρει την περιστροφική κίνηση στη τράπεζα περιστροφής και τη διατρητική στήλη, γνωστό και ως «Kelly», τη τράπεζα περιστροφής, τη διατρητική στήλη και το κοπτικό άκρο.
- Περίβλημα Γεώτρησης: Σωλήνωση με μεγάλη διάμετρο, στηρίζεται σε τσιμέντο, εφαρμόζεται στα τοιχώματα της γεώτρησης ώστε να αποτραπεί η κατάρρευσή της και να επιτρέπεται η εύκολη κυκλοφορία των διαφόρων γεωτρητικών ρευστών.

- Εξοπλισμός Στήριξης: Βοηθά στην στήριξη του τρυπανιού, είναι μία κατασκευή μεγάλου ύψους και αυτό δίνει την ευχέρεια να ολοκληρωθούν με ευκολία οι διάφορες εργασίες για τον τερματισμό της γεώτρησης.
- Αποτροπέας Εκρήξεων: Στόχος αυτής της κατασκευής είναι η αποτροπή έκρηξης από ανεξέλεγκτη εκροή πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Αποτελείται από βάνες υψηλής πίεσης οι οποίες ασφαλίζουν την γεώτρηση και βοηθούν στην εκτόνωση των διαφορών πιέσεων.



-Εικόνα 6.4: Απεικόνιση της ανατομίας ενός χερσαίου γεωτρήπανου. Πηγή: «Physics and Oil Recovery: A Brief Look at Some of the Forces Behind Our Petroleum».

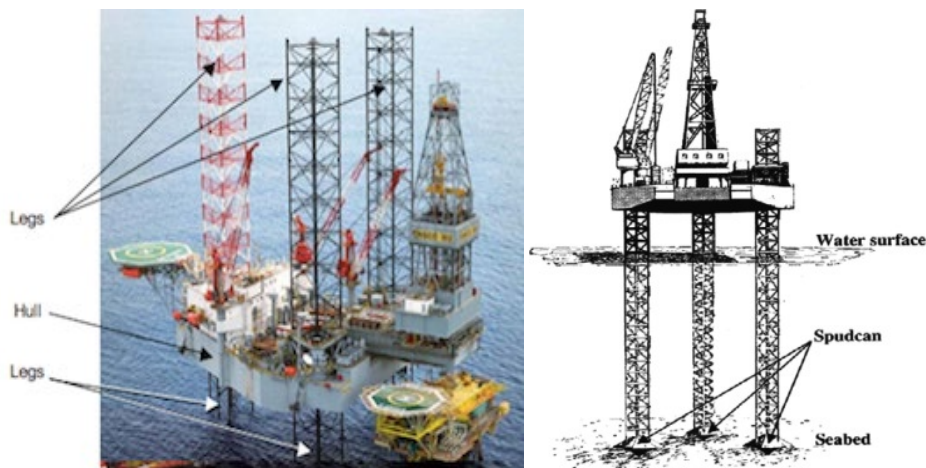
## ▪ ΥΠΕΡΑΚΤΙΕΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ

Οι υπεράκτιες πλατφόρμες είναι κινητές υπεράκτιες μονάδες όπου πραγματοποιούνται οι υπεράκτιες εξερευνητικές, επιβεβαιωτικές και παραγωγικές γεωτρήσεις. Στην πετρελαϊκή βιομηχανία είναι γνωστές και με την ονομασία MODUs (Mobile Offshore Drilling Units). Όπως προαναφέρθηκε, οι πλατφόρμες επιλέγονται βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων, με κυριότερο το βάθος. Εάν η γεώτρηση εκτελείται σε αβαθή νερά, χρησιμοποιείται ο τύπος πλατφόρμας Jack-up και εάν εκτελείται στην ζώνη μετάβασης και σε μεγάλα βάθη, χρησιμοποιούνται οι ημι-βυθιζόμενες πλατφόρμες και γεωτρητικά πλοία αντίστοιχα. Οι ημι-βυθιζόμενες πλατφόρμες και τα γεωτρητικά πλοία είναι MODU.



## ➤ ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ JACK-UP (Jack-up rigs)

Η πλατφόρμα Jack-up είναι ο πιο συνηθής τύπος πλατφόρμας που χρησιμοποιείται σε θαλάσσιες γεωτρήσεις. Αυτό γίνεται διότι αυτός ο τύπος πλατφόρμας υπάρχει σε μεγάλα αποθέματα στην παγκόσμια αγορά και έχει χαμηλό κόστος ενοικίασης. Αποτελείται από 3 ή 4 πόδια (legs), ένα κύτος (hull) και ένα σύστημα ανύψωσης (lifting system), χρησιμοποιείται για γεωτρήσεις που το βάθος είναι μέχρι 120 μέτρα και μπορεί να ρυμουλκηθεί έως την θέση της γεώτρησης με ειδικά πλοία, εάν η θέση της γεώτρησης είναι σε κοντινή απόσταση, και με φορτηγά πλοία (heavy-lift vessels), εάν η θέση βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση. Όταν η πλατφόρμα βρίσκεται στο σημείο ενδιαφέροντος, τα πόδια χαμηλώνουν και ακουμπούν στο βυθό και το κύτος ανυψώνεται για να παρέχει ένα σταθερό κατάστρωμα εργασίας ικανό να αντέξει τα περιβαλλοντικά φορτία (το κατάστρωμα, λόγω της ανύψωσης βρίσκεται πολύ πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και έτσι δεν επηρεάζεται από τους κυματισμούς και τα ρεύματα του νερού). Μια τυπική σύγχρονη διάτρηση Jack-up είναι σε θέση να λειτουργεί σε σκληρό περιβάλλον, όπως τα ύψη κύματος να είναι μέχρι 25m, οι ταχύτητες του ανέμου πάνω από 100 κόμβους και σε βάθη νερού μέχρι 150m. Οι πλατφόρμες Jack-up χρησιμοποιούνται για εξερευνητικές γεωτρήσεις, για την παραγωγή, τη στέγαση, και τις εργασίες συντήρησης. Έχουν διάρκεια ζωής, κατά μέσο όρο, 12 με 15 χρόνια. Βασικό της πλεονέκτημα είναι η εύκολη επισκευή, αναβάθμιση, ενίσχυση και ανακαίνισή της σε σχέση με τις ημι-βυθιζόμενες πλατφόρμες και τα γεωτρητικά πλοία.

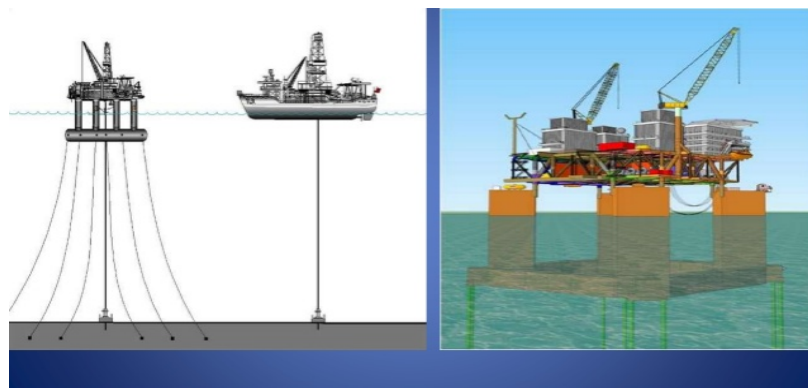


-Εικόνα 6.5: Απεικονίσεις πλατφόρμας τύπου Jack-up. Πηγές: «MarineWiki.org και Sciencedirect.com».

## ➤ ΗΜΙ-ΒΥΘΙΖΟΜΕΝΕΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ (Semi-submersible rigs)

Οι ημι-βυθιζόμενες πλατφόρμες, όπως υποδηλώνει και το όνομά τους, δεν στηρίζονται στον θαλάσσιο πυθμένα, επιπλέουν στο νερό. Χρησιμοποιούνται κυρίως στις περιπτώσεις όπου η θέση της γεώτρησης βρίσκεται σε μεγάλα βάθη (το βάθος αγγίζει τα 3 χιλιόμετρα). Αποτελούνται από μία σταθερή πλατφόρμα εργασίας με το γεωτρύπανο που βρίσκεται στο κέντρο της πλατφόρμας να περιβάλλεται από ένα μεγάλο ανοικτό κατάστρωμα για την αποθήκευση και την προετοιμασία του εξοπλισμού για την υποστήριξη της λειτουργίας της γεώτρησης. Αυτού του τύπου πλατφόρμες, στηρίζονται με την βοήθεια 8 ή 12 μεγάλων αγκυρών, βάρους 10 τόνων η κάθε άγκυρα. Οι

πλατφόρμες αυτές συνήθως ταξινομούνται σε γενιές, ανάλογα με το έτος κατασκευής τους. Βασικά πλεονεκτήματά τους είναι η αντοχή τους σε αντίξοες συνθήκες (έντονος κυματισμός και ρεύματα του νερού) και η εύκολη ρυμούλκησή τους. Μειονέκτημά τους το μεγάλο κόστος τους. Κατά τη διάρκεια της εξόρυξης συνήθως βυθίζονται ελαφρώς μέσα στο νερό και έχουν δικό τους αυτόνομο σύστημα ανύψωσης.



-Εικόνα 6.6: Διάταξη (αριστερά) και απεικόνιση (δεξιά) μιας ημι-βυθιζόμενης πλατφόρμας. Πηγή: «slideshare.net»

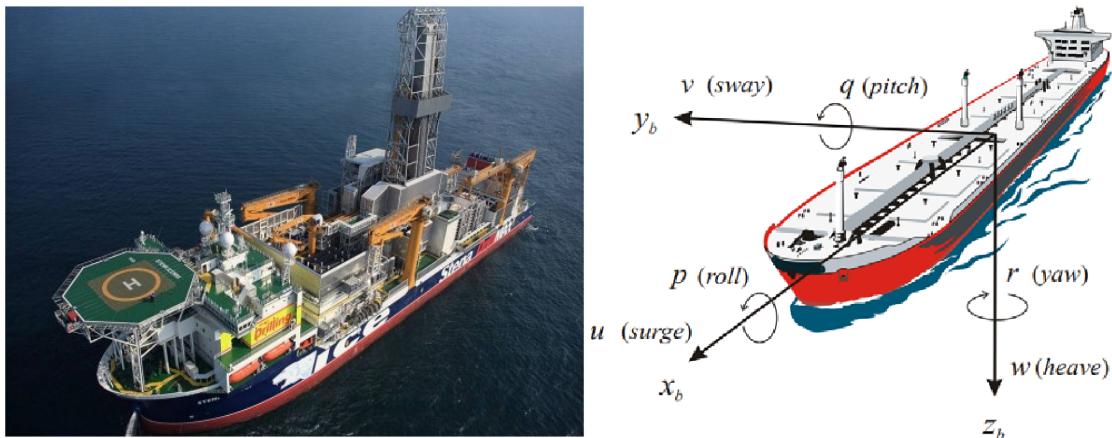
ΓΕΝΙΑ	ΒΑΘΟΣ ΝΕΡΟΥ (σε πόδια)	ΒΑΘΟΣ ΝΕΡΟΥ (σε μέτρα)	ΕΤΟΣ
1 <sup>η</sup>	περίπου 600 ft	200 m	δεκαετία 1960
2 <sup>η</sup>	περίπου 1000 ft	300 m	1969-1974
3 <sup>η</sup>	περίπου 1500 ft	500 m	αρχές δεκαετίας 1980
4 <sup>η</sup>	περίπου 3000 ft	1000 m	δεκαετία 1990
5 <sup>η</sup>	περίπου 7500 ft	2500 m	1998-2004
6 <sup>η</sup>	> 10000 ft	> 3000 m	2005-σήμερα

-Πίνακας 3: Πίνακας απεικόνισης κάθε γενιάς ημι-βυθιζόμενων πλατφορμών ανάλογα με το έτος κατασκευής και το βάθος του νερού. Πηγή: «Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Κοιτασματολογία Πετρελαίου. Δρ. Α. Γεωργακόπουλος. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.»

### ➤ ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΑ ΠΛΟΙΑ (Drill ships):

Τα γεωτρητικά πλοία είναι πλοία μονού κύτους, ειδικά κατασκευασμένα για την εκτέλεση γεωτρήσεων και οπτικά μοιάζουν με τα επιβατικά πλοία. Τα περισσότερα είναι απλά πλοία, που με ειδική επεξεργασία, μετατράπηκαν σε γεωτρητικά. Αυτά χρησιμοποιούνται, όπως και οι ημι-βυθιζόμενες πλατφόρμες, για γεωτρήσεις σε μεγάλα βάθη με έντονο κυματισμό των νερών. Τα γεωτρητικά πλοία αποτελούνται από το γεωτρύπανο και όλο τον απαιτούμενο εξοπλισμό του, που βρίσκεται στο κέντρο του καταστρώματός τους. Επίσης, από το κύτους τους με κατεύθυνση προς τη θάλασσα, περνά μία οπή (moon pool), η οποία επιτρέπει την κίνηση της διατρητικής στήλης του

γεωτρύπανου μέσα από το πλοίο. Τα γεωτρητικά πλοία, για την σωστή αγκυροβόλησή τους χρησιμοποιούν το σύστημα δυναμικής τοποθέτησης (dynamic positioning). Αναλυτικότερα, οι ηλεκτρικοί κινητήρες του γεωτρύπανου βρίσκονται κάτω από το κύτος του πλοίου, ωθούν το σκάφος προς όλες τις κατευθύνσεις και είναι συνδεδεμένοι με τους υπολογιστές που υπάρχουν στο πλοίο οι οποίοι εντοπίζουν την θέση ενδιαφέροντος μέσω δορυφόρων. Έτσι, η σύνδεση των κινητήρων με τους υπολογιστές και η αλληλεπίδρασή τους με τους διάφορους αισθητήρες του γεωτρύπανου, οδηγούν το πλοίο στη σωστή θέση της γεώτρησης. Η σταθερότητα του πλοίου εξασφαλίζεται με τη χρήση ενός έρματος (ballast) που έχει την ιδιότητα να γεμίζει με νερό και να αδειάζει ειδικά σχεδιασμένες δεξαμενές που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του νερού και δεν επηρεάζονται από τις επικρατούσες συνθήκες της επιφάνειας.



-Εικόνα 6.7: Απεικόνιση ενός γεωτρητικού πλοίου (αριστερά) και η λειτουργία του συστήματος δυναμικής τοποθέτησης στην ώθηση του πλοίου προς όλες τις κατευθύνσεις. Πηγή: «businesskorea.co.kr (αριστερά) και sematicsscholar.org (δεξιά)».

## 6.5 ΜΙΚΡΟΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την εύρεση κοιτασμάτων πετρελαίου είναι ποικίλες και συνδυάζονται πολλοί κλάδοι της επιστήμης της Γεωλογίας ώστε να καταλήξουμε τελικά στην πλήρη κατανόηση της ύπαρξης ενός κοιτάσματος πετρελαίου. Οι κλάδοι που συνυπάρχουν είναι : ο κλάδος την Μικροπαλαιοντολογίας, ο κλάδος της Γεωφυσικής και συγκεκριμένα της Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, ο κλάδος της Ωκεανογραφίας, ο κλάδος της Στρωματογραφίας και συγκεκριμένα της Βίοστρωματογραφίας, ο κλάδος της Τεκτονικής Γεωλογίας, ο κλάδος της Τεχνικής και Μηχανικής Γεωλογίας και ο κλάδος της Ιζηματολογίας και της Πετρολογίας Ιζηματογενών Πετρωμάτων. Για την έρευνα πετρελαίου, εκτός από τη μελέτη επιφανειακών δειγμάτων, δείγματα υπεδαφικών σχηματισμών συλλέγονται από ερευνητικές γεωτρήσεις, τα οποία μπορεί να είναι των ακόλουθων τριών τύπων:

1. Δείγμα κοπής
2. Συμβατικός πυρήνας (CC)
3. Πυρήνας πλευρικού τοιχώματος (WC)

Τα δείγματα πετρωμάτων είναι είτε κομμάτια δείγματος είτε θρύμματα που βρίσκονται εντός του πυρήνα της δειγματοληπτικής γεώτρησης ή μικρός κυλινδρικός πυρήνας πλευρικού τοιχώματος. Στην περίπτωση του χονδρότερου υλικού, το σπάμε, χρησιμοποιώντας ένα σφυρί, σε μικρότερα κομμάτια από 0,5 έως 1 cm πριν την επεξεργασία. Εάν το πέτρωμα είναι πολύ σκληρό, το δείγμα υποβάλλεται σε επεξεργασία με αραιό οξικό οξύ για να γίνει εύθραυστο. Τα βήματα για την επεξεργασία των δειγμάτων και τη μελέτη των μικροαπολιθωμάτων εξετάζονται παρακάτω.



-Εικόνα 6.8: Απεικόνιση θραυσμάτων από πυρήνες δειγματοληπτικής γεώτρησης. Πηγή: «Πανεπιστημιακές σημειώσεις Κοιτασματολογία Πετρελαίου. Δρ. Α. Γεωργακόπουλος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.»

## ▪ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Τα δείγματα υποβάλλονται σε ορισμένες τεχνικές επεξεργασίας στο εργαστήριο για την ανάκτηση των μικροαπολιθωμάτων από αυτά. Οι τεχνικές επεξεργασίας είναι διαφορετικές για τα ενοποιημένα και μη ενοποιημένα δείγματα και αναπτύσσονται παρακάτω:

### ➤ Μη ενοποιημένα ιζήματα:

Τα μη-ενοποιημένα ιζήματα βράζονται σε καυστική σόδα για περίπου μισή ώρα. Το υλικό στη συνέχεια πλένεται σε τρεχούμενο νερό πάνω από κόσκινο μεγέθους 300-mesh έτσι ώστε τα σωματίδια αργίλου να απομακρύνονται από το δείγμα. Το δείγμα ακολούθως ξηραίνεται σε κλίβανο σε θερμοκρασία περίπου 1000 ° C. Αυτά τα αποξηραμένα κλάσματα τοποθετούνται τώρα σε πλαστικούς σωλήνες στους οποίους γράφεται η σωστή επισήμανση όπως το όνομα του πηγαδιού, το διάστημα βάθους, το βάρος του αρχικού δείγματος κλπ. Το δείγμα είναι τώρα διαθέσιμο για να ταξινομηθεί στις διάφορες κατηγορίες μικροαπολιθωμάτων.

### ➤ Ενοποιημένα ιζήματα:

Για την αποσύνθεση των ενοποιημένων ιζημάτων το δείγμα πρώτα κοκκοποιείται σε μέγεθος από 0,5 έως 1,0 cm με τη βοήθεια ενός σφυριού. Η επεξεργασία του δείγματος γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο:

-Για ένα δείγμα 20gr., χρησιμοποιούνται περίπου 20ml υπεροξειδίου του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ) και ίσες ποσότητες διαλύματος αμμωνίας ( $NH_3$ ) που χρησιμοποιείτε ως λύση για να υγροποιηθεί. Βυθίζεται για περίπου μία ώρα και κάποιες φορές όλη τη νύχτα, ανάλογα με το δείγμα. Μερικές φορές, εάν τα ιζήματα είναι πολύ σκληρά, το υλικό πρέπει πρώτα να βράσει για περίπου μισή ώρα και μετά να βυθιστεί στο προαναφερθέν διάλυμα. Το υλικό στη συνέχεια ξεπλένεται με νερό.

- Το υλικό που κατεργάζεται παραπάνω τοποθετείται σε διάλυμα QUAT-O (ένα ήπιο όξινο αντιδραστήριο). Κανονικά, 10 gr. πρωτογενούς QUAT-O αραιώνονται με 2,5 λίτρα νερού και 50 ml αυτού του διαλύματος χρησιμοποιείται για την επεξεργασία του υλικού. Το υλικό εμποτίζεται όλη τη νύχτα στο δείγμα QUAT-O.

- Το διάλυμα QUAT-O αποστραγγίζεται και το δείγμα ξεπλένεται με νερό. Το δείγμα στη συνέχεια βράζεται με περίπου 20 γραμμάρια καυστικής σόδας για περίπου μισή ώρα.

-Το διάλυμα καυστικής σόδας αποστραγγίζεται και το υλικό ξεπλένεται με νερό

-Το υλικό τοποθετείται σε ένα ποτήρι και είναι περίπου μισό γεμάτο με νερό. Το υλικό υποβάλλεται τώρα σε υπερηχητική επεξεργασία τοποθετώντας το ποτήρι σε υπερηχητική μηχανή για περίπου 30 sec.

-Μετά την επεξεργασία με υπερήχους, το υλικό πλένεται με κόσκινο 300mesh

-Εάν παρατηρηθεί ότι το υλικό έχει αποσυντεθεί καλά και κάποια μήτρα πηγής εξακολουθεί να προσκολλάται σε απολιθώματα, τα παραπάνω απεικονιζόμενα βήματα επαναλαμβάνονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις.

-Αφού βεβαιωθείτε ότι το υλικό είναι τώρα καθαρό από το υλικό της μήτρας, ξηραίνεται σε κλίβανο στους 1000 ° C περίπου.

-Το δείγμα διαιρείται τώρα σε διαφορετικά κλάσματα με κοσκίνισμα με κόσκινα διαφορετικού μεγέθους δηλαδή 100-60,60-40,40 πλέγματα. Το υλικό είναι έτοιμο για ταξινόμηση.

### ▪ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ:

Το επεξεργασμένο δείγμα έχει διαφορετικές τάξεις μεγέθους σωματιδίων πετρώματος και απολιθωμάτων, τα οποία χωρίζονται σε διαφορετικά κλάσματα με κοσκίνισμα. Αυτό το επεξεργασμένο δείγμα τώρα μεταφέρεται σε ένα τριγωνικό δίσκο χαλκού και τα σωματίδια απλώνονται σαν ένα λεπτό στρώμα σε ένα δίσκο ταξινόμησης. Ο δίσκος διαλογής, ο οποίος είναι ένας επίπεδος μεταλλικός δίσκος με πλέγμα πάνω στον οποίο το αποσπασμένο πέτρωμα, απλωμένο ως λεπτή επίστρωση, χωρίζεται σε πολλά τετράγωνα τμήματα. Ο δίσκος διαλογής μετακινείται κάτω από ένα διόφθαλμο μικροσκόπιο αριστερά προς τα δεξιά, από πλέγμα σε πλέγμα. Τα απολιθώματα στο δίσκο συλλέγονται με βρεγμένη βούρτσα μαλλιών και φυλάσσονται σε



αντικειμενοφόρες συστοιχίες εικοσιτεσσέρων θαλάμων. Περιστασιακά, αν τα απολιθώματα είναι μεγάλα, αυτά λαμβάνονται με λαβίδες ή με το χέρι και φυλάσσονται σε είκοσι τέσσερις διαφάνειες θαλάμου. Εάν το δείγμα είναι κακώς απολιθωμένο, τα δείγματα της δειγματοληψίας είναι επίσης διατεταγμένα σε ολίσθηση στρογγυλής διάτρησης.

#### ▪ **ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΛΕΠΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ**

Η λεπτή τομή γίνεται για να μελετηθεί το περιεχόμενο του πετρώματος. Για τις παλαιοντολογικές μελέτες, κατασκευάζονται λεπτά τμήματα πάχους περίπου 0,05 mm. Εντούτοις, κατά την άλεση, το τμήμα ελέγχεται συχνά βλέποντάς το κάτω από το μικροσκόπιο μέχρις ότου ληφθεί ένα σαφές τμήμα που απεικονίζει ξεχωριστά χαρακτηριστικά του δείγματος.

##### ➤ **Προσανατολισμένα λεπτά τμήματα**

Για τη μελέτη των μεγαλύτερων απολιθωμάτων, συγκεκριμένα των τρηματοφόρων, καθώς τα εξωτερικά μορφολογικά χαρακτηριστικά δεν επαρκούν για να αναγνωρισθούν σε επίπεδο είδους, είναι συγκριτικό να μελετήσουμε τα εσωτερικά μορφολογικά χαρακτηριστικά τους. Τα λεπτά τμήματα των βενθονικών τρηματοφόρων, κατασκευάζονται συνήθως σε δύο επίπεδα. Το ένα, γνωστό ως ισημερινό τμήμα, βρίσκεται στο επίπεδο της περιέλιξης και στον ίδιο τον ισημερινό της σπείρας. Το άλλο, κάθετο προς το ισημερινό τμήμα και περνώντας από το «proloculus», γνωστό ως το αξονικό τμήμα. Η τομή γίνεται με αργή άλεση της μορφής σε σκόνη ανθρακοπυριτίου βαθμού FF σε γυάλινη πλάκα με λίγο νερό. Οι μικρότερες μορφές (1 έως 5 mm) σταθεροποιούνται πρώτα με τον επιθυμητό προσανατολισμό σε γυάλινη πλάκα και κατόπιν γειώνονται σε αργή κίνηση. Στη συνέχεια, η φόρμα είναι τοποθετημένη αντίστροφα και αλέθεται σε περίπου 0,05 χιλιοστά.

##### ➤ **Προσανατολισμένες διαχωρίσεις:**

Ορισμένα μεγαλύτερα τρηματοφόρα που έχουν άδειους θαλάμους ή είναι γεμάτα με πηλό, μπορούν να επιτευχθούν καλές ισημερινές διαχωρίσεις, μπορούν να παρατηρηθούν αρχικά θερμαίνοντας το δείγμα με φωτιά κρατώντας το με λαβίδα και στη συνέχεια βυθίζοντας τα σε υγρό. Μερικές φορές, εάν η φόρμα δεν σπάσει στα μισά από μόνη της, πρέπει να εφαρμοστεί μικρή πίεση κατά μήκος του επιπέδου της ισημερινής διατομής με μια λαβίδα.

##### ➤ **Ταυτοποίηση και εισαγωγή δεδομένων:**

Τα μικροσκοπικά παρατηρούμενα χαρακτηριστικά των μικροαπολιθωμάτων θεωρούνται ότι διαχωρίζουν το συγκρότημα σε ευρείες ομάδες, όπως τρηματοφόρα και οστρακοειδή. Για κάθε τύπο ομάδας επιλέγονται δείγματα και η μορφολογία τους συγκρίνεται με γενική ή συγκεκριμένη περιγραφή και απεικόνιση που δίδεται σε διάφορες τυποποιημένες θεματικές ενότητες και καταλόγους. Επομένως, η ταυτοποίηση μέχρι το γενικό και το συγκεκριμένο επίπεδο γίνεται και η συχνότητα καθορίζεται για όλα τα εντοπισμένα απολιθώματα. Τα δεδομένα της συχνότητας της πανίδας έναντι του βάθους καταγράφονται σε ένα διάγραμμα συχνότητων.





-Εικόνα 6.9: Απεικόνιση στερεομικροσκοπίου και παρατήρηση θρυμμάτων από γεωλόγο. Πηγή:  
«Πανεπιστημιακές σημειώσεις Κοιτασματολογία Πετρελαίου. Δρ. Α. Γεωργακόπουλος,  
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης».

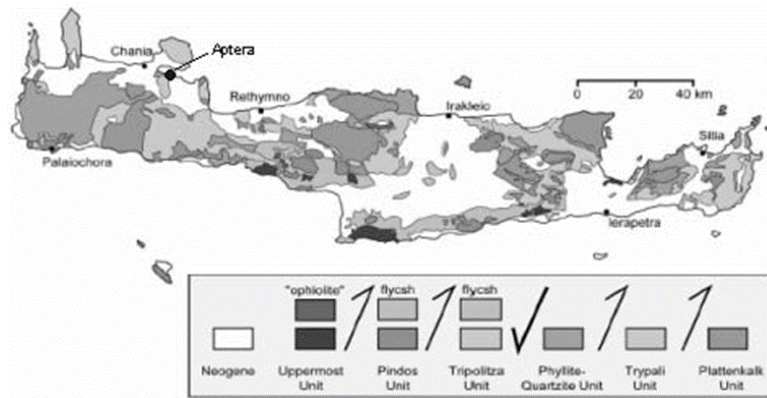
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

## ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

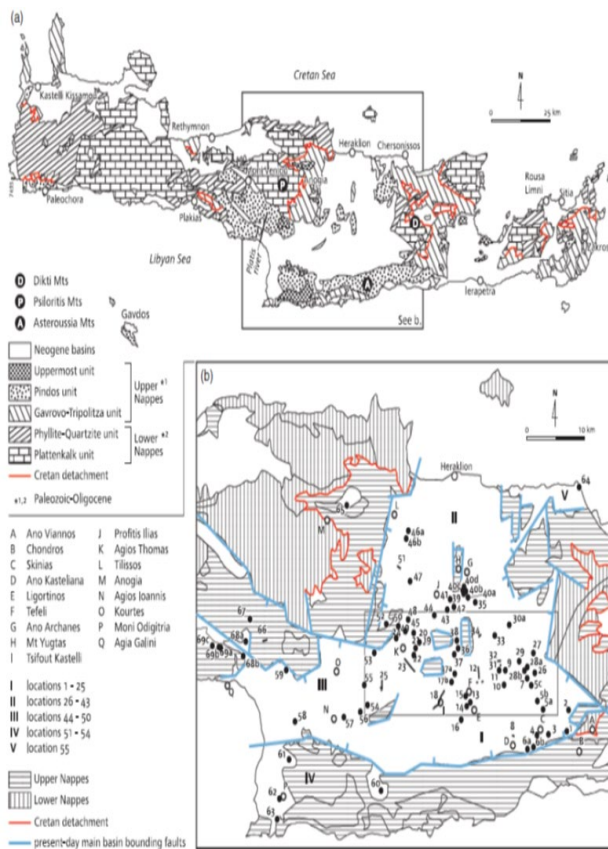
### 7.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΡΗΤΗΣ- ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Είναι ευρέως γνωστό ότι Κρήτη αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα νησιά και πολυπληθέστερα της Ελλάδας ενώ αποτελεί το πέμπτο μεγαλύτερο σε έκταση της Μεσογείου, μετά από της νήσους της Σαρδηνίας, της Κορσικής, της Κύπρου και της Σικελίας. Γεωλογικά μιλώντας, η Κρήτη εντοπίζεται στο εμπρόσθιο τμήμα του τόξου της Ελληνικής ζώνης υποβύθισης, και αποτελεί μια χερσαία περιοχή με διεύθυνση Α-Δόμε το Κρητικό πέλαγος να περικλείει και να βρέχει τις βόρειες ακτές της νήσου ενώ από την άλλη το Λιβυκό πέλαγος να βρέχει τις νότιες. Ανήκει στην γεωλογική ενότητα των Ελληνίδων και είναι αποτέλεσμα τεκτονικών μετακινήσεων την περίοδο οπότε είχαμε ταυτόχρονη αλπική ορογένεση και σχηματισμό της Μεσογείου πριν από περίπου 40 με 20Ma., δηλαδή, κατά την περίοδο του τεταρτογενούς. Η νήσος Κρήτη χαρακτηρίζεται από μια περίπλοκη γεωλογική δομή, εξαιτίας των τεκτονομεταμορφικών διαδικασιών του αλπικού ορογενετικού κύκλου και με ένα αλπικό υπόβαθρο αποτελούμενο από τις εξής ενότητες: ενότητα Κρήτης – Μάνης (Plattenkalk), ενότητα Δυτικής Κρήτης – Τρυπαλίου (εμφανίζεται μόνο στη Δυτική Κρήτη), ενότητα Φυλλιτών-Χαλαζιτών, ενότητα Τρίπολης και την ενότητα της Πίνδου. Στις κύριες αυτές ενότητες, παρεμβάλλονται, μέσω τεκτονικών και ιζηματολογικών διεργασιών και άλλες δευτερεύουσες ενότητες, τοπικού κυρίως χαρακτήρα, και πάνω στις κύριες αυτές ενότητες επωθούνται διάφορα ιζήματα, γνωστά και ως καλύμματα.

Οι παραπάνω ενότητες-καλύμματα έχουν μια ιδιαίτερη σχέση μεταξύ τους που αποδίδεται στην σύγκρουση της Απούλιας πλάκας με το Ευρωπαϊκό περιθώριο. Οι ενότητες-καλύμματα, αποτελούνται από λιθοστρωματογραφικές ομάδες πετρωμάτων, τα οποία διαφοροποιούνται και ως προς την σύστασή τους αλλά και ως προς τον βαθμό μεταμορφώσεως τους. Κατά τη διάρκεια σύγκρουσης, οι κατώτερες τεκτονικές ενότητες ενταφιάστηκαν σε ένα βάθος μεγαλύτερο από 30km, πράγμα που προκάλεσε την εκταφή HP/LT μεταμορφωμένων πετρωμάτων, τα οποία μεταμορφώθηκαν στα 20Ma., στα τέλη του Ολιγοκαίνου έως τις αρχές Μειοκαίνου (*Seidel κ.ά., 1982, Jolivet κ.ά., 1996*). Αντιθέτως, οι υψηλότερες τεκτονικές ενότητες δεν επηρεάστηκαν από τον μετασχηματισμό HPτης Τριτογενούς περιόδου. Οι προαναφερθείσες ενότητες που συναντάμε στην Κρήτη ξεκίνησαν να συσσωρεύονται μέσω επωθήσεων κατά την περίοδο του Ολιγοκαίνου (*Creutzberg and Seidel, 1975; Bonneau, 1984; Hall et al., 1984*).



-Εικόνα 7.1: Γεωλογικός Χάρτης της Κρήτης. Πηγή: « researchgate.net»



-Εικόνα 7.2 : (α) Γεωλογικός χάρτης της Κρήτης, τροποποιημένος από τον Μπορνόβα & Ροντογιάννη-Τσιάμπου (1983). Τα χαμηλότερα καλύμματα (Lower Nappe) αποτελούνται από δύο μονάδες που παρουσιάζουν το HP-LT μεταμόρφωση: τη μονάδα "Plattenkalk" (κάτω) και τη μονάδα «Φυλλιτών-Χαλαζιτών» (παραπάνω). Το ανώτερο κάλυμμα (Under Nappe) δεν παρουσιάζει HP-LT μεταμόρφωση και έχει κατασκευαστεί από τη βάση προς τα πάνω από την ενότητα «Γαβρόβου-Τρίπολης», την ενότητα της «Πίνδου» και τις "Ενδιάμεσες Ενότητες". Οι ενότητες των χαμηλότερων καλυμμάτων και των υψηλότερων διαχωρίζονται από την Κρητική **απόσπαση**. β) Θέση των τμημάτων και προεξοχές στην κεντρική Κρήτη. Πηγή: «Εργασία με τίτλο «Formation and fragmentation of a late Miocene supradetachment basin in central Crete: implications for exhumation mechanisms of high-pressure rocks in the Aegean forearc», (Willem Jan Zachariasse ,nDouweJ.J. van Hinsbergenw ,zand Anne Rutger Fortuin).»

• **ΑΛΠΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΚΡΗΤΗΣ**

Η γεωλογία της Κρήτης όπως προαναφέρθηκε δομείται από ενότητες διαφορετικών λιθολογιών και ηλικιών, οι οποίες και παρατίθενται παρακάτω ως εξής :

**1. ΕΝΟΤΗΤΑ "PLATTENKALK" – ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΡΗΤΗΣ-ΜΑΝΗΣ**

Την κατώτερη ενότητα της Κρήτης αποτελεί η ενότητα με την ονομασία "Plattenkalk", γνωστή και ως ενότητα Κρήτης-Μάνης. Αποτελείται κυρίως από ημιμεταμορφωμένους

και μεταμορφωμένους πλακώδεις ασβεστολίθους (μάρμαρα) διαφόρων ηλικιών και σχηματίζεται μια ηλικιακή ακολουθία. Η ενότητα Κρήτης-Μάνης χρονολογείται από το Ανώτερο Λιθανθρακοφόρο (300 Ma.) έως το Ανώτερο Κρητιδικό (66Ma.). Αποτελείται από τα εξής στρώματα:

- **Στρώματα Φόδελε** (Αν. Λιθανθρακοφόρο – Αν. Πέρμιο)

Αποτελούνται στη βάση τους από ένα φυλλιτικό σύστημα (Στρώματα Γαληνού) με απολιθώματα του Κατώτερου Περμίου και ακολουθούν μαύροι και ανοιχτόχρωμοι βιτουμενιούχοι δολομίτες με κοράλλια (*Productus*) που είναι χαρακτηριστικά ρηχής ανθρακικής πλατφόρμας.

- **Στρώματα Σισσών** (Κατ. – Αν. Τριαδικό)

Αποτελούνται από δολομιτικά και σερικιτικά μάρμαρα με ασβεστιτικούς και πυριτικούς φυλλίτες και από ανθρακικά πετρώματα με ωσειδή και ωλίθους. Στο εσωτερικό τους εντοπίζονται κωνόδοτα ηλικίας Κάτω Τριαδικού (Σκύθιο).

- **Στρωματολιθικός Δολομίτης** (Αν. Τριαδικό - Λιάσιο)

Αποτελείται από στρωματολιθικούς δολομίτες όπου στη βάση τους εντοπίζεται ένας λατεριτικός βωξιτικός ορίζοντας και κροκαλολατυποπαγή. Εντοπίζονται τρηματοφόρα ηλικίας Νορίου.

- **Στρώματα Γκίγκίλου** (Λιάσιο (;))

Αποτελούνται από εναλλαγές σχιστολίθων με ανθρακικά πετρώματα.

- **Στρώματα Πλακωδών Ασβεστολίθων** (Λιάσιο (;) – Αν. Ηώκαινο (;))

Χαρακτηριστικό των στρωμάτων αυτών είναι η παρουσία κερατολιθικών ενστρώσεων και πυριτικλών βολβών και κονδύλων. Η ηλικία των στρωμάτων αυτών προσδιορίστηκε στο Κενομάνιο από την ύπαρξη φυκών και οστρακωειδών και στο Ανώτερο Κρητιδικό από την ύπαρξη ρουδιστών.

- **Στρώματα Καλάβρου**(Αν. Ηώκαινο (;) – Κατ. Ολιγόκαινο(;))

Αποτελούνται από μεταφλύσχης με πρασινωπούς και βυσσινόχρωμους φυλλίτες.

Η ενότητα "Plattenkalk" παρουσιάζει μεταμορφισμόHP/LT, όπως υποδεικνύεται από το μαγνησιούχου καρφολίτη σε μεταβωξίτες (*Seidel 1978 · Seideletal., 1982 · Thee&Seidel 2001*) και λουζονίτη σε δολομιτικά μάρμαρα (1988).

## **2. ΕΝΟΤΗΤΑ «ΔΥΤΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ-ΤΡΥΠΑΛΙΟΥ»**

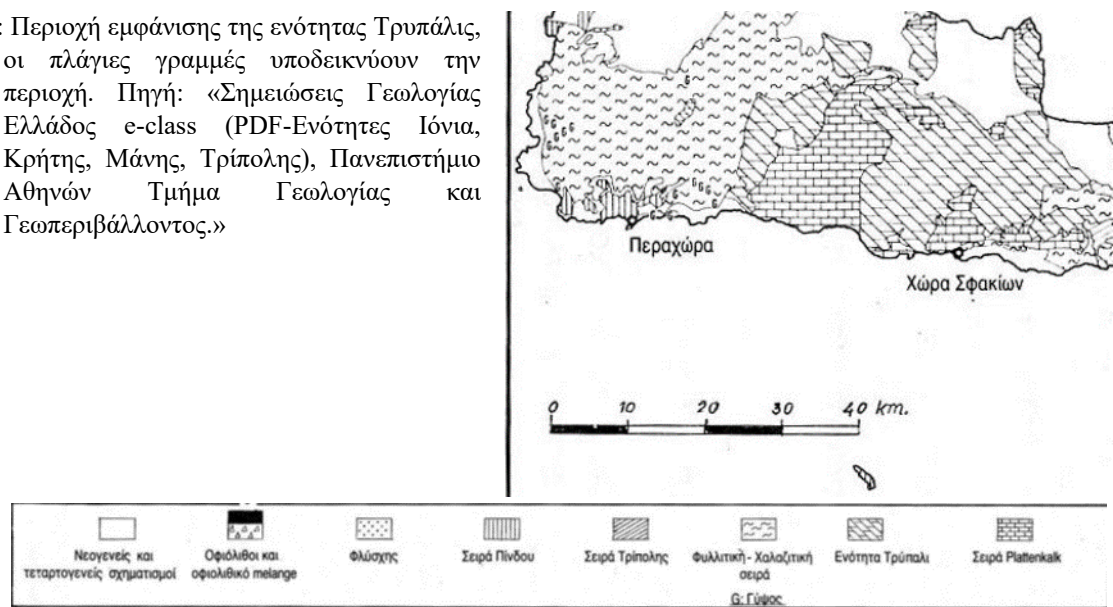
Στην συνέχεια ακολουθεί μια άλλη ενότητα γνωστή και ως ενότητα «Δυτικής Κρήτης-Τρυπαλίου», όπου υπέρκειται της ενότητας της Κρήτης-Μάνης, αποτελούμενη από κρυσταλλικούς ασβεστολίθους και μάρμαρα νηριτικής φάσης (*Creutzburg and Seidel, 1975, Kopp and Ott, 1977*) με τα απολιθώματα να μαρτυρούν μια ηλικία Ανώτερο Τριαδικό – Λιάσιο. Εντοπίζεται μία ομοιότητα με τους ασβεστολίθους του Παντοκράτορα της Ιόνιας Ενότητας. Υπήρξαν πολλές απόψεις σχετικά με την ενότητα Τρυπαλίου, για κάποιους επιστήμονες ήταν μια τεκτονικά ξεχωριστή ενότητα ενώ για άλλους αποτελούσε ένα είδος εφίππευσης ενός κομματιού που ανήκει στην ενότητα της

Κρήτης-Μάνης πάνω στην ίδια ενότητα (*Karakitsios 1979 and Bonneau 1984*). Μερικά χρόνια αργότερα διακρίθηκε μια νέα ενότητα, η ενότητα Δυτικής Κρήτης (*Παπανικολάου 1988,2015*) και διακρίνεται:

- Στη βάση της, από έναν σχηματισμό με χαλαζίτες, μεταπηλίτες και μερικά ανθρακικά πετρώματα που ανήκουν στην ενότητα Φυλλιτών – Χαλαζιτών και χρονολογούνται κατά το Ανώτερο Λιθανθρακοφόρο – Μέσο Τριαδικό.
- Στην οροφή της, από έναν σχηματισμό με εβαπορίτες και ανθρακικά πετρώματα, ηλικίας Άνω Τριαδικού – Λιασίου και ανήκουν στην ενότητα Τρυπαλίου.

Η ενότητα Τρυπαλίου αποτελείται κυρίως από ανθρακικά πετρώματα αβαθούς θάλασσας, ανακρυσταλλωμένα λατυποπαγή, γραουβάκες και σκούρους κυψελώδεις δολομίτες. Έρευνες που πραγματοποίησαν οι Krahl & Kauffmann το 2004, συμπεριέλαβαν στην ενότητα μάρμαρα με πυριτιολίθους, μεταπυριτικά ιζήματα με αμμωνίτες ηλικίας Τοαρσίου (Κατ. Ιουρασικό) και πελαγικά μάρμαρα με πελαγικά τρηματοφορά που χρονολογούνται έως το Άπτιο. Η λατυποποίηση της ενότητας πραγματοποιήθηκε σε συν έως μετα-ορογενετικό στάδιο.

-Εικόνα 7.3: Περιοχή εμφάνισης της ενότητας Τρυπαλίου, οι πλάγιες γραμμές υποδεικνύουν την περιοχή. Πηγή: «Σημειώσεις Γεωλογίας Ελλάδος e-class (PDF-Ενότητες Ιόνια, Κρήτης, Μάνης, Τρίπολης), Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος.»



### 3. ΕΝΟΤΗΤΑ «ΦΥΛΛΙΤΩΝ-ΧΑΛΑΖΙΤΩΝ»

Στις περισσότερες περιοχές της Κρήτης, η ενότητα Κρήτης-Μάνης καλύπτεται από πετρώματα της ενότητας των «Φυλλιτών-Χαλαζιτών». Τα πετρώματα της ενότητας αυτής είναι πετρώματα, όπως αυτά της ενότητας Κρήτης-Μάνης, δηλαδή, μεταμορφώθηκαν σε μεγάλο βάθος και με μεγάλη πίεση στο εσωτερικό της Γης. Η μεταμόρφωση της ενότητας πραγματοποιήθηκε σε συνθήκες HP/LT. Χαρακτηριστικό της ενότητας αυτής στην περιοχή της Κρήτης είναι η διαφορά του βαθμού μεταμόρφωσης μεταξύ ανατολικής (8 kb 300°C), κεντρικής (9 kb 450 °C) και δυτικής (10 kb) Κρήτης. Η ηλικία μεταμόρφωσης χρονολογείται στα 24 με 19 Ma., δηλαδή στο Κατώτερο Μειόκαινο, μέσω ραδιοχρονολογήσεων με K/Ar σε μοσχοβίτες. Τα πετρώματα αυτά είναι κυανοσχιστολιθικής σύστασης τα οποία παρεμβάλλονται

ανάμεσα στις ενότητες της Κρήτης-Μάνης και της Τρίπολης (*Σκαρπέλης, 1982 Papanikolaou, 1984, Papanikolaou and Skarpelis, 1987*).

Μέσα σε αυτήν την ενότητα συγκαταλέγονται όλα τα μεταμορφωμένα πετρώματα που βρίσκονται ενδιάμεσα στις υποκείμενες ενότητες της Κρήτης-Μάνης και του Τρυπαλίου με τις ενότητες που είναι υπερκείμενες αυτών (Τρίπολης, Πίνδου κ.α.) .Επιπλέον συμπεριλαμβάνει μια χαμηλού βαθμού αργιλο-σχιστολιθική σειρά με ελάχιστα ηφαιστειακά πετρώματα που ονομάζονται Ραβδούχα Στρώματα και συγκρίνονται με τα Στρώματα Τυρού που βρίσκονται στη βάση της ενότητας της Τρίπολης στην Πελοπόννησο. Βάσει ερευνών που έχουν διεξαχθεί, έδωσαν ένα πλήθος απολιθωμάτων (κωνόδοινα, οστρακόδη και τρηματοφόρα) που μαρτυρά μια ηλικία της ενότητας αυτής από το Ανώτερο Λιθανθρακοφόρο έως το Ανώτερο Τριαδικό, αποδεικνύοντας ότι τουλάχιστον στην περιοχή της Δυτικής Κρήτης μεγάλα τεμάχια της ενότητας έχουν υποστεί αναστροφή. Τα απολιθώματα που έχουν βρεθεί, μαρτυρούν το γεγονός ότι στο διάστημα Αν. Λιθανθρακοφόρο μέχρι τέλος του Κατ. Τριαδικού λάμβανε χώρα πελαγική ιζηματογένεση, ενώ στο Άνω Τριαδικό απαντούν κυρίως νηρητικές φάσεις, αλλά και υφάλμυρες στο όριο Αν. Τριαδικού-Λιασίου.

Αναλυτικότερα, η στρωματογραφική στήλη της ενότητας αυτής αποτελείται:

- Στη βάση της, από φυλλίτες, χαλαζίτες, μετακροκαλοπαγή και σιπολίνες ηλικίας Αν. Λιθανθρακοφόρο-Μέσο Τριαδικό
- Στην οροφή της, από στρωματώδεις δολομίτες, γύψους με ενδιαστρώσεις γραουβακών και δολομιτών και άστρωτοι δολομίτες, ηλικίας Μέσου Τριαδικού-Λιασίου.

#### **4. ΕΝΟΤΗΤΑ «ΓΑΒΡΟΒΟΥ-ΤΡΙΠΟΛΗΣ»**

Συνεχίζοντας με την ανάλυση των ενοτήτων, η ενότητα που συναντάμε και υπέρκειται των «Φυλλιτών-Χαλαζιτών» σε όλη σχεδόν την Κρήτη είναι επίσης ανθρακικής σύνθεσης, με κύριο πέτρωμα ασβεστόλιθο και δολομίτη με την ονομασία ενότητα Γαβρόβου-Τρίπολης. Τα γηραιότερα ηλικίας πετρώματα της είναι οι σχιστολιθικοί και μαύροι δολομίτες μιας ηλικίας περίπου 250 εκατομμυρίων ετών, στους οποίους βρέθηκαν απολιθώματα αμμωνίτη στην περιοχή του Πλακιά, ενώ νεότερο σχηματισμό αποτελεί ο φλύσχης όπου βρίσκουμε σε πολλές από τις οροσειρές του νησιού, όπως τα Αστερούσια s.s.

#### **5. ΕΝΟΤΗΤΑ «ΠΙΝΔΟΥ»**

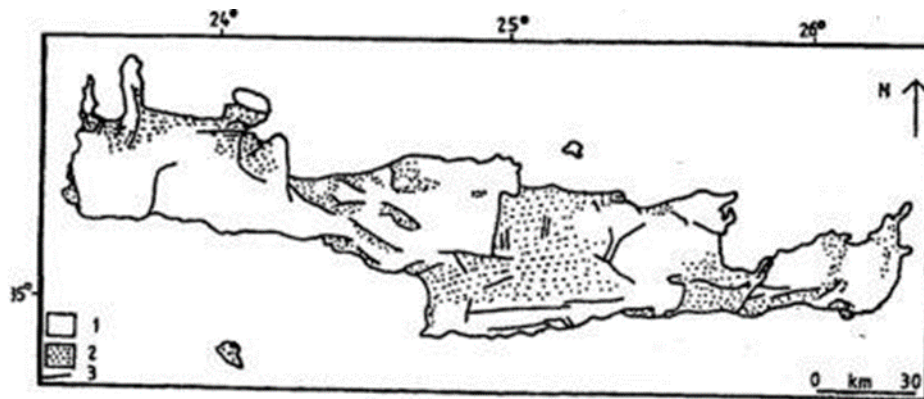
Η ενότητα της Πίνδου στην περιοχή της Κρήτης, εμφανίζεται στην περιοχή της Εθιάς και στην περιοχή του Μαγκασά, για αυτό ονομάζεται αλλιώς και ενότητα Εθιάς ή Πίνδου-Εθιάς. Η ενότητα Εθιάς, καθώς και όλες οι μεταβατικές ενότητες που ανήκουν σε αυτήν, αντιστοιχούν στο εξωτερικό τμήμα της λεκάνης της Πίνδου όπου μεταβαίνει στην ενότητα της Τρίπολης και για αυτό το λόγο, παρατηρείται καθυστέρηση στην έναρξη της απόθεσης του φλύσχη. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν περιοχές όπου η κλαστική ιζηματογένεση άρχισε στο Ανώτερο Μαιστρίχτιο και



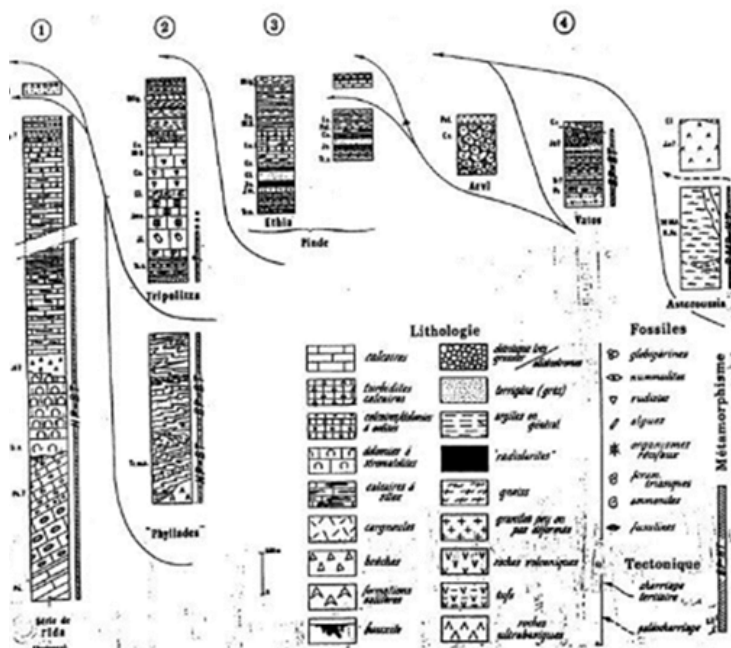
περιοχές όπου η κλαστική ιζηματογένεση δεν ξεκίνησε, συνεχίστηκε η ανθρακική ιζηματογένεση και η φλυσχογένεση ξεκίνησε καθυστερημένα.

## 6. ΑΝΩΤΕΡΑ ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΚΑΛΥΜΜΑΤΑ

Στα ανώτερα τεκτονικά καλύμματα (Upper most Unit) περιλαμβάνονται οι “Ενδιάμεσες Ενότητες” (Βατός, Μιάμου και Άρβη), στην συνέχεια το κάλυμμα Αστερουσίων s.s και τέλος στην κορυφή το σύμπλεγμα των Οφιολίθων. Οι Οφιόλιθοι ,σχηματίστηκαν την περίοδο όπου υπήρχε ο ωκεανός της Τηθύς, από εκρήξεις ηφαιστειών στα βάθη του περίπου 140 εκατομμύρια χρόνια πριν. Η περιοχή του Ψηλορείτη είναι μοναδική σε όλο το νησί όπου και φιλοξενεί τους οφιόλιθους.



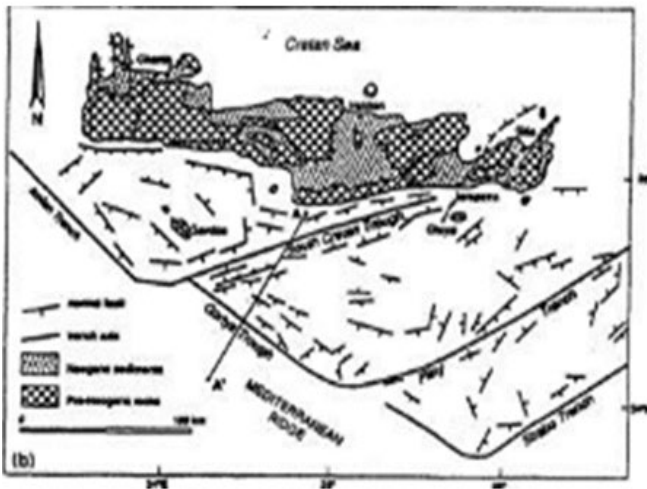
-Εικόνα 7.4: Σχηματικός χάρτης της Κρήτης που απεικονίζει την κατανομή των Αλπικών πετρωμάτων το υποβάθρου (1) και των ιζηματογενών λεκανών του Αν. Καινοζωικού (2) (MEULENKAMP et al., 1979). Πηγή: «Διδακτορική Διατριβή, «Ιζηματογένεση στον Ανώτερο Καινοζωικό της Δυτικής Κρήτης- Η λεκάνη των Αποστόλων (Ρέθυμνο)», Χαρίκλεια Ντρίνια (1996), Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος»



-Εικόνα 7.5: Στρωματογραφική και τεκτονική απεικόνιση των Αλπικών ενότητων της Κρήτης (BONNEAU, 1984). Πηγή: «Διδακτορική Διατριβή, «Ιζηματογένεση στον Ανώτερο Καινοζωικό της Δυτικής Κρήτης- Η λεκάνη των Αποστόλων (Ρέθυμνο)», Χαρίκλεια Ντρίνια (1996), Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος.»

## • ΤΟ ΝΕΟΓΕΝΕΣ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

Η νήσο της Κρήτης καλύπτεται κατά το 1/3 της (ενδεχομένως και παραπάνω) από Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα, με τις Νεογενείς αποθέσεις να καλύπτουν ασύμφωνα το Αλπικό υπόβαθρο. Οι καίριες εμφανίσεις των Νεογενών σχηματισμών εμφανίζονται κατά μήκος της Βόρειας πλευράς της Νήσου, στην περιοχή το Ηράκλειο καθώς και σε άλλα σημεία της νήσου όπως στην περιοχή της Σητείας (Ανατολική Κρήτη) και στην περιοχή ενδιάμεσως του Αγίου Νικολάου και της Ιεράπετρας. Οι παρατηρήσεις (Χ. Ντρίνια 1996) σχετικά με την ιζηματογένεση το Νεογενούς επιβεβαιώνουν τις παλαιογεωγραφικές μεταβολές που έχουν προκύψει σχετικά με την διαμόρφωση της νήσου. Οι μεταβολές αυτές συνδέονται άρρηκτα με τεκτονικές δράσεις και πιο ειδικά η ιζηματογένεση σε συνδυασμό με αυτήν την τεκτονική δράση «γέννησε» μια μεγάλης ποικιλίας ιζήματα καθώς και τις γρήγορες πλευρικές καικατακόρυφες λιθολογικές μεταβολές.



-Εικόνα 7.6: Χάρτης του Νότιου Ελληνικού τόξου ο οποίος απεικονίζει την γενική κατανομή των Αλπικών και των Νεογενών σχηματισμών της Κρήτης (ANGELIER et al., 1982, MASCLE et al., 1982, FORTUIN and PETERS, 1984). Πηγή: «Διδακτορική Διατριβή, «Ιζηματογένεση στον Ανώτερο Καινοζωικό της Δυτικής Κρήτης- Η λεκάνη των Αποστόλων (Ρέθυμνο)», Χαρίκλεια Ντρίνια (1996), Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος.»

Ουσιαστικά οι Νεογενείς αυτοί σχηματισμοί περιγράφονται από επικλισιγενείς ακολουθίες, πράγμα που εξηγείται είτε από μία μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης, συγκεκριμένα ανύψωσης, είτε ότι οι σχετιζόμενες περιοχές υπέστησαν βύθιση. Η σύνθεση των ιζημάτων άλλαξε κατά την περίοδο το Μεσσήνιο, οπότε και είχαμε ανθρακικά σε αντίθεση με τα προηγούμενα κλαστικά το Τορτονίου. Γενικά, περισσότερες από 60 λιθολογικές ενότητες έχουν εντοπιστεί και αναγνωριστεί τις τελευταίες 3 δεκαετίες, οι οποίες ταξινομούνται σε 6 ομάδες σχηματισμών. Αυτές είναι οι εξής :

**Ομάδα Πρίνα:** Αποτελεί την βάση της Νεογενούς ακολουθίας και απαρτίζεται από μαύρους λατυποπαγείς και λατυποκροκαλοπαγείς ασβεστολίθους οι οποίοι εμφανίζουν μια καλά λιθοποιημένη μάζα. Τα λατυποπαγή και λατυποκροκαλοπαγή με βάση μελέτες έχουν προέλθει από υφάλμυρα έως ρηχής θάλασσας περιβάλλοντα ενώ σε ορισμένες περιοχές έχουμε εμφάνιση πτυχοειδών δομών.

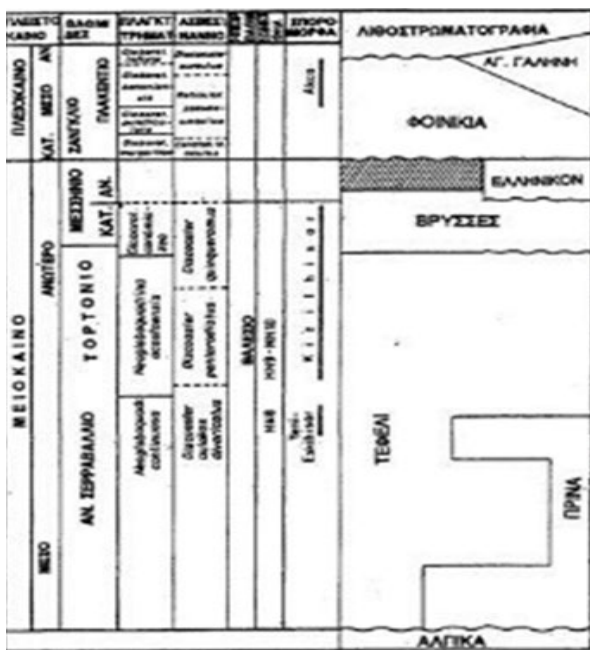
**Ομάδα Ελληνικού:** Πρόκειται για χερσαίας προέλευσης κροκαλοπαγή, κοκκινωπού χρώματος, ακολουθίες (λεπτοκκοκώδεις) καθώς και αποθέσεις ελάχιστου γύψου διότι ενδέχεται να έχουμε υφάλμυρων αποθέσεων.

**Ομάδα Τεφελίου:** Είναι χερσαίας κλαστικής σύστασης (άμμος, ιλύς) ομάδα, η οποία υπέρκειται της ομάδας Πρίνα και «μαρτυρά» περιβάλλον απόθεσης γλυκών και θαλάσσιων υδάτων.

**Ομάδα Βρύσες:** Υπέρκειται της ομάδας Τεφελίου, του αλπικού υποβάθρου συστήματος και σπανίως της ομάδας Πρίνα.

**Ομάδα Φοινικιά:** Σε αυτήν την ομάδα έχουμε την ενσωμάτωσή της ομάδας Ελληνικού ή Βρύσες καθώς και σχηματισμών από μάργες και ιλύς ανοιχτής θάλασσας.

**Ομάδα Αγ. Γαλήνης:** Αποτελεί την ψηλότερη ενότητα των Νεογενών στην Κρήτη και συνίσταται από αδρομερή κροκαλοπαγή και ψαμίτες οι οποίοι και υπέρκεινται ή αποτελούν το πλευρικό ανάλογο των ιζημάτων της ομάδας Φοινικιά.

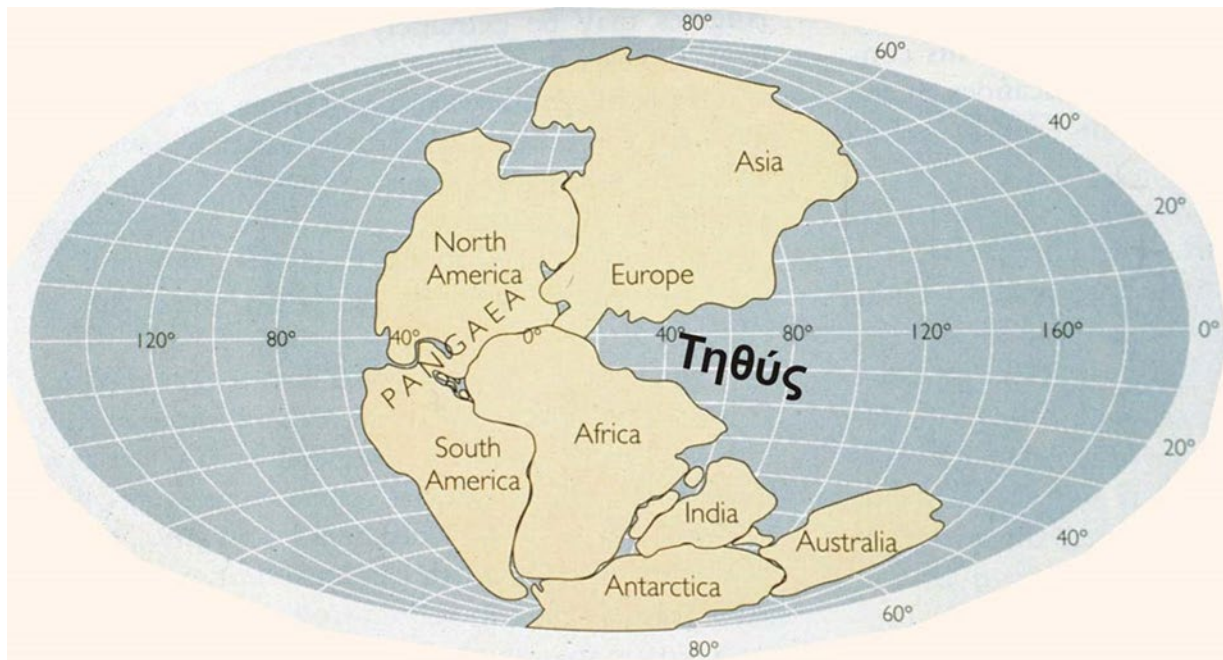


-Εικόνα 7.7: Χάρτης συσχετισμού ο οποίος απεικονίζει την ακριβή χρονοστρωματογραφική θέση των ομάδων σχηματισμών της Κρήτης (MEULENKAMP et al., 1979). Πηγή: «Διδακτορική Διατριβή, «Ιζηματογένεση στον Ανώτερο Καινοζωικό της Δυτικής Κρήτης- Η λεκάνη των Αποστόλων (Ρέθυμνο)», Χαρίκλεια Ντρίνια (1996), Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος.»

## 7.2 ΩΚΕΑΝΟΣ ΤΗΣ ΤΗΘΥΣ

Η Τηθύς αποτελούσε έναν παλαιό-ωκεανό ο οποίος και δημιουργήθηκε κατά την περίοδο του Ανώτερου Παλαιοζωικού Τριαδικού ανάμεσα στην Λαυρασία, μια ήπειρο η οποία αποτελούσε το Βόρειο τέμαχος της Παγγαίας και την Γκοτβάνα, η οποία αποτελούσε το Νότιο τμήμα αυτής της υπερ-ηπείρου. Ο σχηματισμός του ωκεανού της Τηθύς προήλθε ύστερα από την απομάκρυνση των δύο προαναφερθέντων τεκτονικών πλακών κατά το Τριαδικό-Ιουρασικό. Την ονομασία του την έλαβε εξαιτίας της Αρχαίας Ελληνικής θεότητας των ωκεανών με το όνομα Τηθύς. Με βάση επιστημονικά δεδομένα το σχήμα της παρομοιάζεται ως τριγωνικό (σφηνοειδές) με ένα άνοιγμα προς την Ανατολή και ένα κλείσιμο προς την Δύση. Στο κλείσιμο της Τηθύς, σημαντικό ρόλο έπαιξε η σύγκρουση της πλάκας της Αφρικής με την Ευρώπη, περιορίζοντάς την. Κατά την Καινοζωική περίοδο έκλεισε τελικώς ( πριν από 64 εκατομμύρια χρόνια), όταν ξεκίνησε μια διαδικασία σύγκρουσης των δύο ηπείρων, η οποία και ολοκληρώθηκε κατά το Ανώτερο Καινοζωικό με αποτέλεσμα τον σταδιακό εξαφανισμό της. Όπως θα δούμε στο επόμενο

υποκεφάλαιο, το ανατολικό τμήμα της Μεσογείου αποτελεί υπόλειμμα του ωκεανού της Τηθύος.



-Εικόνα 7.8:Σκαρίφημα που δείχνει το χώρο ανάπτυξης και το σχήμα της θάλασσας της Τηθύος σε σχέση με την Παγγαία ήπειρο και την Παν θάλασσα (UnderstandingEarth, 1993). Πηγή: «Κεφάλαιο 2°Γεωδυναμική και Γεωτεκτονική εξέλιξη του Αλπικού συστήματος - Σημειώσεις ΑΠΘ (<http://www.geo.auth.gr/871/ch2.htm>)»

### 7.3 ΜΕΣΟΓΕΙΟΣ

Με τον όρο «Μεσόγειο» εννοούμε ουσιαστικά μια πολύ μεγάλη θάλασσά η οποία και περικλείεται από τρεις ηπείρους, την Ευρώπη, την Ασία και την Αφρική. Εξάγει νερό στον Ατλαντικό Ωκεανό συνδεδεμένη μέσω του στενού του Γιβραλτάρ και με την Ερυθρά θάλασσα μέσω της διώρυγας του Σουέζ. Σχηματίστηκε κατά την διάρκεια του Μειόκαινου από την σύγκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών της Αφρικής με την Ευρώπη. Φέρει γεωγραφικές συντεταγμένες με γεωγραφικό μήκος  $05^{\circ} 21' \Delta$ . μέχρι  $36^{\circ} 10' \Lambda$ . και γεωγραφικό πλάτος  $30^{\circ} 15' \beta$ . έως  $45^{\circ} 50' \beta$ ., καλύπτοντας ένα μήκος περίπου στα 3.800 χλμ. από την περιοχή της Συρίας μέχρι και τα στενά του Γιβραλτάρ. Η Μεσόγειος αποτελεί ουσιαστικά, μια θαλάσσια περιοχή με περιορισμένη εναλλαγή με τον παγκόσμιο ωκεανό και λόγω της περιορισμένης ανταλλαγής ιδιοτήτων με τον ωκεανό και τις εσωτερικές διαδικασίες μετασχηματισμού, έχει προταθεί ότι μπορεί να θεωρηθεί "εργαστήριο" ενός "μίνι-ωκεανού", αντιπροσωπεύει ουσιαστικά διαδικασίες που μεταφέρονται σε μεγαλύτερη κλίμακα στον παγκόσμιο ωκεανό (*Robinson and Golnaraghi, 1994, Bergamasco και Malanotte-Rizzoli, 2010*).

Γεγονός είναι ότι η Μεσόγειος δεν βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση καθώς έχουμε συμβάντα σχηματισμού βαθών υδάτων και είναι πιθανώς ευαίσθητη στις κλιματικές αλλαγές.

Με βάση τον διαχωρισμό της, την διακρίνομε σε Ανατολική και Δυτική Μεσόγειο . Με το ανατολικό τμήμα της να καταλαμβάνει μια έκταση που ξεκινάει από τα Ανατολικά



παράλια της Σικελίας και φτάνει μέχρι τα παράλια της Συρίας, του Λιβάνου και του Ισραήλ, ενώ το Δυτικό της τμήμα από τα στενά του Γιβραλτάρ μέχρι και την Σικελία. Το τμήμα της ανατολικής Μεσογείου αποτελεί ένα «ζωντανό» γεωλογικό εργαστήριο, εξαιρετικά ενδιαφέρον για τον επιστημονικό κόσμο και αρκετά σημαντικό για το Ενεργειακό δυναμικό της Ευρώπης και των Ανατολικών χωρών, καθότι αποτελεί σημείο γένεσης κοιτασμάτων υδρογονανθράκων με παράδειγμα αυτά της δυτικής και νοτιοδυτικής Κρήτης, όπου θα αναλυθούν σε παρακάτω κεφάλαιο. Σημαντικό στοιχείο στην θάλασσα της Μεσογείου, αποτελεί η εμφάνιση της Μεσογειακής ράχης, ένα από τα πιο εμφατικά κομμάτια της και με παρόμοια σχετικά μορφολογία με την Μέσω-Ωκεάνια ράχη του Ατλαντικού. Εμφανίσεις λεκανών, όπως αυτή του Ηροδότου και του Λεβαντίνου αποτελούν σημαντικά γεωλογικά φαινόμενα καθώς επίσης και σημαντικά πεδία ύπαρξης υδρογονανθράκων.

Στα υποκεφάλαια που ακολουθούν θα γίνει μια περιγραφική- σχηματική απεικόνιση της Ανατολικής Μεσογειακής λεκάνης με αναφορές στην Μεσογειακή ράχη, την Κρητική Τάφρο, την Λεκάνη του Ηροδότου, την σημασία ύπαρξης «Λασποηφαιστείων» (MudflowVolcanoes), καθώς και αναφορά στους Υδρογονάνθρακες Κρήτης.

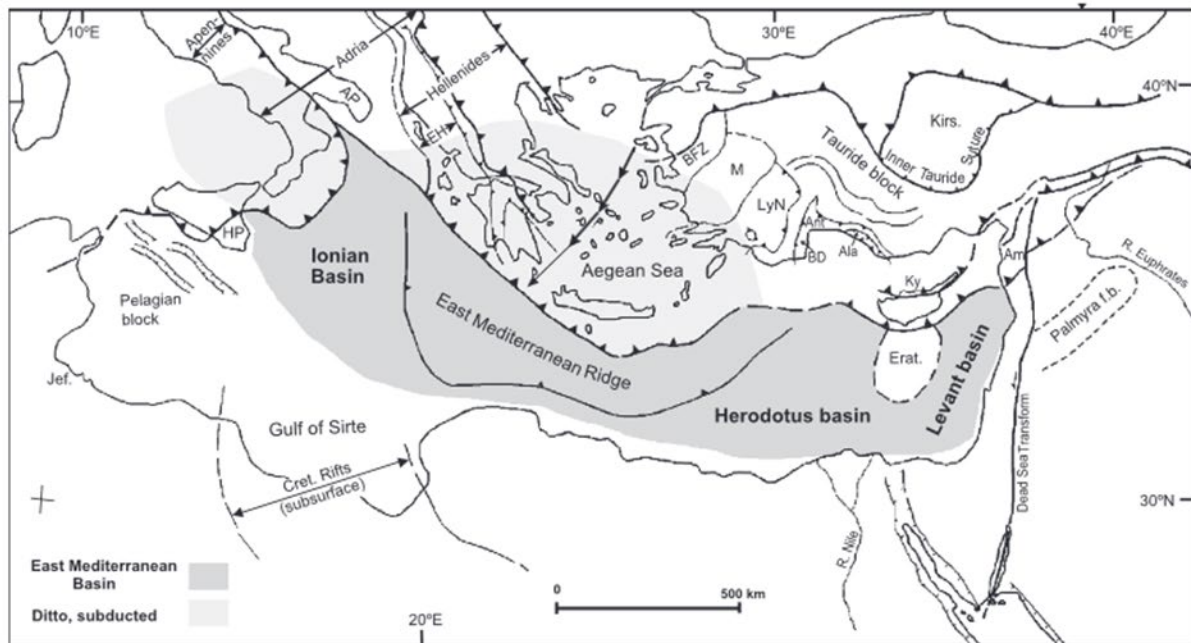


-Εικόνα 7.9:Επεξεργασμένη εικόνα στην οποία φαίνεται η Μεσόγειος θάλασσα και τα δυο τμήματα, δυτικό και ανατολικό (πηγή: GoogleEarth). Πηγή: «Μεταπτυχιακή Εργασία, Χρήστος Ηλία, «Η τεκτονο-στρωματογραφική εξέλιξη της Νοτιοανατολικής Μεσογείου με έμφαση στη λεκάνη του Ηροδότου, στην κατεύθυνση ανάπτυξης πεδίων υδρογονανθράκων, (2013).»

### 7.3.1 ΛΕΚΑΝΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ

Η λεκάνη της Ανατολικής Μεσογείου (East Mediterranean Basin) αποτελεί ένα υπόλειμμα του Ωκεανού της Τηθύος, Μεσοζωικής περιόδου (*Robertson and Dixon, 1984, Sengor et al., 1984; Et al., 1984, Dercourt et al., 1986, Le Pichon et al., Stampfli et al., 2001*). Στα Ανατολικά και στα Νότια, διατηρούνται τα αρχέτυπα παθητικά περιθώρια του, ενώ τα σημερινά Βόρεια και Δυτικά περιθώρια διαμορφώθηκαν με μεταγενέστερη υποβύθιση και σύγκλιση πλακών. Σε αυτό το τμήμα της Μεσογείου η μελέτη των σεισμικών διαθλάσεων, έδειξε ότι η Ανατολική λεκάνη της Μεσογείου έχει πάχος ωκεάνιου φλοιού έως και 10 χιλιόμετρα (ή / και έντονα εξασθενημένο ηπειρωτικό φλοιό), με υπερκείμενα ιζήματα πάχους από 6 έως 12 χιλιόμετρα. (*Makris et al., 1983, 1986; De Voogd et al., 1992; Ben Abraam et al., 2002*). Από την άλλη, η επαφή των ηπείρων Αφρικής – Αραβίας, δίπλα στα παθητικά περιθώρια αυτής της λεκάνης έχει 30

με 35 χιλιόμετρα παχύτερο ηπειρωτικό φλοιό (*Ginzburg και Ben-Avraham, 1987; Makris et al., 1988*, με μια τέτοια αλλαγή στην δομή του φλοιού να επιτρέπει την ερμηνεία ότι η Ανατολική λεκάνη της Μεσογείου σχηματίστηκε ως αποτέλεσμα ρήξης, η οποία και οδήγησε στην αποκόλληση και την βόρεια μετακίνηση – ολίσθηση αυτών των τεμαχίων, μακριά από αυτά τα παθητικά περιθώρια. Αυτή η άποψη είναι ευρέως αποδεκτή, αλλά το πώς επήλθε η ρήξη, και η αρχική θέση των αποκολλημένων τεμαχίων, καθώς και η ιστορία της παραμένουν έως ένα σημείο ακατανόητα.

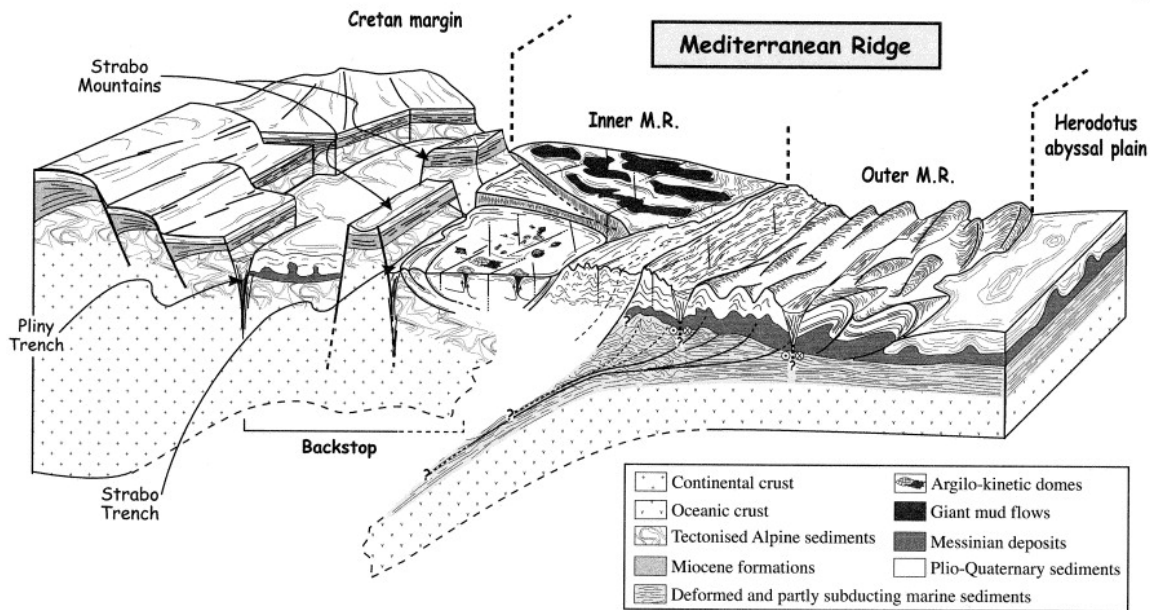


-Εικόνα 7.10: Η λεκάνη της Ανατολικής Μεσογείου (EMB) και η έκταση των υποβαθμισμένων τμημάτων της. Το τόξο με τα βέλη στο Αιγαίο υποδηλώνει το μέγεθος της περιστροφής του περιθωρίου των εξωτερικών Ελληνίδων σε σχέση με το Ευρασιατικό. Πηγή: «Origin of the Eastern Mediterranean basin: a reevaluation, Z. Garfunkel Institute of Earth Sciences, Hebrew University of Jerusalem»

### 7.3.2 ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΗ ΡΑΧΗ

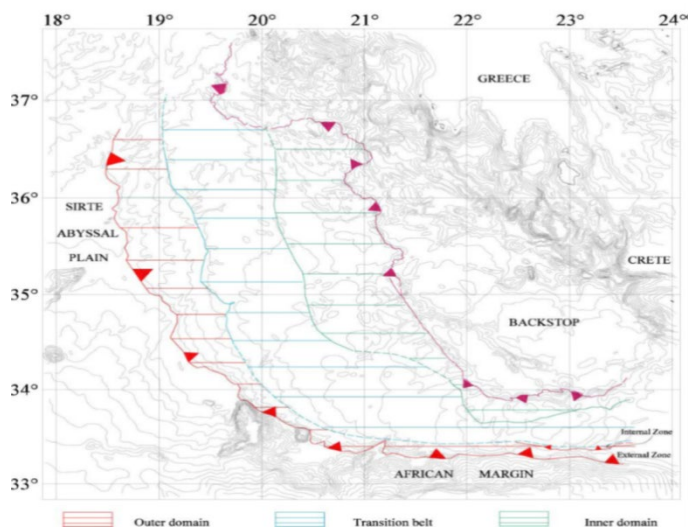
Τοποθετείται στην Ανατολική Μεσόγειο και παρομοιάζεται μορφολογικά με Μεσο-ωκεάνια ράχη, με εμφανώς μικρότερες διαστάσεις, καταλαμβάνοντας μια έκταση κατά μήκος του δυτικού τμήματος της Λευκάδας που βρίσκεται στο Ιόνιο πέλαγος, περνά ενδιάμεσα Κρήτης και Λιβύης στα Νότια του νησιού του Καστελόριζου. Η δημιουργία της οφείλεται στην πρόσκρουση της Αφρικανικής πλάκας που υποβυθίζεται κάτω από την Ευρασιατική και την πλάκα της Ανατολίας, αποτελεί ουσιαστικά μια τεκτονο-στρωματογραφική ενότητα μεταξύ των περιθωρίων αυτών. Η ράχη φέρει ένα τοξοειδές σχήμα με μήκος περίπου 1600 χιλιομέτρων, ένα πλάτος που αγγίζει τα 150 με 310 χιλιόμετρα περίπου και με την κορυφή της να εντοπίζεται σε βάθος περίπου 2,5 χιλιομέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας.





-Εικόνα 7.11: Μεσογειακή Ράχη. Πηγή: «Σημειώσεις Γεωλογίας Ελλάδος, E-class(PDF-Μεσόγειος), Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος.»

Χαρακτηρίζοντας γεωλογικά την Μεσογειακή ράχη, παρατηρούμε ότι διαχωρίζεται σε 3 κύρια τεκτονικά πεδία το εξωτερικό-εσωτερικό-κεντρικό. Το πρώτο τεκτονικό πεδίο καλείται εξωτερικό και διακρίνεται από επιπτώσεις και από πτυχές οι οποίες και επιδρούν σε ιζήματα, υπερκείμενα των εβαποριτών, Μεσσήνιας ηλικίας και αποτελούν τον ορίζοντα αποκόλλησης. Έπειτα έχουμε το κεντρικό πεδίο, το οποίο χαρακτηρίζεται από επίπεδο ανάγλυφο, διαφορετικής τεκτονικής από το εξωτερικό, με λιγότερες επιπτώσεις και πτυχώσεις και με την ύπαρξη ενός άλματος το οποίο εντοπίζεται στην επαφή του ορίζοντα αποκόλλησης και των στρωμάτων αργίλου, που χρονολογούνται το Άπτιο. Τέλος, στο εσωτερικό τεκτονικό πεδίο παρουσιάζεται έντονο ανάγλυφο, αποτελεί το υψηλότερο τμήμα της Μεσογειακής ράχης και χαρακτηρίζεται από επιπτώσεις αντίρροπης κατεύθυνσης καθώς και από παραμορφώσεις. Οι παραμορφώσεις αυτές προκαλούνται από ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης τα οποία απολήγουν στην επαφή του πρίσματος με το οπισθώριο το οποίο εμφανίζεται ως αντίρροπη επώθηση.

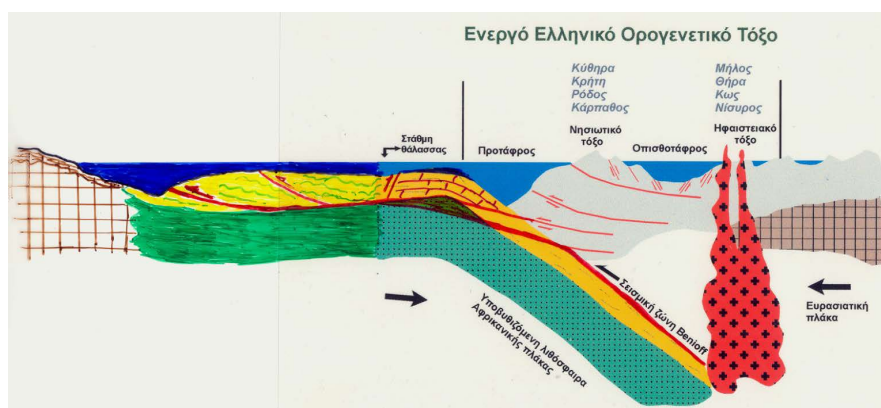


-Εικόνα 7.12: Απεικόνιση της Μεσογειακής ράχης και των επιμέρους τεκτονικών πεδίων. Με ανοιχτό πράσινο χαρακτηρίζεται το εσωτερικό τεκτονικό πεδίο, με ανοιχτό κόκκινο το εξωτερικό και το απομένον χρώμα χαρακτηρίζει το κεντρικό πεδίο. Πηγή: «Σημειώσεις Γεωλογίας Ελλάδος, E-class-(PDF-Μεσόγειος), Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος.»

### 7.3.3 ΛΕΚΑΝΗ ΚΡΗΤΗΣ (ΟΠΙΣΘΟΤΑΦΡΟΣ)

Με τον όρο «οπισθόταφρος» χαρακτηρίζουμε την λεκάνη της Κρήτης, μια τάφρος επιμήκης με διεύθυνση Ανατολή-Δύση, η οποία δημιουργήθηκε από την οπισθοκύλιση της Αφρικανικής πλάκας η οποία υποβυθίζεται κάτω από το Ελληνικό τόξο. Η λεκάνη εντοπίζεται μπροστά από το νησιωτικό τόξο και πάνω στην Ευρασιατική πλάκα, οριοθετείται από ένα ρηχό σύνολο νησιών στον Βορρά γνωστό και ως «Οροπέδιο των Κυκλάδων», που συγκροτείται ουσιαστικά από υποθαλάσσια βουνά και από την Νήσο της Κρήτης στον νότο. Προς την Δύση έχουμε τον Αργιλικό Κόλπο και το Μυρτώο πέλαγος. Το βύθισμα της με βάση μελέτες και μετρήσεις ξεπερνά το 1 χιλιόμετρο, ενώ στην Ανατολική της πλευρά έχουμε την ύπαρξη υπολεκανών μεγαλύτερου βάθους.

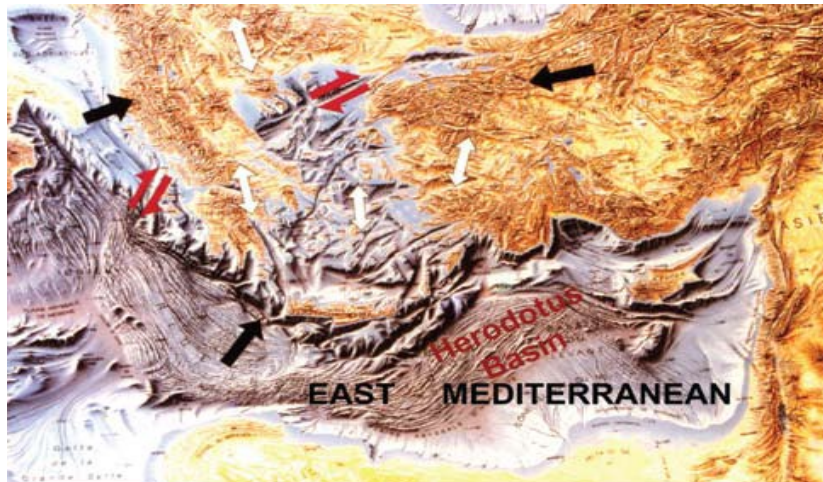
Η κορύφωση της διάνοιξης της λεκάνης της Κρήτης, χρονολογείται μεταξύ Μειόκαινου και Πλειοκαίνου, ενώ κατά το Ανώτερο Πλειστόκαινο η έκταση ήταν περιορισμένη (*Mascle & Martin, 1990*). Τεκτονικά είναι ενεργή, όπως δείχνουν η πρόσφατη σεισμικότητα και ηφαιστειακή δραστηριότητα σε όλη την περιοχή (*McKenzie, 1978*).



-Εικόνα 7.13: Ενεργό Ελληνικό Ηφαιστειακό Τόξο. Πηγή: «Σημειώσεις Γεωλογίας Ελλάδος, E-class - (PDF-Μεσόγειος), Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος».

### 7.3.4 ΛΕΚΑΝΗ ΗΡΟΔΟΤΟΥ

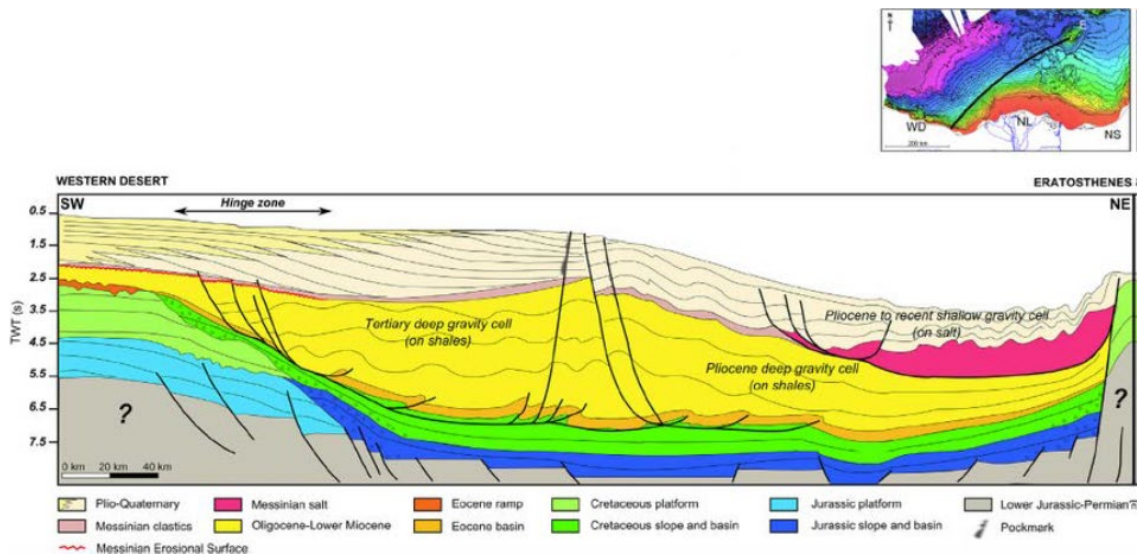
Στην Μεσόγειο εντοπίζουμε δύο γεωλογικές ενότητες πάνω στις οποίες θα μπορούσαμε να βασίσουμε της ενεργειακές μας ανάγκες, δημιουργώντας παράλληλα ένα εξαιρετικό ερευνητικό ενδιαφέρον σχετικό με τον εντοπισμό και την αξιοποίηση κοιτασμάτων υδρογονανθράκων. Η πρώτη γεωλογική ενότητα σχετίζεται με την λεκάνη του Ηροδότου και η δεύτερη με την Μεσογειακή Ράχη.



-Εικόνα 7.14: Γεω-τεκτονικός χάρτης της Ανατολικής Μεσογείου και της Ελλάδας, Γαλλία Παρίσι 1993. Πηγή: «Economic and Geopolitical Importance of Eastern Mediterranean gas fields for Greece and the E. U. Emphasis on the Probable Natural Gas Deposits Occurring in the Libyan Sea within the Exclusive Economic Zone of Greece, Alain Bruneton, Elias Konofagos, Anthony E. Foscolo».

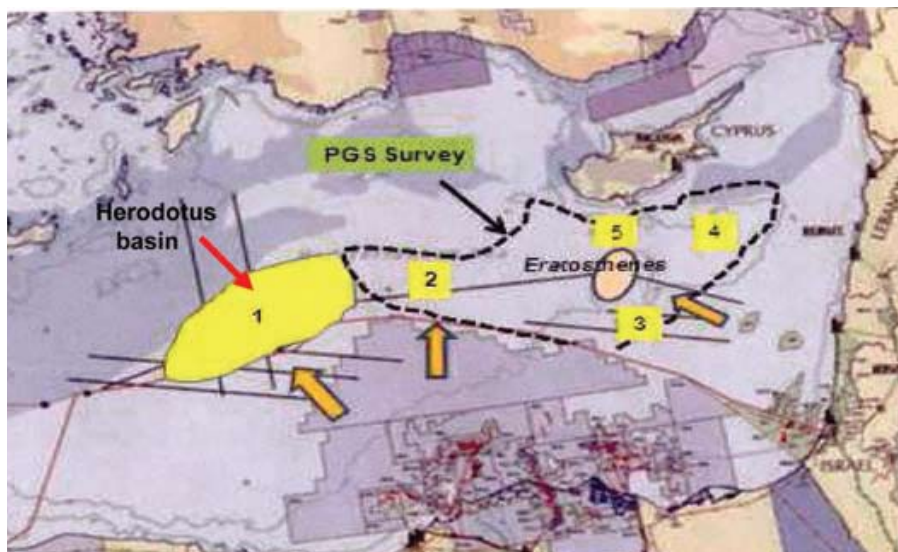
Η λεκάνη Ηροδότου, βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο της Μεσογείου και πιο συγκεκριμένα, στην Ανατολική της λεκάνη. Αποτελεί ένα τεκτονικό βύθισμα και χαρακτηρίζεται από ωκεάνιο φλοιό, με πλάτος της τάξεως των 255 χιλιομέτρων, κατά μέσο όρο, και μήκος 450 χιλιομέτρων, κατά μέσο όρο, ενώ στην έκτασή της καλύπτει περίπου 113,000 χιλιόμετρα. Η οριοθέτηση της έχει ως εξής, Βορείως οριοθετείται από το τόξο της Κύπρου και την Ανατολική Μεσογειακή ράχη, Νοτίως από την Αιγυπτιακή υφαλοκρηπίδα και το δέλτα του Νείλου και στα Ανατολικά από το ρήγμα μετασχηματισμού της Νεκρά Θάλασσας, και την Μεσογειακή ράχη. Το εύρος βάθους νερού κυμαίνεται από 1.000 m. έως περισσότερο από 3.000 m. γεγονός που αφήνει πολλά περιθώρια περεταίρω εξερεύνησής. Μελέτες (Swath survey) που χρησιμοποιούν μεγάλα σόναρ ακτινών (Large Beam Sonar) αποτύπωσαν ένα μεγάλο σύστημα καναλιών που προέρχονται από το άνω δέλτα του Νείλου οι οποίοι τροφοδοτούν τα βαθιά και μεγάλα τουρβιδιτικά ρεύματα μέσα τη λεκάνη του Ηρόδοτου. Μπορεί να παρομοιαστεί και να θεωρηθεί ως μια λεκάνη προχώρας, με την ηλικία της να χρονολογείται στην περίοδο του Τριαδικού και με τα υπερκείμενα ιζήματα του υποβάθρου της να χρονολογούνται και αυτά τον Καινοζωικό και τον Μεσοζωικό. Αυτά τα ιζήματα πιο ειδικά χωρίζονται σε ιζήματα, Μεσοζωικού και Παλαιογενούς, προ-Μεσσηνίας ηλικίας, εβαπορίτες Μεσσηνίου και ιζήματα Πλειο-Τεταρτογενούς. Η λεκάνη του Ηροδότου αποτελεί ένα υπόλειμμα του ωκεανού της Τηθύς με ηλικία φλοιού 260 έως 31 εκατομμυρίων ετών. Με την στρωματογραφία της λεκάνης να είναι απότομη και όπως προαναφέρθηκε έχει αρχικά ένα υπόβαθρο ωκεάνιο φλοιού και στην συνέχεια υπέρκεινται σε αυτόν κλαστικά ιζήματα με την ιζηματογένεση στη λεκάνη να είναι αλλόχθονη .





-Εικόνα 7.15:Γεωλογική Τομή της Δομής της Λεκάνης του Ηροδότου και των περιθωρίων της.Πηγή: «Σημειώσεις Γεωλογίας Ελλάδος, E-class- (PDF-Μεσόγειος), ΠανεπιστήμιοΑθηνών Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος».

Γεωφυσικές έρευνες του TGS-NOPEC στο εσωτερικό της Ελληνικής περιοχής της λεκάνης του Ηροδότου, έχουν γίνει με σκοπό να μελετηθεί περαιτέρω η περιοχή και επιβεβαιώνοντας το δυναμικό των υδρογονανθράκων της λεκάνης απορροής. Βορείως το δυναμικό του τμήματος της λεκάνης του Ηροδότου που στηρίζεται της ράχης «Florence» να βρίσκεται μακριά από κλασικές πηγές, πράγμα που το καθιστά ένα «υποθετικό» σημείο.

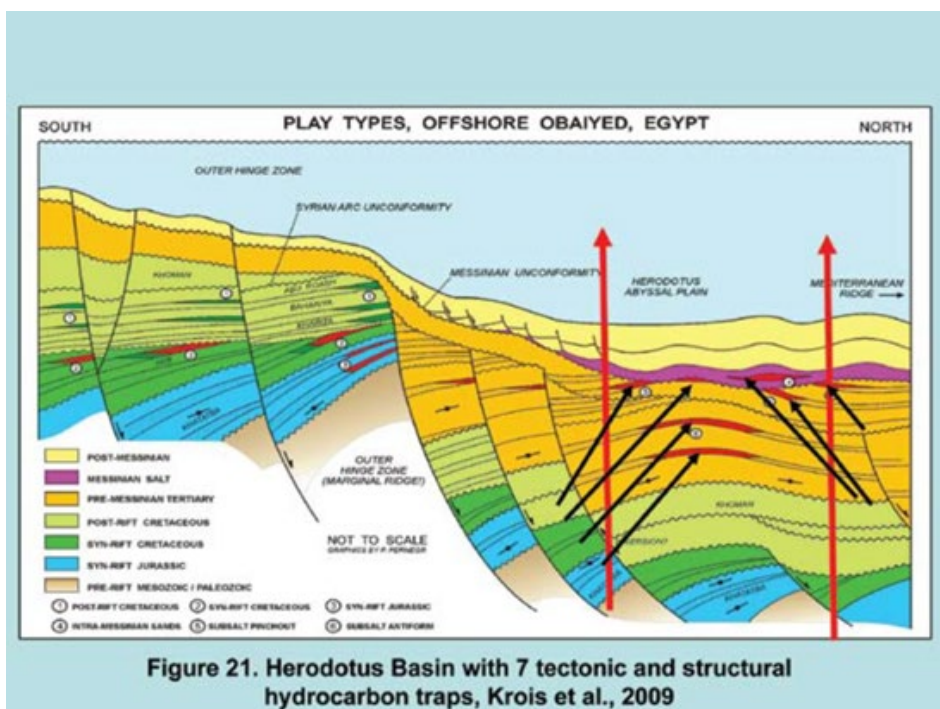


-Εικόνα7.16: Πιθανέςπεριοχέςύπαρξηςυδρογονανθράκων «offshore» τηςΚύπρουκαιτηςλεκάνηςτουΗροδότου.Πηγή: «Economic and Geopolitical Importance of Eastern Mediterranean gas fields for Greece and the E. U. Emphasis on the Probable Natural Gas Deposits Occurring in the Libyan Sea within the Exclusive Economic Zone of Greece, Alain Bruneton, EliasKonofagos, Anthony E. Foscolo».



-Εικόνα 7.17: Γεωφυσική έρευνα από την TGS-NOPEC, 2010. Πηγή: «Economic and Geopolitical Importance of Eastern Mediterranean gas fields for Greece and the E. U. Emphasis on the Probable Natural Gas Deposits Occurring in the Libyan Sea within the Exclusive Economic Zone of Greece, Alain Bruneton, Elias Konofagos, Anthony E. Foscolo».

-Εικόνα 7.18: Σχηματική τομή της λεκάνης του Ηροδότου που απαρτίζεται από 7 τεκτονικές και στρωματογραφικές παγίδες, Kroiset al., 2009. Πηγή: Εργασία με τίτλο «Economic and Geopolitical Importance of Eastern Mediterranean gas fields for Greece and the E. U. Emphasis on the Probable Natural Gas Deposits Occurring in the Libyan Sea within the Exclusive Economic Zone of Greece, Alain Bruneton, Elias Konofagos, Anthony E. Foscolo».

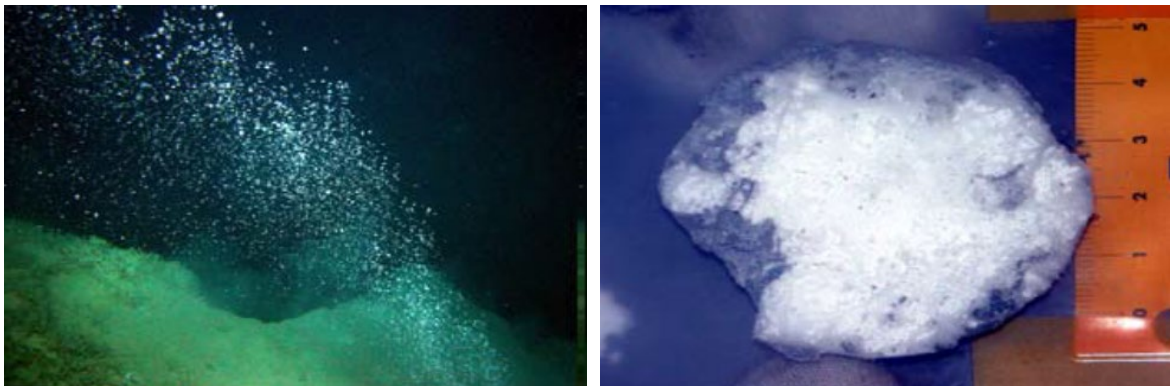


### 7.3.5 MUDFLOW VOLCANOES («ΛΑΣΠΟΗΦΑΙΣΤΕΙΑ»)

Τα ενεργά ηφαιστειακά ρεύματα λάσπης έχουν μια σύνδεση σε όλο τον κόσμο. Πιο συγκεκριμένα στην Μεσόγειο και ειδικότερα στο κομμάτι της Κρήτης στο σημείο υποβύθισης της Αφρικανικής πλάκας, «κατοικεί» ένας τεράστιος αριθμός από υποθαλάσσια ηφαιστεια που εκπέμπουν φουσαλίδες αερίων του μεθανίου. Κατόπιν μελετών και συμπερασμάτων από γεωχημικές έρευνες προκύπτει ότι η πυρόλυση των



υδρογονανθράκων λαμβάνει χώρα σε βαθιά νερά, με τις θερμοκρασίες να αγγίζουν τους 1800 C°. Τα «λασποηφαιστεία» που βρίσκονται στην Ελληνική ΑΟΖ<sup>5</sup>, είχαν και εξακολουθούν να εκπέμπουν φυσαλίδες φυσικού αερίου για πάνω από 1 εκατομμύριο χρόνια με την παρουσία τους Νότια της Κρήτης να υποδηλώνει ότι ιστορικά έπαιξαν ένα ρόλο κλειδί ως πηγές τροφοδοσίας των ανακαλυφθέντων ή των αναμενόμενων να ανακαλυφθούν κοιτασμάτων. Ένα μέρος αυτών των αερίων, αφού περάσουν από το θαλασσινό νερό, χάνονται στον αέρα Ένα άλλο τμήμα μετατρέπεται σε υδρίτες αερίου και ένα άλλο μικρό κλάσμα καταναλώνεται από βακτήρια μεθανίου. Η περιοχή που καλύπτεται από το υδρογονάνθρακες είναι περίπου 200.000 Km<sup>2</sup> και ο όγκος υπολογίζεται περίπου στα 30 τρισεκατομμύρια m<sup>3</sup> (με ένα μέσο πάχος στα 150 μέτρα). Περίπου 1% αυτού του όγκου είναι οι ενυδατωμένοι, δηλαδή 0,30 τρισεκατομμύρια m<sup>3</sup>. Αυτή η τιμή πρέπει να πολλαπλασιαστεί με 170 m<sup>3</sup> φυσικού αερίου / 1 m<sup>3</sup> ένυδρης ύλης για να την εξισώσει με την συμβατική τιμή φυσικού αερίου (Massari, 2009). Αυτό σημαίνει ότι έχουμε το ισοδύναμο 51 τρισεκατομμυρίων m<sup>3</sup> φυσικού αερίου, ποσό που αποτελεί εξαιρετικά τεράστιο.



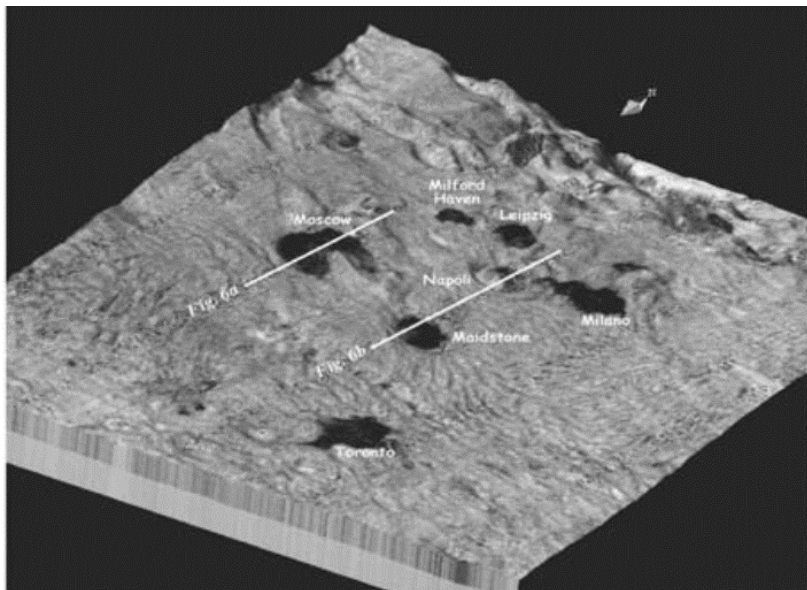
-Εικόνα 7.19: Αριστερά παρουσιάζεται εκπομπή φυσαλίδων μεθανίου από τον πυθμένα της Μεσογείου . Απεικόνιση υδρίτη (δεξιά) από το ηφαίστειο της ροής της λάσπης Θεσσαλονίκη των βουνών του Αναξιμανδρου στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου. Πηγή: Εργασία με τίτλο «Οι συγκλίνοσες λιθοσφαιρικές πλάκες και η ταυτόχρονη ύπαρξη πρίσματος επαύξησης και λασποηφαιστείων στην υπεράκτιο Νοτιά Κρήτη. Νέες προοπτικές εντοπισμού κοιτασμάτων υδρογονανθράκων στην Ελλάδα, Αντώνιος Φώσκολος Ηλίας Κονοφάγος ,Alain Bruneton»

Όσον αναφορά την Μεσόγειο, τα γεωχημικά δεδομένα που προέκυψαν σε συνδυασμό με την ύπαρξη τεράστιων όγκων υδριτών που βρίσκονται στον πυθμένα της Μεσογείου (50 τρισεκατομμύρια m<sup>3</sup> φυσικού αερίου ισοδυναμούν με 328 δισεκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου) εγείρουν το ερώτημα σχετικά με την ποσότητα της οργανικής ύλης που ενσωματώθηκε στα ιζήματα, προκειμένου να μετατραπεί μέσω διαγένεσης σε κηρογόνο, στη συνέχεια σε έλαιο και τελικά κατά την πυρόλυση σε φυσαλίδες μεθανίου. Αυτή η οργανική ύλη, πιθανότατα φυτοπλαγκτόν, θάφτηκε σε προ Μεσσήνια ιζήματα, σε βάθη άνω των 5000 μέτρων για να παράγει πυρολυτικό μεθάνιο, <sup>13</sup>CH<sub>4</sub>. Έτσι, η προέλευση των αερίων του μεθανίου δεν μπορεί να αποδοθεί στα Μεσσηνιακά ιζήματα. Οι τεράστιες ποσότητες οργανικής ύλης είναι πιθανότατα συσσωρευμένες από τη

<sup>5</sup>ΑΟΖ= Ανεξάρτητη Οικονομική Ζώνη.

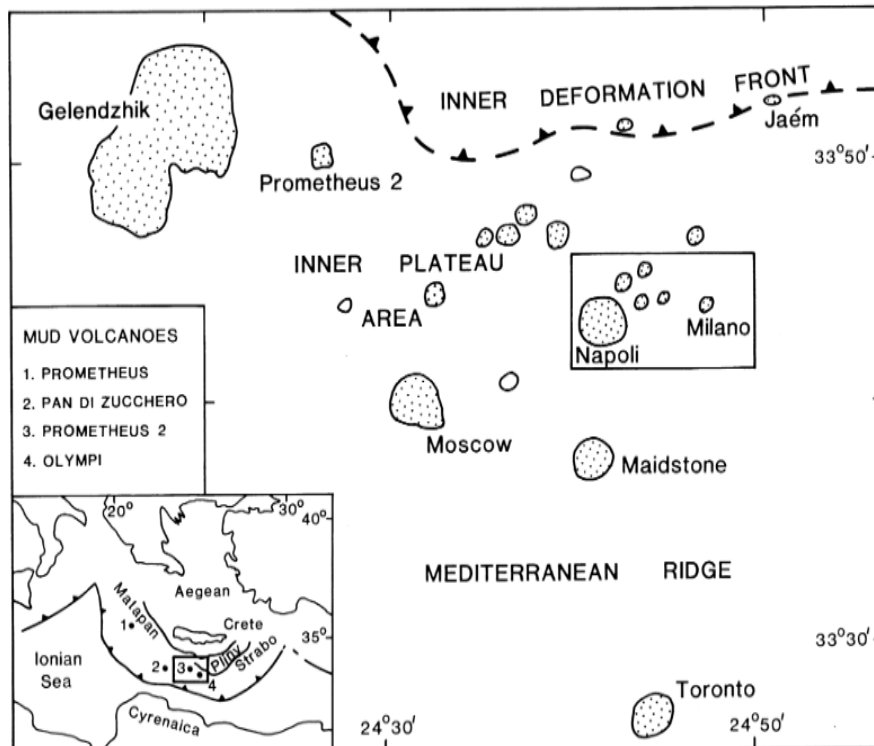


δημιουργία το ωκεανού της Τηθύς, δηλαδή από το τέλος του Ιουρασικού, μέχρι της αρχής του Κρητιδικού, πριν από περίπου 165 εκατομμύρια χρόνια. Ο ωκεανός της Τηθύς κατά το μέσο Μεσσήνιο, είχε θερμοκρασίες παρόμοιες με τις τροπικές, πράγμα που έπαιξε καθοριστικό ρόλο για την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων οργανικής ύλης, όπου κατά την ταφή και τη διαγένεση τους δημιουργούσαν τεράστιες ποσότητες πετρελαίου και αερίου.



-Εικόνα 7.20: «Λασποηφαίστεια» σε περιοχή «offshore» της Κρήτης, δεδομένα από τον Ανατολικό πεδίο του Ολίμπι. Πηγή: «Economic and Geopolitical Importance of Eastern Mediterranean gas fields for Greece and the E. U. Emphasis on the Probable Natural Gas Deposits Occurring in the Libyan Sea within the Exclusive Economic Zone of Greece, Alain Bruneton, Elias Konofagos, Anthony E. Foscolo».

Εν κατακλείδι, η εύρεση ενεργών «λασποηφαιστειών», αποτελεί ζωτικής σημασίας έρευνα για την Νότια παράκτια πλευρά της Κρήτης καθώς αποτελεί μια πολύ σημαντική ένδειξη παρουσίας υδρογονανθράκων και ενδεχόμενων πετρελαϊκών συστημάτων. Η ανακάλυψη αυτή αντανακλάται φυσικά σε όλο τον κόσμο π.χ. Κασπία Θάλασσα, Κόλπο του Μεξικού, Δυτική Αφρικανική Λεκάνη, όπου τα ενεργά «λασποηφαιστεια» συσχετίζονται έντονα με την παρουσία καταλοίπων υδρογονανθράκων. Επομένως, η απόκτηση δεδομένων εξερεύνησης Νοτίως και γενικότερα γύρω από την νήσο οφείλει να αποτελεί πρωταρχικό στόχο και είναι απολύτως απαραίτητο και επείγον για την περαιτέρω αξιολόγηση της παρουσίας ενός πετρελαϊκού συστήματος με «reservoirs» στην περιοχή.



-Εικόνα 7.21: Το πεδίο Ολιμπιντία από την πόλη της Πλακιάς στην Κρήτη. Alastair H.F. Robertson and Achim Kopf 1998 Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, Vol 160 Robertson, A.H.F , Emeis, K-C, Richter, C and Camerlenghi. Πηγή: Εργασία με τίτλο: «Geological And Geochemical Evidences Indicating The Existence Of Large Hydrocarbon Deposits In The Libyan Sea Within The Greek Exclusive Economic Zone (Eez).» (Anthony Foscolos).

-Εικόνα 7.22: Παγκόσμια διανομή των «λασποφαιστίων». 1. «Μοναχικά» λασποφαιστία, ζώνες και διαχωρισμένα λασποφαιστία 2. Παχος ιζημάτων στις περιοχές εκτός ηπειρωτικών υφαλοκρηπίδων α) 1-4 χλμ β) > 4 χλμ.. 3. Ενεργές συμπίεστικές περιοχές 4. Ζώνες υποβύθισης, Dimitrov, 2003, Akesson, 2009. Πηγή : Εργασία με τίτλο «Economic and Geopolitical Importance of Eastern Mediterranean gas fields for Greece and the E. U. Emphasis on the Probable Natural Gas Deposits Occurring in the Libyan Sea within the Exclusive Economic Zone of Greece, Alain Bruneton, Elias Konofagos, Anthony E. Foscolos»

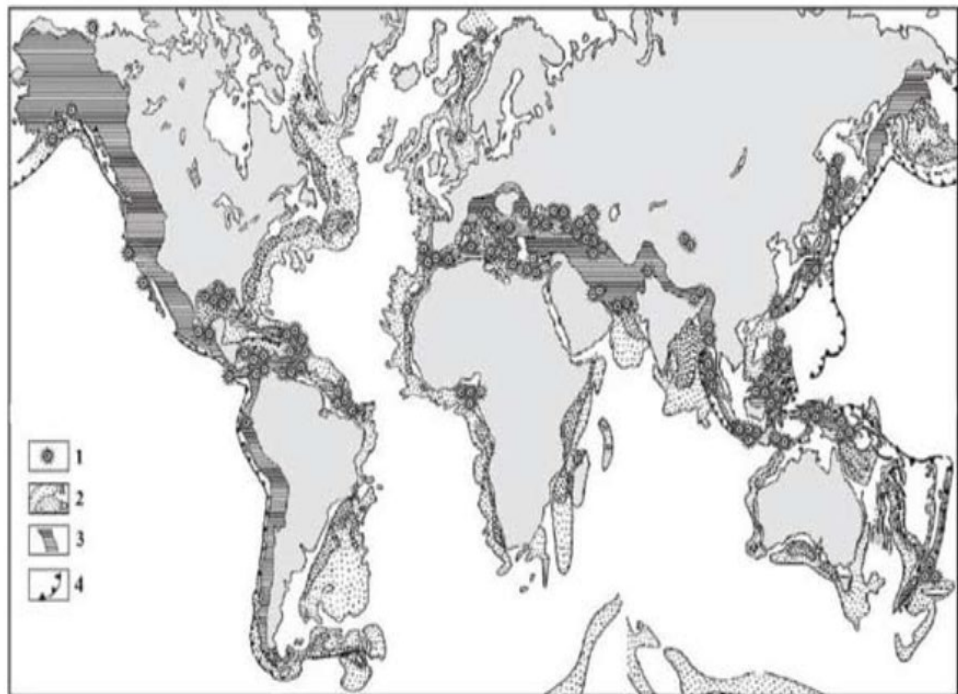
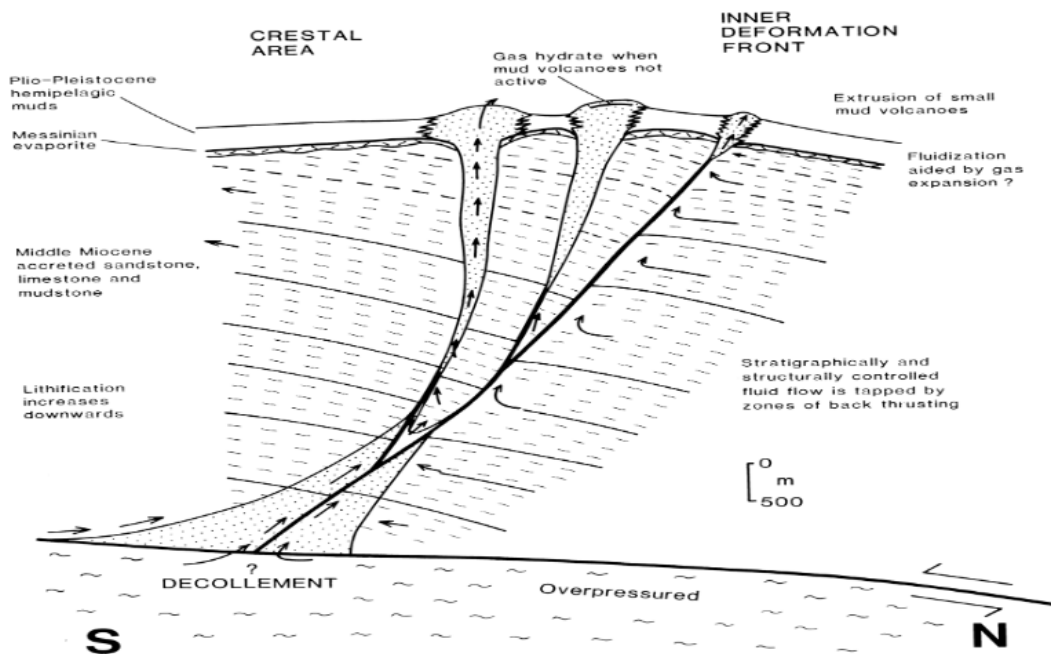
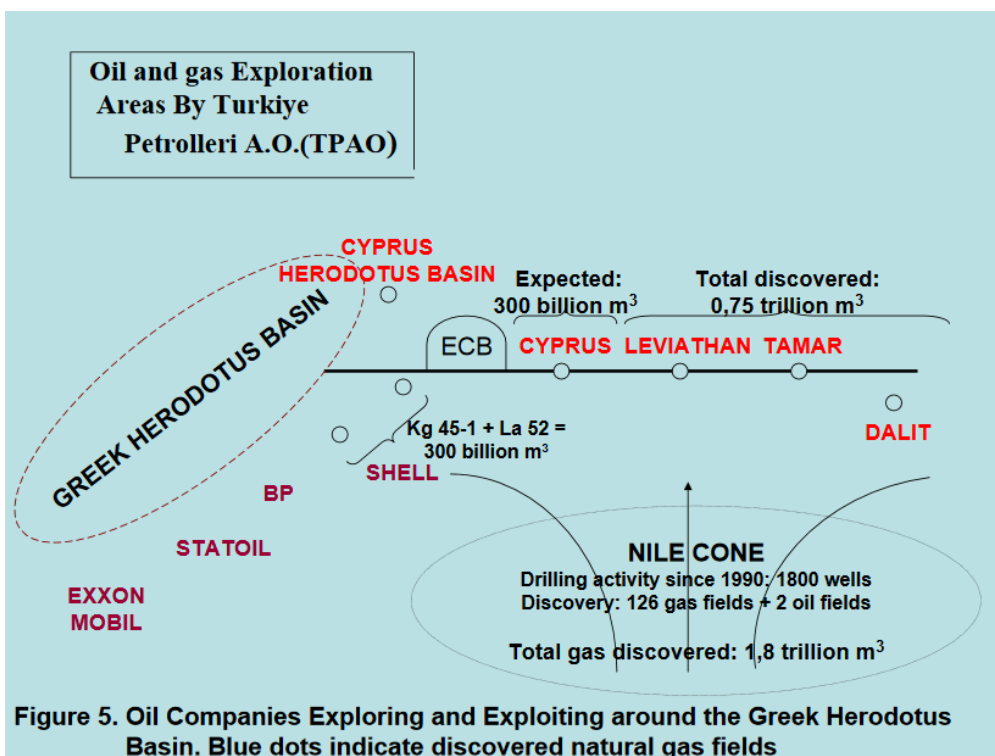


Figure 24. Global distribution of mud volcanoes. 1 Single mud volcanoes, mud volcano belts and separate mud volcano areas. 2. Sediment thickness in the area out of the continental shelves a) 1-4 Km, b) >4Km 3. Active compressional areas 4. Subduction zones. Dimitrov, 2003, Akesson, 2009



-Εικόνα 7.23: Αναθεωρημένο μοντέλο της δραστηριότητας των λασποηφαιστειών στην Μεσογειακή ράχη υποστηριζόμενο από πετρογραφικά και ορυκτολογικά δεδομένα από Leg 160. Roberson, A., H., F. and Kopf. A. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, Vol 160 Robertson, A.H.F , Emeiw, K-C, Richter, C and Camerlenghi. Πηγή :Εργασία με τίτλο: «Geological And Geochemical Evidences Indicating The Existence Of Large Hydrocarbon Deposits In The Libyan Sea Within The Greek Exclusive Economic Zone (Eez).» (Anthony Foscolos).

-Εικόνα 7.24: Πετρελαικές Εταιρίες ερευνούν και εκμεταλλεύονται γύρω από το Ελληνικό κομμάτι της λεκάνης του Ηροδότου. Οι μπλέ τελείες περιλαμβάνουν τα ανακαλυφθέντα πεδία φυσικού αερίου. Πηγή : Εργασία με τίτλο: «Geological And Geochemical Evidences Indicating The Existence Of Large Hydrocarbon Deposits In The Libyan Sea Within The Greek Exclusive Economic Zone (Eez)», Anthony Foscolos.



## 7.4 ΥΔΡΟΓΟΝΑΘΡΑΚΕΣ ΚΡΗΤΗΣ

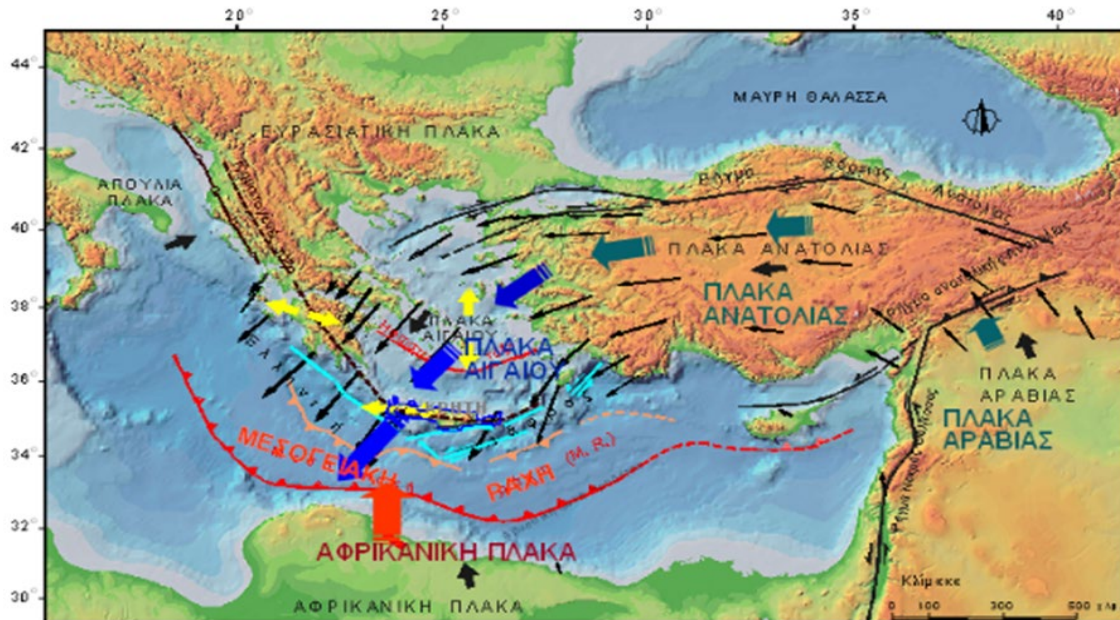
Η Κρήτη αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα νησιά παγκοσμίως και βρίσκεται στην Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα στην Νοτιοανατολική Μεσόγειο, σε απόσταση περί τα 300 χιλιόμετρα Βόρεια της αφρικανικής ηπείρου. Απέχει περί των 490 με 500 χιλιομέτρων από τα «blocks» φυσικού αερίου της Κύπρου και έχει μία απόσταση 800χιλιομέτρων δυτικά των «blocks» φυσικού αερίου του Ισραήλ, ενώ απέχει μια απόσταση 90 περίπου χιλιομέτρων από την ηπειρωτική Ελλάδα. Αποτελεί ένα από τα δυνατά πόνια στην ενεργειακή σκακιέρα Ευρώπης, με έγκυρες επιστημονικές πηγές να τονίζουν ότι υπάρχουν σημαντικές καταθέσεις φυσικού αερίου και πετρελαίου στην περιοχή .Προφανώς και δεν μπορεί να εξαιρεθεί το γεγονός ότι κατά την περίοδο του 2012 μερικές από τις πιο γνωστές εταιρείες σεισμολογικών ερευνών όπως : ION Geophysical με έδρα τις Η.Π.Α., TGS-NOPEC με τη Νορβηγία, Geophysical Dolphin και Petroleum Geo-Services, CGG Veritas της Γαλλίας, Spec Partners, Spectrum Geo και Fugro Multi Client Services, προσέγγισαν την περιοχή εκδηλώνοντας ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την αναζήτηση και κατ' επέκταση εξόρυξη υδρογονανθράκων στην Ελλάδα. Αυτή η έντονη διάθεση για έρευνα στην περιοχή της Κρήτης μπορεί να μεταφραστεί σε ένα και μόνο πράγμα, επενδύσεις κεφαλαίων των εταιρειών αυτών ύψους περί των 40 εκατομμυρίων δολαρίων. Ο εντοπισμός των πεδίων υδρογονανθράκων και η μελλοντική τους εξόρυξη είναι μια σημαντική και μεγάλη είδηση για τους πολλούς που υποφέρουν από τη χειρότερη οικονομική κρίση της σύγχρονης εποχής της Ελλάδας, αλλά και για την Ευρώπη που αργοπεθαίνει και απεγνωσμένα επιζητά μια «σταγόνα για να ξεδιψάσει» .

Αρκετοί επιστήμονες έχουν ασχοληθεί με την ευρύτερη περιοχή και έχουν παρατηρήσει ότι στη περιοχή της νήσου, λειτουργεί ένα γεωδυναμικό σύστημα που χαρακτηρίζεται από την κίνηση δύο λιθοσφαιρικών πλακών, συγκλινόντων πιο ειδικά, της Ευρασιατικής με την Αφρικάνικη. Ουσιαστικά για την ύπαρξη προϋποθέσεων υδρογονανθράκων οι επιστήμονες στηρίζονται στην αλληλεπίδραση της Αραβικής πλάκας με αυτήν της Ανατολής και κατ' επέκταση με την Αιγιακή. Η Αραβική πλάκα κινούμενη αριστερόστροφα ωθεί προς τα Δυτικά την Ανατολική πλάκα η οποία με την σειρά της «σπρώχνει» την Αιγιακή. Επομένως, λόγω της αλληλεπίδρασης των πλακών έχουμε τη συρροή των δεξαμενών των πετρωμάτων. Στις συγκλίνουσες πλάκες συνήθως βρίσκουμε μεγάλες αποθέσεις υδρογονανθράκων,*(Thompson, 1976, Carmalt και StJohn, 1986)*. Επίσης είναι γνωστό ότι στην σύγκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών φιλοξενείται το 20% των πεδίων «Giant Hydrocarbon» του κόσμου.

Το 2014 έλαβε χώρα ένα διεθνές συνέδριο της Αμερικάνικης Ένωσης Πετρελαίων Γεωλόγων στις ΗΠΑ, με μία Κινέζικη εταιρεία με την ονομασία «Petrochina», έναν από τους «κολοσσούς» στην παγκόσμια αγορά ενέργειας, να προχωρά μέσα στο έτος αυτό στην παρουσίαση της λεκάνης του Ηροδότου, μέρος της οποίας ανήκει στην Ελληνική ΑΟΖ.

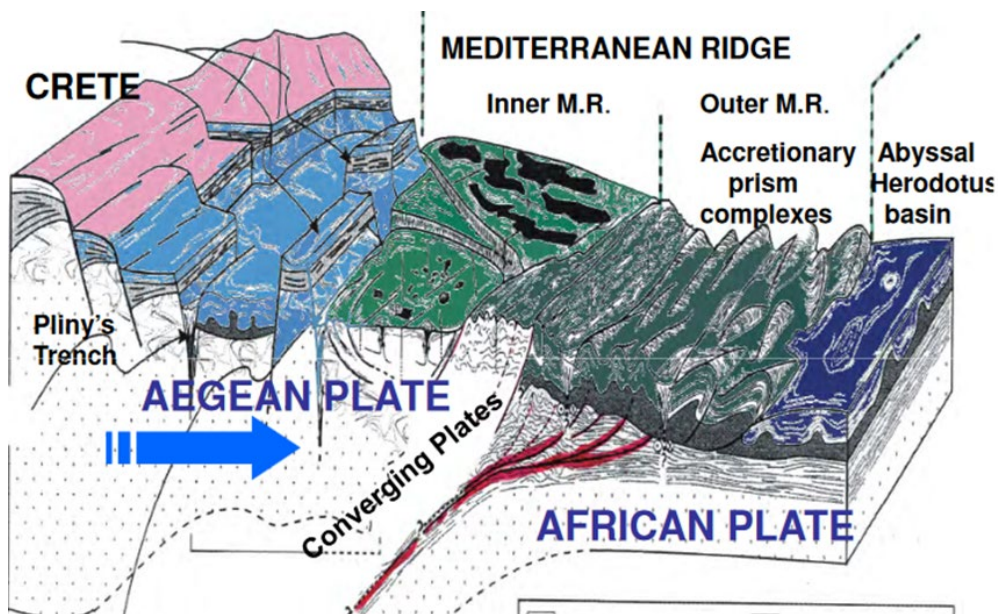
Υστέρα από έρευνα που διεξήχθη για μελέτη της περιοχής της Λεκάνης του Ηροδότου την περίοδο το 2014-2015 , μια Κινεζική εταιρεία κατέληξε στο συμπέρασμα και τοποθετήθηκε, εξηγώντας υπάρχουν ότι βάσιμες πιθανότητες ύπαρξης σημαντικών κοιτασμάτων υδρογονανθράκων στις λεκάνες της Μεσογείου Νότια της Κρήτης. Επιπλέον η γεωλογία της περιοχής της Λεκάνης του Ηροδότου μαρτυρά την ύπαρξη

πετρωμάτων ταμιευτήρων, μητρικών πετρωμάτων και αδιάβροχων καλυμμάτων. Τον ρόλο αυτών των γεωλογικών δομών έπαιξαν τα παρακάτω πετρώματα, με μια σειρά από αργλικούς σχηματισμούς Μεσοζωικής μέχρι και Καινοζωικής ηλικίας, ψαμμίτες με μια χρονολογία στο Ολιγόκαινο έως και την Μειοκαινική περίοδο, και με την ύπαρξη εβαποριτών του Μειοκαίνου.

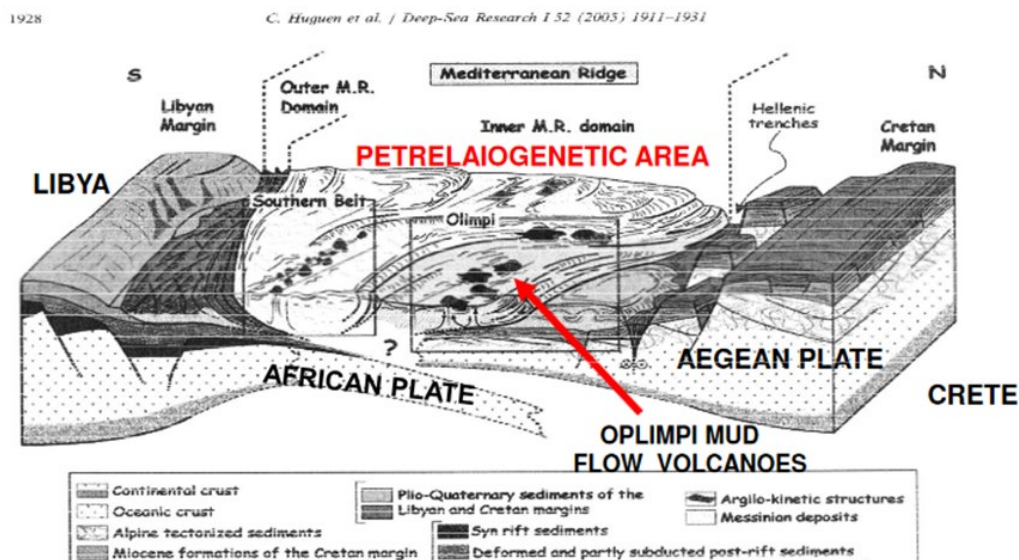


-Εικόνα7.25: Σε αυτό το σχήμα απεικονίζεται το γεωδυναμικό καθεστώς της ευρύτερης περιοχής της Κρήτης και της Ανατολικής Μεσογείου. Η αραβική πλάκα πιέζει αριστερόστροφα την πλάκα της Ανατολίας που με τη σειρά της πιέζει πλάγια την πλάκα του Αιγαίου. Το τελευταίο υπερισχύει της Αφρικανικής πλάκας που υποβιβάζεται κάτω από την Κρήτη, (Παυλάκη, 2006). Πηγή: «the occurrence of converging plates, mud flow volcanoes and accretionary prism complexes in the Mediterranean ridge. their relationship to possible hydrocarbon accumulations offshore Crete-a new perspective for Greece's oil and natural gas resources,Foscolos, Konofagos, Bruneton».





-Εικόνα 7.26 : Η σύγκλιση της αφρικανικής πλάκας με την πλάκα του Αιγαίου νότια της Κρήτης στην Ανατολική Μεσόγειο. Η παραμόρφωση της ευρύτερης υποθαλάσσιας περιοχής με σχηματισμό τάφρων, συγκροτημάτων λεπιώσεων και πτυχώσεων πρισμάτων επαύξεσης και της Μεσογειακής Ράχης (Μ.Ρ.), Παυλάκη, 2006. Πηγή:Εργασίαμετίτλο « the occurrence of converging plates, mud flow volcanoes and accretionary prism complexes in the Mediterranean ridge. their relationship to possible hydrocarbon accumulations offshore Crete-a new respective for Greece’s oil and natural gas resources.»(Foscolos, Konofagos, Bruneton )



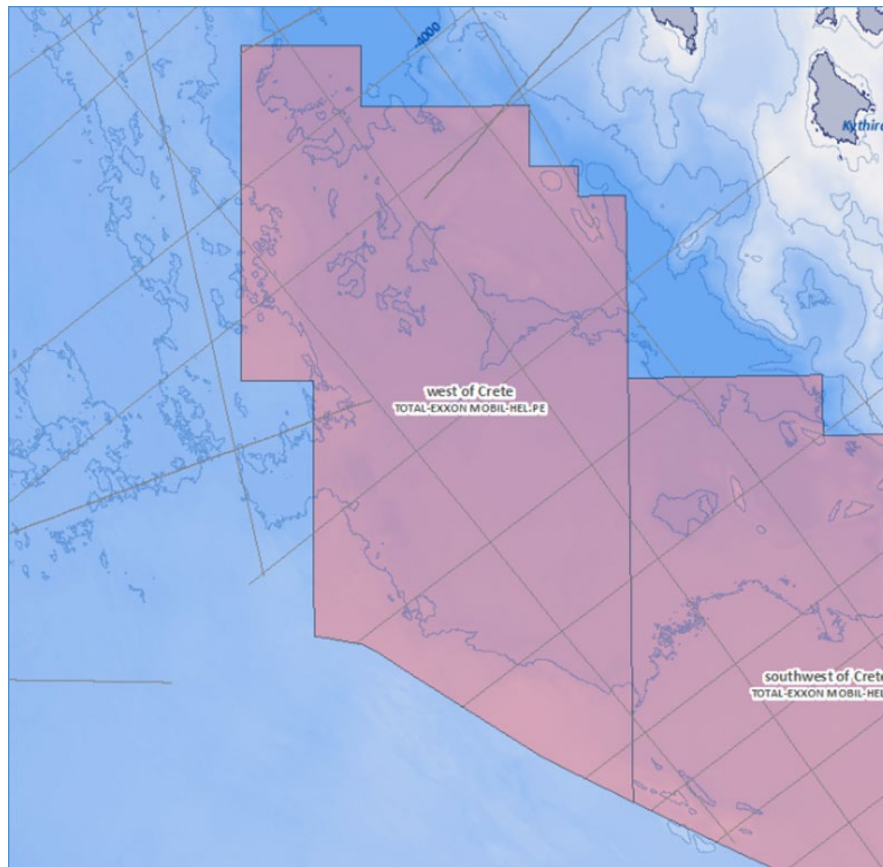
-Εικόνα 7.27: Τρισδιάστατο σκίτσο τεκτονικής δομής της Κεντρικής Μεσογειακής Ράχης και τα πεδία λάσπης OIimpi&SouthernBelt.Προτείνονται δύο διαφορετικά επίπεδα τροφοδοσίας των πεδίων λάσπης. Η τροφοδοσία του πεδίου OIimpi προέρχεται από σχετικά ρηχούς οριζόντες που συνοδεύονται από υψηλή περιεκτικότητα ρευστών ενώ του SouthernField προέρχεται από βαθύτερες πηγές λάσπης με χαμηλότερο περιεχόμενο υγρών, Huguen, etal., 2005. Πηγή :Εργασία με τίτλο «Οι συγκλίνουσεςλιθοσφαιρικές πλάκες και η ταυτόχρονη ύπαρξη πρίσματος επαύξεσης και λασποφαιστειών στην υπεράκτιοΝοτιά Κρήτη. Νέες προοπτικές εντοπισμού κοιτασμάτων υδρογονανθράκων στην Ελλάδα.» (Αντώνιος Φώσκολος Ηλίας Κονοφάγος ,AlainBruneton)

## **7.5 "BLOCKS" ΔΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ**

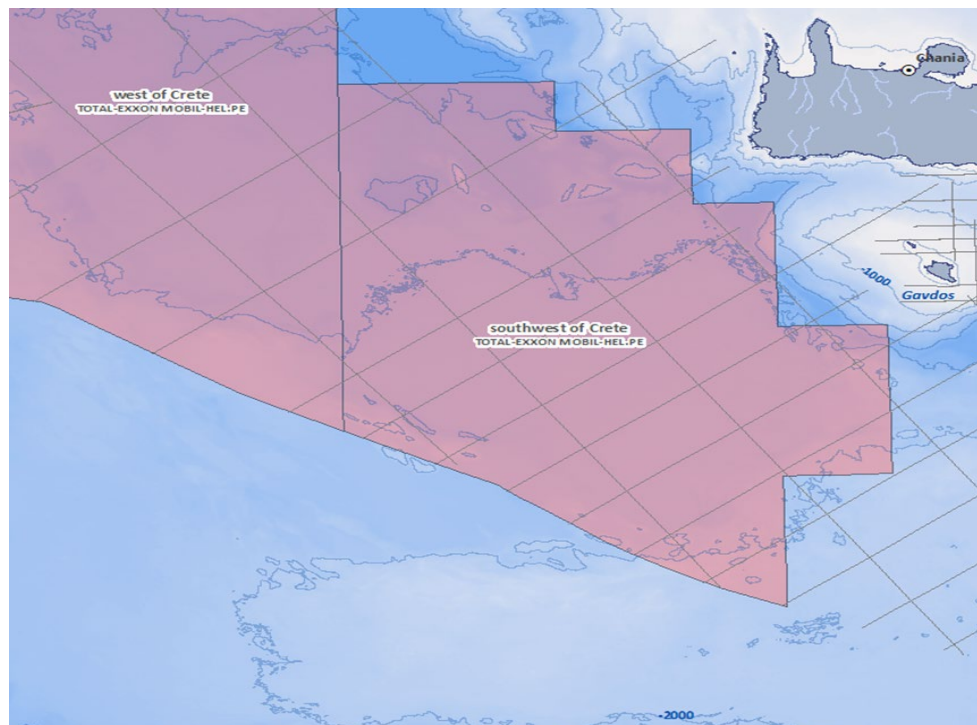
Η περιοχή ερευνών για υδρογονάνθρακες στη Νότια Κρήτη καταλαμβάνει τη θαλάσσια περιοχή που εκτείνεται, από το κανάλι Κρήτης έως της Κάσου προς τον κόλπο της Καλαμάτας, στην Πελοπόννησο. Οι λεκάνες των νησιωτικών τόξων, «γεννιούνται» εξαιτίας της σύγκλισης των πλακών οπού και βρίσκονται υπεράκτια, μεταξύ ενός εξωτερικού τόξου και της ηπειρωτικής χώρας. Αυτές οι περιοχές δεν θεωρούνται σημαντικές πετρελαϊκές επαρχίες, εν μέρει επειδή η χαμηλή ροή θερμότητας μπορεί να περιορίσει την θερμική δημιουργία υδρογονανθράκων. Η περιοχή «Back stor» Δυτικά της Κρήτης, που οριοθετείται προς τα Ανατολικά από τη ζώνη των Ελληνίδων και Δυτικά από την Μεσογειακή ράχη, παρουσιάζει ομοιότητα στην δομή-σύνθεση με την πλάκα της Απούλιας που βρίσκεται στα Βόρεια, η οποία οριοθετείται επίσης από τις Ελληνίδες και το πρίσμα της Καλαβρίας στα Ανατολικά και Δυτικά αντίστοιχα. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από μη συμβατική γεωμετρία και είναι "σκεπασμένη" από μια παχιά "κουβέρτα" εβαποριτών που κρύβει μια παλαιότερη ορεινή αλυσίδα. Αυτή η αλυσίδα ασβεστόλιθων και κλαστικών πετρωμάτων χαρακτηρίζεται από πολλές κορυφές. Ορισμένα από αυτά τα υψηλά επίπεδα πετρωμάτων πιθανόν υπέστησαν υπό αέριες εκθέσεις ή ανέπτυξαν μεσοζωικές συσσωρεύσεις αλατιού. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι εβαπορίτες της μετα-Μεσσήνιας περιόδου μπορούν επίσης να λειτουργήσουν ως δομές σφράγισης – καλύμματα.

Τα σεισμικά δεδομένα, που αποκτήθηκαν το 2012, παρουσιάζουν «φωτεινά» σημεία σε αυτές τις συσσωρεύσεις ανθρακικών αλάτων, που πιθανώς σχετίζονται με ιζήματα που φέρουν φυσικό αέριο. Οι αναλύσεις πλάτους και αντιστάθμισης θα είναι απαραίτητες για την εξερεύνηση του αερίου, ενώ η μοντελοποίηση θα βοηθήσει στην αξιολόγηση της θερμικής παραγωγής υδρογονανθράκων. Η ροή θερμότητας κυμαίνεται μεταξύ 40 και 60 mili watt ανά τετραγωνικό μέτρο. ( $mW / m^2$ ). Οι παλαιοζωικές λάσπες και τα ρηγά-θαλάσσια ανθρακικά άλατα, οι κρητιδικοί φλοιοί και οι νεογέννητοι σαπρόληθοι, καθώς και οι «λασποτήρες» είναι τρεις πιθανές πηγές πετρώματος όπου είναι δυνατή η παραγωγή πετρελαίου και αερίων που μπορεί να αντισταθμίσει τη χαμηλή θερμική ροή στα κύρια αποθέματα της λεκάνης όπου βαθιά ταφή (> 5χιλιομέτρων.).

Μια μελέτη την περίοδο του 2017 από την εταιρεία SPECTRUM σε συνεργασία με την I.O.N έφερε στο φως, έπειτα από ερμηνεία σεισμικών δεδομένων που είχε λάβει από σημεία ενδιαμέσου της περιοχής της Κρήτης και της Λιβύης, την ύπαρξη στην περιοχή νοτιοδυτικά της Κρήτης υφάλων καρστικών ασβεστόλιθων, με τον πρώτο ύφαλος εμφανίζει εκπληκτικές ομοιότητες με το κοίτασμα «ZOP» της λεκάνης του Ηροδότου, ενός κοιτάσματος με πιθανά αποθέματα 30 τρις. κ.π., έναντι 22 τρις. κ.π.



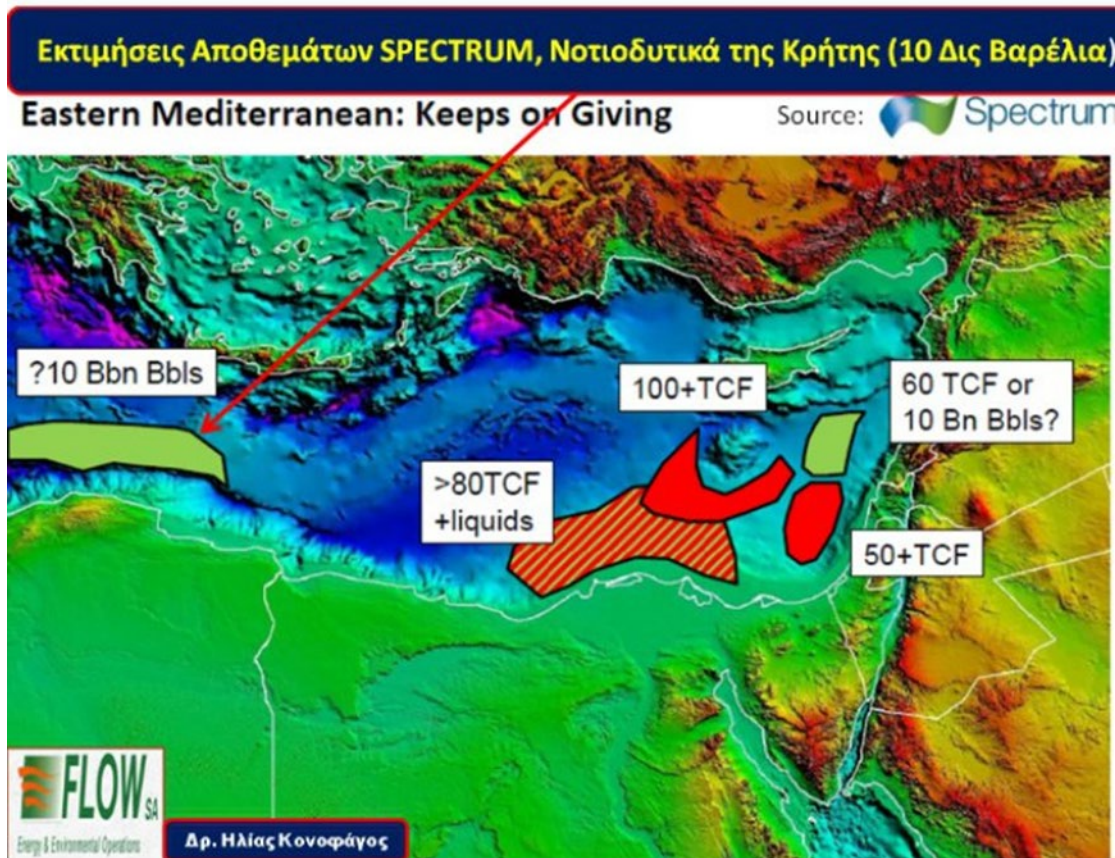
-Εικόνα 7.28: Το σημείο αυτό του περιέχει το κοίτα τυπου «ZOP» φέρει ένα μήκος της τάξεως τον 100 km και με έναν όγκο πολύ μεγαλύτερο από αυτόν του «ZOP»,., ενδέχεται και 10 φορές μεγαλύτερος. Στον παραπάνω χάρτη (χωρίς κλίμακα) απεικονίζονται το Block δυτικά της Κρήτης. Πηγή: «ExxonMobil Greek hydrocarbons, greekhydrocarbons.gr»



-Εικόνα 7.29: Στον παραπάνω χάρτη (χωρίς κλίμακα) απεικονίζονται η περιοχή (Block) της Νοτιοδυτικής Κρήτης. Πηγή: «ExxonMobilGreekhydrocarbons, greekhydrocarbons. gr»



Με βάση τις ανακαλύψεις αυτές, σημαντικές για τον επιστημονικό και ενεργειακό κλάδο, πιθανολογείται ότι σύντομα θα επέλθουν συμφωνίες για γεωτρητικές έρευνες και μελέτες, ξένων πετρελαϊκών εταιρειών στις περιοχές νότια, νοτιοδυτικά αλλά και νοτιοανατολικά της Κρήτης και επιπλέον οδηγώντας σε σημαντικές συνέργειες υποδομών τόσο στην έρευνα όσο και στην παραγωγή κοιτασμάτων στην Ανατολική Μεσόγειο. Να σημειωθεί ότι η μελέτη που πραγματοποίησε η εταιρεία SPECTRUM βοήθησε στην ανακάλυψη από την EXXONMOBIL καίριων υποθαλάσσιων κοιτασμάτων πετρελαίων, υπολογίζει ότι οι ανακαλύψεις πετρελαίου αντί φυσικού αερίου στην περιοχή νοτιοδυτικά της Κρήτης οι πόροι των οποίων είναι ικανό να ξεπεράσουν με μια 50% πιθανότητα τον «αστρονομικό» αριθμό των 10 δις βαρέλια.



-Εικόνα 7.30: Εκτιμήσεις Αποθεμάτων Spectrum, Νοτιοδυτικά της Κρήτης (10 δις Βαρέλια). Πηγή: «energypress.gr»

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8**

## **ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Ανακεφαλαιώνοντας, στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αναλύθηκαν τα διάφορα μικροαπολιθώματα οι πιο βασικοί όροι του πετρελαϊκού συστήματος, οι βασικότερες μέθοδοι εξερεύνησης υδρογονανθράκων, η συμβολή της μικροπαλαιοντολογίας στην έρευνα υδρογονανθράκων και τέλος υπήρξε εκτενής αναφορά στα πετρελαϊκά συστήματα Νότιας και Νοτιοδυτικής Κρήτης.

Στο πρώτο κεφάλαιο, αναλύθηκαν τα διάφορα μικροαπολιθώματα και ειδικότερα η τάξη των τρηματοφόρων που θεωρούνται τα σημαντικότερα στην εξερεύνηση των υδρογονανθράκων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναλύθηκαν οι υδρογονάνθρακες. Αναλυτικότερα, αναλύθηκε η γένεση των υδρογονανθράκων και μετά στοχεύσαμε στην δημιουργία του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Εν συνεχεία, έγινε αναφορά στους συμβατικούς και μη συμβατικούς υδρογονάνθρακες, στην παγκόσμια κατανομή του πετρελαίου και του φυσικού αερίου και τέλος στην αλυσίδα αξιών, όπου βασίζεται σε αυτή και όλη η πορεία ενός πετρελαϊκού συστήματος.

Στο τρίτο κεφάλαιο, περιγράφεται η δομή ενός πετρελαϊκού συστήματος όπου αναλύονται βασικές έννοιες όπως τα μητρικά πετρώματα, η μετανάστευση των υδρογονανθράκων, οι ταμειυτήρες, οι δομές σφράγισης, οι παγίδες. Τέλος, γίνεται ανάλυση των αποθεμάτων των υδρογονανθράκων. Γενικότερα, σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η βασική δομή ενός πετρελαϊκού συστήματος και πως αυτό διαμορφώνεται ανάλογα την εξερεύνηση.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, αναλύεται η συσχέτιση της μικροπαλαιοντολογίας με τα πετρελαϊκά συστήματα. Αναλύεται ότι η επιστήμη της μικροπαλαιοντολογίας, λόγω της μελέτης των απολυθωμάτων, συμβάλλουν στην μελέτη του παλαιοπεριβάλλοντος και κατ' επέκταση στην εύρεση κοιτασμάτων υδρογονανθράκων. Έπειτα, έγινε ανάλυση της συσχέτισης των μικροαπολιθωμάτων και της φυσικής ρύπανσης που προκαλείται από ένα κοίτασμα υδρογονανθράκων, λόγω της διαρροής.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, αναλύονται οι μέθοδοι εξερεύνησης που χρησιμοποιούνται στα πετρελαϊκά συστήματα. Η εξερεύνηση αρχίζει με την γεωλογική έρευνα, συνεχίζουν η εναέρια, η τοπογραφική, οι υδρογραφική και τέλος λαμβάνει χώρα η γεωφυσική έρευνα. Στην γεωφυσική έρευνα ακολουθείται μία σειρά μεθόδων όπως η μαγνητική, η βαρυτική, η μαγνητοτελλουρική, η γεωηλεκτρική, οι σεισμικές μέθοδοι και τέλος οι μέθοδοι των γεωτρητικών διαγραφιών. Οι μέθοδοι έρευνας είναι το βασικότερο εργαλείο στην εξερεύνηση των υδρογονανθράκων διότι με όλες αυτές τις μεθόδους η αναγνώριση και μελέτη του υπεδάφους γίνεται με τα βέλτιστα αποτελέσματα.

Στο έκτο κεφάλαιο, αναλύονται τα διάφορα είδη των γεωτρήσεων, τα γεωτρώπανα, οι πλατφόρμες παραγωγής καθώς και όλες οι μικροπαλαιοντολογικές τεχνικές που



χρησιμοποιούνται στην έρευνα των υδρογονανθράκων. Χαρακτηριστικό όλων των μικροπαλαιοντολογικών τεχνικών είναι ότι αναλύονται τα θρύμματα των μικροαπολιθωμάτων που βρίσκονται μέσα σε πυρήνες δειγματοληπτικών γεωτρήσεων. Ανάλογα με τον τύπο των ιζημάτων που απαρτίζουν τον πυρήνα της δειγματοληπτικής γεώτρησης, ακολουθείται και μία συγκεκριμένη μικροπαλαιοντολογική τεχνική. Όλα τα δείγματα εξετάζονται πάντα με την βοήθεια σύγχρονων οργάνων, κυρίως ηλεκτρονικών μικροσκοπίων.

Στο έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο, αναλύονται τα κοιτάσματα υδρογονανθράκων της Δυτικής και Νοτιοδυτικής Κρήτης. Περιγράφεται, αρχικά, το γενικό γεωλογικό καθεστώς στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, έπειτα γίνεται περιγραφή της γενικότερης στρωματογραφίας και της γεωλογικής εξέλιξης της νήσου Κρήτης. Εν συνεχεία γίνεται εστίαση στα νεογενή ιζήματα της Κρήτης, τα οποία αποτελούν και χαρακτηριστικό για τους υδρογονάνθρακες της περιοχής, και τέλος γίνεται ανάλυση στα “blocks” Δυτικής και Νοτιοδυτικής Κρήτης.

Από την μελέτη που έχει προκύψει για την δομή αυτής της πτυχιακής εργασίας γίνεται κατανοητό ότι η επιστήμη της Μικροπαλαιοντολογίας αναπτύσσεται ραγδαία και μπορεί να εφαρμοστεί αλλά και δώσει λύσεις σε πολλά βασικά θέματα καθώς μελετά το παλαιοπεριβάλλον και την βιοστρωματογραφία. Λόγω αυτού αποτελεί έναν ιδιαίτερα βασικό κλάδο για την εξερεύνηση των υδρογονανθράκων. Γενικότερα, η εξερεύνηση υδρογονανθράκων αλλά και η σωστή λειτουργία ενός πετρελαϊκού συστήματος είναι μία ιδιαίτερα πολύπλοκη και εξαιρετικά δαπανηρή διαδικασία. Μία ιδιαίτερη περιοχή εξερεύνησης υδρογονανθράκων αποτελεί η νήσος Κρήτη και ιδιαίτερα τα Δυτικά και Νοτιοδυτικά τμήματά της, κάτι που οφείλεται στην πολύπλοκη γεωλογία της.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:**

- Ανδρίτσος, Ν. (2008). *Ενέργεια και Περιβάλλον. Διδακτικές Σημειώσεις*. Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Γεωργακόπουλος Α. (2020). *Ερευνα και Εκμετάλλευση Υδρογονανθράκων. Διδακτικές Σημειώσεις*. Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ, Τομέας Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας.
- Γκίκα, Ι. (2017). *Βιοαποδόμηση βαρέως Κλάσματος πετρελαίου σε ίζημα, με χρήση βιοεπιφανειοδραστικών ουσιών. Διπλωματική Εργασία*. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείο Κρήτης.
- ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ Α.Ε. (Ε.Δ.Ε.Υ. Α.Ε.) (Ιούνιος 2018). *Στρατηγική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων του προγράμματος ερευνάς και εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων στις θαλάσσιες περιοχές "νοτιοδυτικά Κρήτης" και "δυτικά Κρήτης"*. Αθήνα.
- Ζαμπετάκη-Λέκκα, Α. & Ντρίνια, Χ. & Αντωνάρακου, Α. & Τσουρού, Θ. & Agata di Stefano & Baldassini, N. (2015). *Η Μικροπαλαιοντολογία και οι Εφαρμογές της (ο μικρόκοσμος της πέτρας)*. Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα. <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/3435>.
- Χρίστος, Η. (2013): *Η τεκτονο – στρωματογραφική εξέλιξη της Ν.Α Μεσογείου , με έμφαση στη λεκάνη του Ηροδότου, στην κατεύθυνση ανάπτυξης πεδίων υδρογονανθράκων. Μεταπτυχιακή Εργασία*, Τμήμα Γεωλογίας (ΜΔΕ); Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Καρώνης, Δ. & Λόης, Ε. & Ζαννίκος, Φ. (2014). *Προέλευση, Μηχανισμοί Συσσώρευσης, Έρευνα και Παραγωγή Αργού Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου. Διδακτικές Σημειώσεις*. Σχολή Χημικών Μηχανικών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Κασίνης, Σ. (2015). *Περί Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου: χημεία του πετρελαίου, τομείς πετρελαίου και φυσικού αερίου*, Λευκωσία: Εκδόσεις KASSINISINTERNATIONALCONSULTING.
- Κατή, Μ. (2017). *Πετρολογία Ιζηματογενών Πετρωμάτων*. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος ΕΚΠΑ: Εκδόσεις Τμήμα Τυπογραφείου Πανεπιστημιούπολης ΕΚΠΑ.
- Κιλμπασάνης, Σ. (2008): *Τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο μεταλλικών σχηματισμών στην περιοχή του Αρκαλοχωρίου της Κεντρικής Κρήτης. Διπλωματική Εργασία*. Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Ερευνητική Μονάδα Γεωλογίας (Τεκτονική, Στρωματογραφία Γεωλογία Περιβάλλοντος) Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Κράνης, Χ. (2018). *Εισαγωγή στην Έρευνα Πετρελαίων. Διδακτικές Σημειώσεις*. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας ΕΚΠΑ.
- Λόζιος, Σ. & Σκούρτσος, Ε. & Σούκης, Κ. (2017). *Γεωλογία Ελλάδας. Διδακτικές σημειώσεις*, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας ΕΚΠΑ.

- Μακρή, Β. & Τζαναβάρη, Ι. (2017). *Πετρελαϊκά συστήματα και έρευνες υδρογονανθράκων-το παράδειγμα της Δυτικής Ελλάδας. Διπλωματική Εργασία*. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος ΕΚΠΑ.
- Δρ. Νικολάου, Κ. (2018). *Πετρελαϊκά συστήματα & ανάλογα και η σημασία τους στην έρευνα & παραγωγή υδρογονανθράκων. PetrochemDay 2018, Energean Oil & Gas*. (2018). [https://petrochem.chemdays.gr/wp-content/uploads/2018/07/2.-Εξόρυξη\\_ENERGEAN\\_Δρ.-Νικολάου.pdf](https://petrochem.chemdays.gr/wp-content/uploads/2018/07/2.-Εξόρυξη_ENERGEAN_Δρ.-Νικολάου.pdf) (πρόσβαση 4 Μαΐου 2018).
- Ντρίνια, Χ. (1998). *Ιζηματογένεση στον Ανώτερο Καινοζωικό της Δυτικής Κρήτης- Η λεκάνη των Αποστόλων (Ρέθυμνο). Διδακτορική διατριβή*. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος ΕΚΠΑ.
- Παπανικολάου, Δ. (2015). *Γεωλογία της Ελλάδας*, Αθήνα: Εκδόσεις Πατάκη.
- Τριανταφύλλου, Μ. & Δήμιζα, Μ. (2012). *Μικροπαλαιοντολογία και Γεωπεριβάλλον*, Αθήνα: Εκδοτικός Όμιλος ΙΩΝ.
- Δρ. Τσελέντης, Α. & Παπαρασκευόπουλος, Π. (2013). *Εφαρμοσμένη Γεωφυσική*. Αθήνα: Εκδόσεις LiberalBooks
- Χατζάρας, Ι. Β. (2010). *Γεωτομή Εγκάρσια στις Ελληνίδες μεταξύ Δυτικής Κρήτης και νήσων Κυκλάδων. Διδακτορική διατριβή*. Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Anyadiiegwu, C.I.C. & Uwaezuoke, N. (2015). "Benthic Studies and Environmental Assessment in the Oil Producing Area of the Niger Delta". *American Journal of Environmental Protection*, Vol. 3, No. 1, 37-43.
- Bansal Suresh (2015) "THE TRUE ORIGIN OF HYDROCARBONS". <https://www.principia-scientific.org/the-true-origin-of-hydrocarbons.html/> (πρόσβαση 10 Απριλίου 2015)
- Bruneton, A., Konofagos, E., Foscolos, E.A., (2011) "Economic and Geopolitical Importance of Eastern Mediterranean gas fields for Greece and the E. U. Emphasis on the Probable Natural Gas Deposits Occurring in the Libyan Sea within the Exclusive Economic Zone of Greece". <https://www.rieas.gr/images/aoz1.pdf> (πρόσβαση 24 Ιουνίου 2011)
- Bruneton, A., Konofagos, E. Foscolos, E.A., (2012). "Cretan Gas Fields – A new perspective for Greece's hydrocarbon resources" [https://images.derstandard.at/2013/08/21/greece\\_crete.pdf](https://images.derstandard.at/2013/08/21/greece_crete.pdf) (πρόσβαση 30 Μαρτίου 2012)
- BP EXPLORATION "Guidelines for Drilling Operations (UK Operations) (GEN, SEMI, JAK and FIX Categories Only) Petrotechnical Shared Resource" [https://www.academia.edu/41181533/BP\\_EXPLORATION\\_Guidelines\\_for\\_Drilling\\_Operations\\_UK\\_Operations\\_GEN\\_SEMI\\_JAK\\_and\\_FIX\\_Categories\\_Only\\_Petrotechnical\\_Shared\\_Resource](https://www.academia.edu/41181533/BP_EXPLORATION_Guidelines_for_Drilling_Operations_UK_Operations_GEN_SEMI_JAK_and_FIX_Categories_Only_Petrotechnical_Shared_Resource)
- Duchemin, G., Mojtahid, M., Bicchi, E., Gaultier, M., Jorissen, F.J., BIAF, Angers University and LEBIM, Ile d'Yeu; J. Durrieu, Total; F. Galgani, IFREMER; L. Cazes, Ajilon Engineering; R. Camps, Total (2008). "A New Monitoring Tool For Assessing Environmental Impact Of Offshore Drilling Activities: Benthic Foraminifera" 2008 SPE International Conference on Health, Safety, and Environment in Oil and Gas Exploration and Production held in Nice, France, 15–17 April 2008.
- Foscolos, E.A, Konofagos, E., Bruneton, A., (2011). "The Occurrence Of Converging Plates, Mud Flow Volcanoes And Accretionary Prism Complexes In The

*Mediterranean Ridge. Their Relationship To Possible Hydrocarbon Accumulations Offshore Crete. A New Perspective For Greece's Oil And Natural Gas Resources "*  
<https://www.rieas.gr/images/aoz2.pdf>(πρόσβαση 24 Ιουνίου 2011)

- Z. Garfunkel. (2004) "*Origin of the Eastern Mediterranean basin: a reevaluation*" Hebrew University of Jerusalem Givat Ram, Institute of Earth Sciences.
- Hellenic Hydrocarbon Resources Management S.A (HHRM S.A.) (2018) [https://www.greekhydrocarbons.gr/en/WestOfCrete\\_en.html](https://www.greekhydrocarbons.gr/en/WestOfCrete_en.html)(πρόσβαση 2018)
- Hellenic Hydrocarbon Resources Management S.A (HHRM S.A.) (2018) [https://www.greekhydrocarbons.gr/en/SouthwestOfCrete\\_en.html](https://www.greekhydrocarbons.gr/en/SouthwestOfCrete_en.html)(πρόσβαση 2018)
- Maravelis, A., Panagopoulos, G., Piliotis, I., Pasadakis, N., Manoutsoglou, E., Zelilidis, A., (2013). "*Pre-Messinian (Sub-Salt) Source-Rock Potential on Back-Stop Basins of the Hellenic Trench System (Messara Basin, Central Crete, Greece)*" *Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP Energies nouvelles*, Vol. (2013), No. , pp. 1-19
- "*Petroleum Chemistry, How Hydrocarbons Burn*" (2015) <http://www.petroleum.co.uk/how-hydrocarbons-burn>(πρόσβαση 2015)
- Singh, A. (2008) "*Micropaleontology in Petroleum Exploration*" 7<sup>th</sup> International Conference & Exposition on Petroleum Geophysics. Hyderabad 2008.
- Dr. Suryanarayana, G., (2015) "*Role of Microfossils Specially Foraminifera in Hydrocarbon Exploration*" *International Journal & Magazine of Engineering, Technology, Management and Research A Peer Reviewed Open Access International Journal*, 2:4, pp. 196-199
- Willem Jan Zachariasse, Douwe J.J. van Hinsbergen, Anne Rutger Fortuin (2011). "*Formation and fragmentation of a late Miocene supradetachment basin in central Crete: implications for exhumation mechanisms of high-pressure rocks in the Aegean forearc*" <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2117.2011.00507.x>(πρόσβαση 05 Οκτωβρίου 2011)