



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ-ΕΛΠΙΔΑ Α. ΝΤΩΝΤΗ

**ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΤΗΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΜΕΧΡΙ ΤΟ
ΣΤΑΔΙΟ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ**

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Καθηγητής Γεωργακόπουλος Ανδρέας

*Στους γονείς μου και σε αυτούς που με τόση αγάπη
και υπομονή με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια.*

...αγαθά κόποις κτώνται

© Παρασκευή-Ελπίδα Α. Ντώντη, Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας 2015
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΤΗΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΜΕΧΡΙ ΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

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. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Περιεχόμενα

<i>Πρόλογος.....</i>	<i>vi</i>
<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή</i>	<i>1</i>
1.1 Εισαγωγικές έννοιες	1
1.2 Δομή εργασίας	7
1.3 Στόχοι	8
<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Κοιτασματολογία πετρελαίου και κύκλος ζωής πεδίου</i>	<i>9</i>
2.1 Βασικά Στοιχεία	9
2.1.1 Το μητρικό πέτρωμα (source rock)	9
2.1.2 Ο ταμιευτήρας (reservoir)	10
2.1.3 Το πέτρωμα κάλυμμα (seal ή cap rock)	10
2.1.4 Η δομή παγίδευσης (trap)	12
2.1.5 Η μετανάστευση (migration)	15
2.1.6 Η ωρίμανση (maturation) της οργανικής ύλης	16
2.1.7 Ο χρόνος (timing)	20
2.2 Ο κύκλος ζωής ενός πεδίου υδρογονανθράκων	21
2.2.1 Έρευνα υδρογονανθράκων (Exploration)	21
2.2.2 Επιβεβαίωση (Appraisal)	21
2.2.3 Ανάπτυξη του κοιτάσματος (Development)	22
2.2.4 Παραγωγή (Production)	23
<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Έρευνα υδρογονανθράκων.....</i>	<i>24</i>
3.1 Εισαγωγή.....	24
3.2 Είδη δομών παγίδευσης.....	24
3.3 Μέθοδοι έρευνας υδρογονανθράκων	29
3.3.1 Μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης	29
3.3.1.1 Δορυφορικές εικόνες.....	30
3.3.1.2. Βαρυτομετρικές διασκοπήσεις.....	30
3.3.1.3 Μαγνητικές διασκοπήσεις.....	32
3.3.1.4 Διασκοπήσεις με τα σεισμικά ανακλάσεως	34
3.3.1.5 Δέκτες	46
3.3.1.6 Διάταξη κοινού μέσου σημείου ανάκλασης (Common MidPoint)	46

3.3.1.7 Σεισμική Επεξεργασία	47
3.3.2 Μέθοδοι κατά τη διάτρηση	50
3.3.2.1 Γεωτρήσεις.....	50
3.3.2.2 Γεωτρήπανο (drilling rig).....	53
3.3.2.2.1 Σύστημα ισχύος (Power System)	55
3.3.2.2.2 Σύστημα ανύψωσης (Hoisting System).....	56
3.3.2.2.3 Σύστημα κυκλοφορίας ρευστού διάτρησης (Fluid/Circulating system).....	58
3.3.2.2.4 Περιστρεφόμενος εξοπλισμός (Rotating Equipment).....	61
3.3.2.2.5 Σύστημα αντiekρηκτικού μηχανισμού (BlowOut Preventer-BOP).....	70
3.3.2.3 Σύστημα MWD (Measurement While Drilling) και LWD (Logging While Drilling)	72
3.3.2.4 Αποτίμηση ιδιοτήτων ταμιευτήρα.....	74
3.3.2.4.1 Διαγραφίες πολφού (Mud-logging)	81
3.3.2.4.2 Γεωφυσικές καταγραφές μέσα σε γεώτρηση-“Διαγραφίες” (Logging).....	93
3.3.2.4.3 Πυρηνοληψία (coring)	106
3.3.2.4.4 Δείγματα ρευστών (fluid samples).....	114

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Στάδιο Επιβεβαίωσης Υδρογονανθράκων (Appraisal stage)119

4.1 Στάδιο Επιβεβαίωσης..... 119

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Στάδιο Ανάπτυξης και Παραγωγής Υδρογονανθράκων (Development & Production stage)122

5.1 Στάδιο Ανάπτυξης..... 122

5.2 Στάδιο Παραγωγής..... 123

Περίληψη125

Abstract126

Βιβλιογραφία127

Πρόλογος

Σήμερα, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο χαρακτηρίζονται ως δύο από τις σπουδαιότερες πηγές ενέργειας. Η έννοια του πετρελαίου, προερχόμενη από τις ελληνικές λέξεις *πέτρα* + *έλαιο*, έχει καθιερωθεί να αποκαλείται και μαύρος χρυσός λόγω του χρώματος και της αξίας τους, παρ' ότι τον τελευταίο καιρό έχει παρατηρηθεί σημαντική πτώση της τιμής του. Ιστορικά, η πρώτη γεώτρηση πετρελαίου πραγματοποιήθηκε από τους Κινέζους το 347 μ.Χ. Στην αρχαιότητα αυτό το πολύτιμο υγρό έβρισκε πολλές εφαρμογές, με χαρακτηριστικό παράδειγμα το υγρό πυρ που χρησιμοποιήθηκε κατά τα Βυζαντινά χρόνια.

Από την άλλη μεριά το φυσικό αέριο, χαρακτηριζόμενο και ως οικολογικό καύσιμο, για πρώτη φορά φαίνεται πως κίνησε το ενδιαφέρον πολύ νωρίτερα, περίπου μεταξύ 6000-7000 π.χ. στο σημερινό Ιράν. Για πρώτη φορά, περίπου στα 900 π. Χ στην Κίνα, ανοίχτηκαν φρέατα και έγινε μεταφορά με αγωγούς μπαμπού καθώς και χρήση του. Ερχόμενοι πιο κοντά στην Ευρώπη, και συγκεκριμένα στην Αγγλία, το αέριο αυτό ανακαλύφθηκε πολύ αργότερα το 1659. Τεράστια κατανάλωση του φυσικού αερίου παρατηρείται μετά τον Β' Παγκόσμιο πόλεμο και μέχρι σήμερα, ενώ τα τελευταία χρόνια αυξάνεται όλο και περισσότερο η ζήτησή του.

Το ερώτημα όμως που απασχολεί όλο και περισσότερο κόσμο είναι «Πόσο πετρέλαιο και φυσικό αέριο μπορεί να προσφέρει ακόμη η Γη;». Κανείς δεν μπορεί να δώσει μια σίγουρη και σαφή απάντηση σε αυτό το ερώτημα. Το μόνο σίγουρο όμως είναι ότι όλες οι πετρελαιοπαραγωγές χώρες έχουν ξεπεράσει το μέγιστο της παραγωγής τους και γι' αυτό το λόγο γίνονται όλο και περισσότερες έρευνες σε νέες περιοχές με πιθανά κερδοφόρα κοιτάσματα.

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε στον Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας του τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Το θέμα της εργασίας προτάθηκε από τον επιβλέποντα Καθηγητή μου, Ανδρέα Γεωργακόπουλο τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά για την συνεργασία μας καθώς και την αμέριστη βοήθειά και υποστήριξή του σε ζητήματα της εργασίας, της σχολής καθώς και του μέλλοντός μου.

Επιπλέον, θα ήθελα βαθύτατα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή Βασίλειο Μέλφο, για την υποστήριξή και τις πολύτιμες συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο τμήμα Γεωλογίας καθώς και για την μετέπειτα πορεία μου ως επιστήμονας.

Τέλος, εγκάρδιες ευχαριστίες οφείλονται στην οικογένειά μου που τόσα χρόνια με στηρίζουν με κάθε τρόπο και μέσο, και οι οποίοι κατάφεραν να πλάσουν έναν αξιόλογο νέο άτομο με

φιλοδοξίες και όνειρα για το μέλλον. Σε αυτούς που ήταν πάντα εκεί και θα συνεχίσουν να είναι για να με βλέπουν να στοχεύω ακόμη πιο ψηλά!

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγικές έννοιες

▪ Υδρογονάνθρακες

Οι υδρογονάνθρακες είναι εκείνες οι οργανικές ενώσεις που περιέχουν μόνο υδρογόνο (H) και άνθρακα (C), και έχουν γενικό τύπο C_xH_y . Κάθε μόριο υδρογονάνθρακα αποτελείται από μια σειρά ανθράκων που συνοδεύονται από αριθμό υδρογόνων. Οι υδρογονάνθρακες μπορούν να εμφανιστούν στην φύση ως στερεοί, υγροί και αέριοι.

Οι υδρογονάνθρακες ταξινομούνται ως εξής:

1. Ως προς τη μορφή της ανθρακικής αλυσίδας διακρίνονται σε:
 - a. Άκυκλους υδρογονάνθρακες, με τα άτομα άνθρακα να σχηματίζουν ανοικτές αλυσίδες και να είναι διαταγμένα σε σειρά (ευθεία αλυσίδα) ή σε διακλάδωση (διακλαδισμένη αλυσίδα)
 - b. Κυκλικούς υδρογονάνθρακες, με τα άτομα άνθρακα να σχηματίζουν κλειστές αλυσίδες (δακτυλίου).
2. Βάση της σύνδεσης των ατόμων άνθρακα μεταξύ τους οι υδρογονάνθρακες διακρίνονται σε:
 - a. Κορεσμένους υδρογονάνθρακες, όπου τα άτομα άνθρακα συνδέονται μεταξύ τους με απλό δεσμό
 - b. Ακόρεστους υδρογονάνθρακες, στους οποίους τουλάχιστον δύο άτομα άνθρακα συνδέονται μεταξύ τους με διπλό ή τριπλό δεσμό
 - c. Ρητίνες και ασφαλτένια
- Οι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες με τη σειρά τους διακρίνονται σε:
 - Παραφίνες, δηλαδή τα κανονικά αλκάνια και τα αλκάνια με πλευρικές αλυσείς. Τα κανονικά αλκάνια έχουν γενικό χημικό τύπο C_nH_{2n+2} και δεν παρουσιάζουν κανένα διπλό ή τριπλό δεσμό, ούτε και δακτύλιο. Οι υδρογονάνθρακες αυτοί με άτομα άνθρακα από 1 έως 4 εμφανίζονται ως αέριοι, από 5 έως 15 ως υγροί και από 16 και άνω ως

στερεοί (φυσικές παραφίνες). Τα κανονικά αλκάνια αποτελούν, κατά μέσο όρο, 15-20% του αργού πετρελαίου.

- Ναφθένια, δηλαδή τα κυκλοαλκάνια.

- Οι **ακόρεστοι υδρογονάνθρακες** περιλαμβάνουν τους:

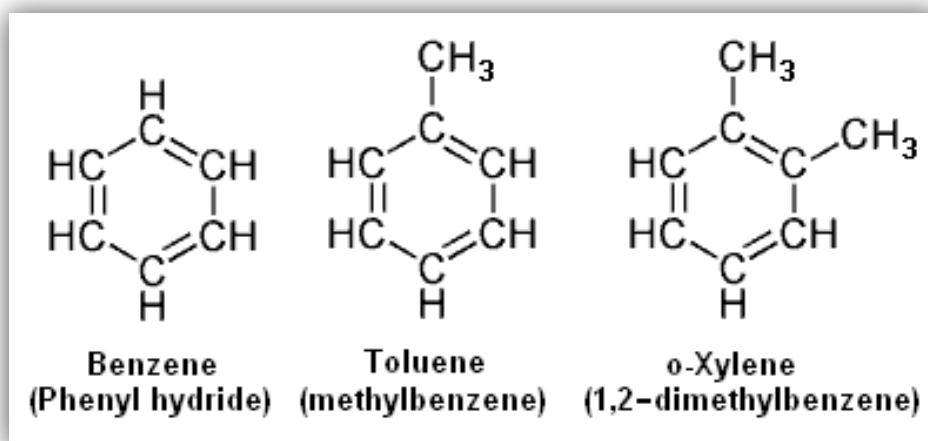
- Αρωματικούς υδρογονάνθρακες (με ευχάριστη οσμή). Τα μόρια τα όποια τους σχηματίζουν εμφανίζουν στη σύνθεσή τους μόνο αρωματικούς πυρήνες, συνήθως 5 ή 6, από τους οποίους ο πιο γνωστός είναι το Βενζόλιο (C_6H_6)¹. Αυτοί οι υδρογονάνθρακες παρουσιάζουν κάποιες ιδιαίτερες ιδιότητες που ονομάζονται “αρωματικός χαρακτήρας”, και έτσι κατατάσσονται σε ξεχωριστή κατηγορία. Οι κύριες ιδιότητες αρωματικού χαρακτήρα είναι: i) ο δακτύλιος του μορίου εμφανίζεται σταθερός ως κεκορεσμένος ενώ στην πραγματικότητα δεν είναι, ii) οι αρωματικές ενώσεις παρέχουν προϊόντα υποκατάστασης και όχι προσθήκης (σε αντίθεση με τις άκυκλες ακόρεστες ενώσεις), iii) οι αρωματικές αλκοόλες έχουν οξινότερο χαρακτήρα από ότι οι άκυκλες αλκοόλες και, iv) οι αρωματικές αμίνες σε σύγκριση με τις άκυκλες, χαρακτηρίζονται ως λιγότερο βασικές ως προς τη χημική συμπεριφορά.

Σύμφωνα με τον κανόνα Huckel: για να παρουσιάζει ένα επίπεδο κυκλικό συζυγιακό σύστημα αρωματικό χαρακτήρα, πρέπει να περιέχει $4n+2$ (n = φυσικός αριθμός) π ηλεκτρόνια. Εάν περιέχει $4n$ τότε πρόκειται για αντιαρωματικό (ασταθές). Επομένως, σύμφωνα με τον παραπάνω κανόνα, για να χαρακτηριστεί μιας ένωση αρωματική πρέπει τουλάχιστον ένα τμήμα της ένωσης να πληροί της ακόλουθες προϋποθέσεις: i) το σύστημα να είναι κυκλικό, ii) όλα τα άτομα του συστήματος να είναι ομοεπίπεδα, iii) να περιέχει το μέγιστο δυνατό αριθμό συζυγών πολλαπλών (συνήθως διπλών) δεσμών, iv) ο αριθμός των ηλεκτρονίων στα π συζυγή τροχιακά του συστήματος να καλύπτει τον τύπο $4n+2$, v) στη συζυγία καθώς και στον αριθμό των ηλεκτρονίων υπολογίζονται και τυχόν μονήρη ζεύγη, από ετεροάτομα που μετέχουν στο δακτύλιο².

- Ναφθενοαρωματικούς υδρογονάνθρακες, οι οποίοι αποτελούνται από έναν ή περισσότερους αρωματικούς πυρήνες και συνδυάζονται με ναφθενικούς υδρογονάνθρακες και αλκύλιαⁱ. Συχνά βρίσκονται μαζί με θειούχες ενώσεις.

ⁱΑλκύλια: πρόκειται για μονοσθενείς οργανικές ρίζες με γενικό χημικό τύπο C_nH_{2n+1} . Προκύπτουν από τους κορεσμένους υδρογονάνθρακες κατά την απομάκρυνση ενός ατόμου H και έτσι παραμένει ένας ελεύθερος δεσμός.

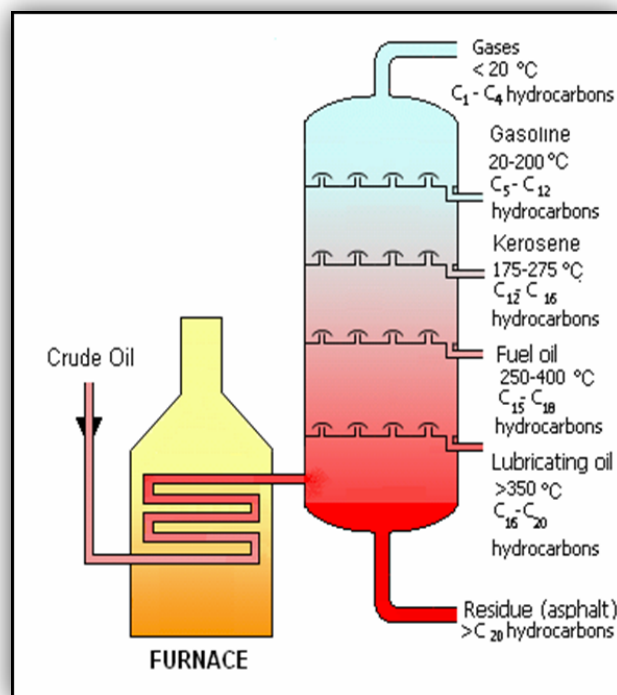
- Οι **ρητίνες** και τα **ασφαλτένια** είναι πολύπλοκες ενώσεις με υψηλό μοριακό βάρος. Είναι σχετικά πλούσιες σε N, S και O και αποτελούν το βαρύ κλάσμα των πετρελαίων. Αποτελούνται κυρίως από πολυκυκλικούς αρωματικούς ή ναφθenoαρωματικούς πυρήνες, καθώς και από αλυσούς με θείο, άζωτο ή οξυγόνο. Οι ρητίνες είναι πιο διαλυτές από τα ασφαλτένια στους οργανικούς διαλύτες και τα ελαφρά αλκάνια¹.



Πηγή: <http://en.citizendium.org/wiki/Hydrocarbons>

Οι υδρογονάνθρακες που περιέχουν πάνω από τέσσερα (4) άτομα άνθρακα είναι συνήθως αέριοι, σε κανονική θερμοκρασία περιβάλλοντος και ατμοσφαιρική πίεση. Αυτοί που περιέχουν από πέντε (5) μέχρι δεκαεννιά (19) άτομα άνθρακα είναι συνήθως υγροί, και αυτοί που περιέχουν είκοσι (20) ή παραπάνω είναι στερεοί ή ημι-στερεοί.

Το ακόλουθο σχήμα στο οποίο αναπαριστάται η κλασματική απόσταξη του πετρελαίου, δείχνει τους διαφορετικούς τύπους κλασμάτων υδρογονανθράκων που λαμβάνονται από το πετρέλαιο³.



Πηγή: Γεωργακόπουλος Ανδρέας, Ηλεκτρονικές Σημειώσεις μαθήματος “Κοιτασματολογία Πετρελαίου” (Οργανική Χημεία), Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2004

Οι υδρογονάνθρακες αποτελούν πρωταρχική πηγή ενέργειας για τους σύγχρονους πολιτισμούς. Η επικρατέστερη χρήση τους είναι σαν υγρά καύσιμα. Στην στερεή τους κατάσταση, παίρνουν την μορφή ασφάλτου.

Σήμερα ως προωθητικό για τα σπρέι αεροζόλ, χρησιμοποιείται κατά προτίμηση μίγμα πτητικών υδρογονανθράκων, σε αντίθεση με τους χλωροφθοράνθρακες. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της ισχυρής επίδρασης των τελευταίων στο στρώμα του όζοντος.

Το μεθάνιο CH_4 και το αιθάνιο C_2H_6 σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος εμφανίζονται σε αέρια μορφή, και δεν μπορούν να υγροποιηθούν εύκολα μόνο από την επίδραση της πίεσης. Από την άλλη μεριά, το προπάνιο C_3H_8 μπορεί να υγροποιηθεί ευκολότερα και βρίσκεται σε υγρή μορφή μέσα σε φιάλες προπανίου. Το βουτάνιο C_4H_{10} υγροποιείται τόσο εύκολα, που μπορεί να λειτουργήσει ως ασφαλές πτητικό καύσιμο σε μικρούς αναπτήρες τσέπης. Το πεντάνιο C_5H_{12} σε θερμοκρασία δωματίου είναι ένα διαυγές υγρό, που συνήθως χρησιμοποιείται στην χημεία και στην βιομηχανία ως ένας ισχυρός σχεδόν άοσμος διαλύτης κεριών και οργανικών ενώσεων υψηλού μοριακού βάρους, συμπεριλαμβανομένων των γράσων. Τέλος, το εξάνιο C_6H_{14} είναι επίσης ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος μη-πολικός, μη-αρωματικός διαλύτης. Αποτελεί επίσης σημαντικό κλάσμα της κοινής βενζίνης³.

Σήμερα, η πλειονότητα των υδρογονανθράκων εντοπίζεται στα φυσικά αποθέματα αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου. Οι υδρογονάνθρακες αυτών των κοιτασμάτων προέρχονται από την αποσύνθεση και τον ανασχηματισμό οργανικής ύλης η οποία πριν πάρα πολλά χρόνια είχε θαφτεί στο υπέδαφος.

▪ Συμβατικοί υδρογονάνθρακες

Πετρέλαιο

Η λέξη πετρέλαιο προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις πέτρα + έλαιο, δηλαδή λάδι της πέτρας (στα λατινικά petroleum). Πολλές φορές στην απλή καθημερινή γλώσσα αποκαλείται ως μαύρος χρυσός ή Τσάι του Τέξας⁴.

Το πετρέλαιο είναι ένα φυσικώς εμφανιζόμενο υγρό το οποίο εντοπίζεται σε πορώδη πετρώματα τα οποία εντοπίζονται σε περιοχές των ανώτερων στρωμάτων του φλοιού της Γης. Αποτελείται από ένα περίπλοκο μίγμα υδρογονανθράκων με μικρότερες ποσότητες οργανικών μορίων που περιέχουν θείο, οξυγόνο άζωτο και μερικά μέταλλα⁵. Το χρώμα του συνήθως είναι μαύρο ή βαθύ καφέ, ή κιτρινωπό ή πρασινωπό⁶. Ωστόσο ως προς την εμφάνισή μπορεί να ποικίλει, ανάλογα με την σύστασή του. Το αργό πετρέλαιο κατατάσσεται βάση της μέση πυκνότητας του, η οποία μετράται πάντοτε σε μονάδες API (American Petroleum Institute Gravity). Η μονάδα αυτή αποτελεί ένα μέτρο για τη μέτρηση της πυκνότητας, σε σχέση με το νερό. Εάν η τιμή της είναι μεγαλύτερη του 10 τότε το πετρέλαιο είναι ελαφρύτερο από το νερό και επιπλέει πάνω σε αυτό, ενώ αν είναι μικρότερη της τιμής 10 τότε είναι βαρύτερο και καθιζάνει. Η πυκνότητα σε API δεν έχει μονάδες, αλλά συνήθως αναφέρεται σε βαθμούς (degrees).

Το αργό πετρέλαιο μπορεί να θεωρηθεί ως ελαφρύ (light) αν έχει χαμηλή πυκνότητα ή βαρύ (heavy oil) εάν εμφανίζει υψηλή πυκνότητα. Να σημειωθεί ότι η “πυκνότητα”(density), η οποία συμβολίζεται με το γράμμα ρ , ισούται με το λόγος m/V , όπου m είναι η μάζα και V ο όγκος (σε kg/m^3). Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως π.χ. στη βιομηχανία υδρογονανθράκων στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, χρησιμοποιείται και ο όρος “ειδικό βάρος” (specific weight), ο οποίος ορίζεται ως το βάρος ανά μονάδα όγκου ενός υλικού και συμβολίζεται με το γράμμα γ . Για το ειδικό βάρος ισχύει η σχέση $\gamma = \rho g$, όπου ρ είναι η πυκνότητα του υλικού σε kg/m^3 και g η επιτάχυνση της βαρύτητας σε m/s^2 . Ο όρος ειδικό βάρος συγχέεται συχνά με τον όρο “ειδική βαρύτητα” (specific gravity), η οποία ορίζεται ως ο λόγος της πυκνότητας ενός υλικού προς τη πυκνότητα του νερού. Συνεπώς, η ειδική βαρύτητα είναι ένα αδιάστατο μέγεθος, σε αντίθεση με το

ειδικό βάρος. Στα αέρια ο όγκος αναφοράς είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας σε θερμοκρασία 20°C και πίεση 101.325 kPa ($\rho=1.205 \text{ kg/m}^3$).

Στις Η.Π.Α. ως ελαφρύ αργό πετρέλαιο (light crude oil) θεωρείται αυτό με πυκνότητα που κυμαίνεται από 840 kg/m^3 μέχρι 816 kg/m^3 (37°API gravity μέχρι 42°API gravity). Εκτός Η.Π.Α., ως ελαφρύ αργό πετρέλαιο θεωρείται αυτό με πυκνότητα μεταξύ 32°API (865 kg/m^3) και 42°API (816 kg/m^3). Το πετρέλαιο αναφοράς West Texas Intermediate (WTI) έχει API gravity 39.6° (827 kg/m^3), ενώ το Brent Crude που χρησιμοποιείται ως πετρέλαιο αναφοράς στην Ευρώπη έχει API gravity 38.06° (835 kg/m^3).

Αντίστοιχα, το βαρύ αργό πετρέλαιο (heavy crude oil) έχει πυκνότητα μικρότερη των 20° API, ενώ το πολύ βαρύ αργό (extra heavy oil) παρουσιάζει πυκνότητα μικρότερη των 10° API (δηλαδή μεγαλύτερη των 1000 kg/m^3). Τα μεγαλύτερα αποθέματα βαρέως αργού πετρελαίου βρίσκονται βορείως του ποταμού Orinoco στη Βενεζουέλα.

Τέλος τα πετρώματα κατατάσσονται και με βάση την περιεκτικότητα τους σε θείο (S). Σύμφωνα με αυτή την κατάταξη, το πετρέλαιο μπορεί να αναφέρεται ως γλυκό (sweet) αν παρουσιάζει χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (<0,5%) ή ως ξινό (sour) εάν η περιεκτικότητα σε θείο είναι μεγαλύτερη του 0,5%².

Φυσικό αέριο

Το φυσικό αέριο αποτελείται από ένα μίγμα αέριων υδρογονανθράκων. Βασικό συστατικό του είναι το μεθάνιο ενώ συνυπάρχουν και σημαντικές ποσότητες αιθανίου, προπανίου και βουτανίου καθώς και διοξειδίου του άνθρακα, αζώτου, οξυγόνου, υδρογόνου, ηλίου και θείου⁷.

Έτσι το φυσικό αέριο διακρίνεται σε δύο κατηγορίες:

1. Το υγρό φυσικό αέριο, που συμπεριλαμβάνει και άλλους υδρογονάνθρακες εκτός από το μεθάνιο
2. Το ξηρό φυσικό αέριο, που δεν περιέχει άλλους υδρογονάνθρακες εκτός από το μεθάνιο.

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά του το φυσικό αέριο είναι άχρωμο, άοσμο, ελαφρύτερο από το νερό και τον αέρα. Η χαρακτηριστική οσμή που μπορεί να εμφανίζει δίνεται τεχνικά ώστε να γίνεται αντιληπτό σε τυχόν διαρροές⁸.

1.2 Δομή εργασίας

Η εργασία διακρίνεται σε πέντε (5) κεφάλαια στα οποία γίνεται αναλυτική καταγραφή και μελέτη όλων εκείνων των στοιχείων που επηρεάζουν από το στάδιο της Αναζήτησης μέχρι και το στάδιο της Παραγωγής των υδρογονανθράκων.

Το **πρώτο κεφάλαιο** αποτελείται από επεξήγηση των βασικών όρων, για την καλύτερη κατανόηση πριν την εισαγωγή στο κύριο θέμα της εργασίας. Ορίζονται οι έννοιες του πετρελαίου και φυσικού αερίου, καθώς και γενικότερα η χημεία των υδρογονανθράκων.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** γίνεται εκτενής αναφορά στα βασικά στοιχεία από τα οποία πρέπει να αποτελείται μια ιζηματογενής λεκάνη έτσι ώστε να χαρακτηριστεί ως επαρχία πετρελαίου που φέρει υδρογονάνθρακες. Μέσα από την μελέτη που έχει γίνει διακρίνονται τα “λεπτά” σημεία σύμφωνα με τα οποία η λεκάνη μπορεί να οδηγήσει σε συσσώρευση ή ακόμη και σε διαφυγή των πολύτιμων υδρογονανθράκων. Επίσης, γίνεται μια πρώτη αναφορά στον κύκλο ζωής ενός πεδίου υδρογονανθράκων, με λεπτομερέστερη μελέτη σε παρακάτω κεφάλαια. Η εργασία αναφέρεται σε αυτά τα κεφάλαια διότι σε αυτά είναι κρίσιμης σημασίας η παρουσία του γεωλόγου.

Στο **τρίτο κατά σειρά κεφάλαιο** πραγματοποιείται μελέτη των μεθόδων και των τεχνικών που χρησιμοποιούνται στο στάδιο της Αναζήτησης των υδρογονανθράκων. Οι μέθοδοι αυτές διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: στις μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης και στις μεθόδους που πραγματοποιούνται κατά τη διάτρηση. Και στις δύο περιπτώσεις γίνεται αναλυτική καταγραφή των χαρακτηριστικών, του απαραίτητου εξοπλισμού καθώς και τον πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν. Εξαιρετικά μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει το υπό-κεφάλαιο που αναφέρεται στην αποτίμηση των ιδιοτήτων του ταμιευτήρα, καθώς αυτές επηρεάζουν σημαντικά την εξέλιξη των ερευνητικών μεθόδων καθώς και την πορεία των σταδίων που θα ακολουθήσουν.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** γίνεται αναφορά στο επόμενο στάδιο από αυτό της Αναζήτησης, δηλαδή στο στάδιο της Επιβεβαίωσης όπου καταγράφονται οι εργασίες που λαμβάνουν χώρα έτσι ώστε να επιβεβαιωθεί η ύπαρξη ενός κερδοφόρου κοιτάσματος. Επιπλέον, γίνονται εμφανείς οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι επιστήμονες.

Τέλος στο **πέμπτο κεφάλαιο**, γίνει επεξηγηματική αναφορά στο στάδιο Ανάπτυξης του πεδίου υδρογονανθράκων. Σε αυτό ορίζεται με αρκετές λεπτομέρειες το ‘σχέδιο ανάπτυξης’, βάση του οποίου ορίζεται ο αριθμός των γεωτρήσεων, τα σχέδια των εγκαταστάσεων κ.α. καθώς επίσης εξηγείται και η προσομοίωση παραγωγής βάση του μοντέλου του ταμιευτήρα. Από αυτό το

μοντέλο, δίνονται σημαντικές πληροφορίες όπως για παράδειγμα τη ποσότητα των υδρογονανθράκων και του νερού που μπορούν να ανακτηθούν. Επιπλέον εξηγείται το στάδιο Παραγωγής των υδρογονανθράκων όπου γίνεται αναφορά στις πρώτες δραστηριότητες που πραγματοποιούνται στο πεδίο κατά αυτό το στάδιο. Επιπρόσθετα, αναλύει τις δραστηριότητες από τη στιγμή απομάκρυνσης των υδρογονανθράκων από το υπέδαφος μέχρι και τη στιγμή που αυτοί θα μεταφερθούν σε ειδικές εγκαταστάσεις και θα ξεκινήσει η παραγωγική διαδικασία. Σε αυτό το σημείο πλέον, γίνεται φανερό εάν η αρχική πρόβλεψη της συμπεριφοράς του πεδίου που βασίστηκε στο μοντέλο του ταμειυτήρα θα είναι επιτυχημένη.

1.3 Στόχοι

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η επισκόπηση των τεχνικών που χρησιμοποιούνται από το στάδιο της Αναζήτησης μέχρι το στάδιο της Παραγωγής υδρογονανθράκων. Μέσα από τη λεπτομερή καταγραφή τους δίνεται στον αναγνώστη η δυνατότητα να κατανοήσει σε βάθος τις εργασίες που πραγματοποιούνται και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται έτσι ώστε να επιτευχθεί τόσο ο εντοπισμός ενός κερδοφόρου κοιτάσματος υδρογονανθράκων όσο και η βέλτιστη παραγωγή του.

Στόχος των πέντε κεφαλαίων από τα οποία αποτελείται η εργασία είναι η εις βάθος κατανόηση τόσο της κοιτασματολογίας πετρελαίου με τις δομές των μητρικών πετρωμάτων καθώς και της φιλοξενίας και παγίδευσης του πετρελαίου, όπως επίσης και με των πιο τεχνικών εννοιών όπως ο εξοπλισμός από τον οποίο αποτελείται κάθε γεώτρηση ή οι διατάξεις οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό υπεδάφινων δομών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Κοιτασματολογία πετρελαίου και κύκλος ζωής πεδίου

2.1 Βασικά Στοιχεία

Τα επτά (7) βασικά στοιχεία, για να θεωρηθεί μια ιζηματογενής λεκάνη ως επαρχία πετρελαίου είναι τα παρακάτω.

2.1.1 Το μητρικό πέτρωμα (source rock)

Ως μητρικά πετρώματα χαρακτηρίζονται εκείνοι οι ιζηματογενείς σχηματισμοί που είναι πλούσιοι σε οργανική ύλη και κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης μπορούν να παράγουν πετρέλαιο ή φυσικό αέριο⁵. Τυπικά μητρικά πετρώματα, συνήθως σχίστες ή ασβεστόλιθοι, περιέχουν περίπου 1% οργανικής ύλης και τουλάχιστον 0.5 ολικού οργανικού άνθρακα (TOC).

Τα θαλάσσια προέλευσης μητρικά πετρώματα έχουν την τάση να παράγουν πετρέλαιο, ενώ τα χερσαίας προέλευσης να παράγουν αέριο. Η διατήρηση της οργανικής ύλης, χωρίς αυτή να αλλοιωθεί, είναι εξαιρετικά σημαντική για την δημιουργία ενός μητρικού πετρώματος καλής ποιότητας, καθώς και απαραίτητη για ένα ολοκληρωμένο πετρελαϊκό σύστημα⁹. Για να επιτευχθεί αυτή η διατήρηση, το νερό του κατώτερου πυθμένα και του ενδιάμεσου τμήματος του ιζηματογενούς σχηματισμού, πρέπει να έχει χαμηλές ή ίσες με το μηδέν τιμές περιεκτικότητας σε οξυγόνο. Τέτοιες συνθήκες μπορούν να δημιουργηθούν από την υπερπαραγωγή οργανικού υλικού ή σε περιβάλλοντα όπου η ροή του νερού είναι μικρή και οδηγεί σε στασιμότητα.

Τα διάφορα είδη οργανικής ύλης οδηγούν σε δημιουργία διαφορετικών ειδών πετρελαίου. Για παράδειγμα, οργανική ύλη πλούσια σε μαλακούς και κηρώδεις ιστούς, όπως αυτή που συναντάται στα φύκη, συνήθως συμβάλει κατά το στάδιο της ωρίμανσης στην δημιουργία πετρελαίου συνδεδεμένο με αέριο. Το αέριο από την άλλη μεριά, συνήθως προέρχεται από την ωρίμανση ξυλωδών ιστών⁵.

Υπό κατάλληλες συνθήκες, τα μητρικά πετρώματα μπορούν να λειτουργήσουν και ως ταμιευτήρες, όπως στην περίπτωση των ταμιευτήρων φυσικού αερίου σε σχίστη⁹.

2.1.2 Ο ταμιευτήρας (reservoir)

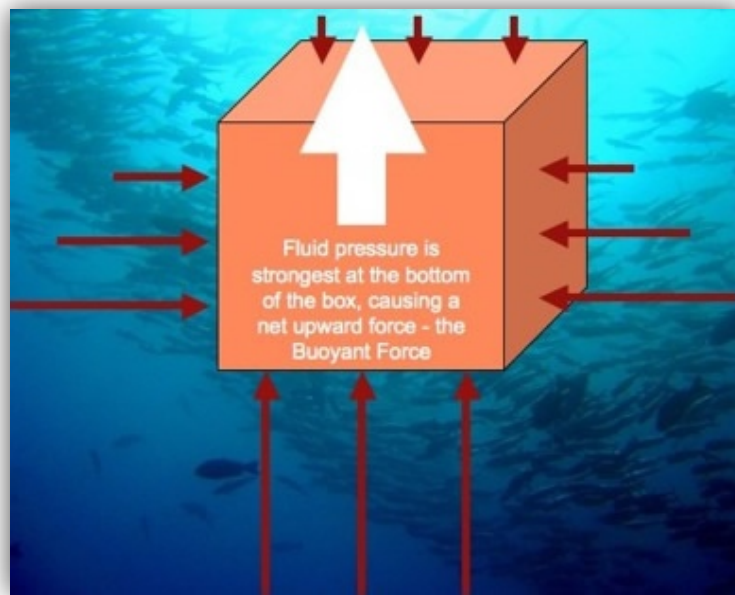
Ως ταμιευτήρας θεωρείται το πέτρωμα συν ο κενός χώρος που υπάρχει μέσα σε μια δομή παγίδευσης⁵. Τα πετρώματα αυτά συνήθως είναι χονδρόκοκοι ψαμμίτες ή ανθρακικά πετρώματα και αυτό διότι τα ιζηματογενή πετρώματα εμφανίζουν υψηλότερο πορώδες από τα περισσότερα πυριγενή και μεταμορφωμένα και σχηματίζονται σε θερμοκρασίες που οι υδρογονάνθρακες μπορούν να διατηρηθούν.

Βιώσιμοι ταμιευτήρες απαντώνται σε πολλά σχήματα και μεγέθη και οι εσωτερικές τους ιδιότητες (πορώδες και διαπερατότητα) ποικίλουν σε μεγάλο βαθμό^{5,10}.

2.1.3 Το πέτρωμα κάλυμμα (seal ή cap rock)

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το πετρέλαιο και το αέριο έχουν μικρότερη πυκνότητα από το νερό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι υδρογονάνθρακες αυτοί, κατά την μετανάστευση τους από το μητρικό πέτρωμα (πρωτογενής μετανάστευση), να οδηγούνται προς τις ανώτερες στάθμες του σχηματισμού. Η ανοδική πορεία θα συνεχιστεί λόγω του φαινομένου της άνωσης μέχρι τη στιγμή που οι υδρογονάνθρακες θα συναντήσουν κάποιο αδιαπέρατο πέτρωμα κάλυμμα⁵.

Άνωση ονομάζεται η δύναμη που ασκούν τα υγρά σε κάθε σώμα που βυθίζεται μέσα σε αυτά. Η κατεύθυνσή της είναι πάντα αντίθετη από το βάρος του σώματος. Διακρίνεται σε στατική (buoyancy) και σε δυναμική (lift). Όταν το βάρος του σώματος είναι μικρότερο του βάρους του εκτοπίσματός του, τότε το σώμα ανέρχεται¹¹.



Πηγή: <http://www.spacegrant.montana.edu/msiproject/blimp.html>

Το πέτρωμα κάλυμμα είναι λεπτόκοκκο ή κρυσταλλικό, χαμηλής διαπερατότητας. Τυπικά παραδείγματα περιλαμβάνουν τις αργίλους τους κερατολίθους, τους ανυδρίτες, τα στρώματα κρυσταλλικού άλατος (αλίτη) ή οποιοδήποτε άλλο στεγανό πέτρωμα⁵. Οι δομές αυτές σχηματίζουν ένα κάλυμμα πάνω και γύρω από το πέτρωμα ταμιευτήρα έτσι ώστε τα ρευστά να μην μπορούν να μεταναστεύσουν πέρα από αυτόν.

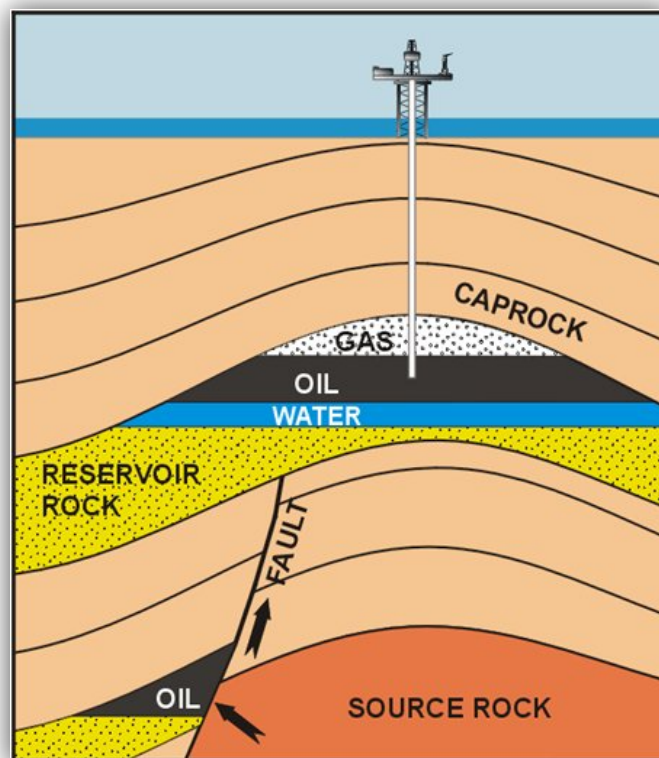
Η διαπερατότητα του καλύμματος, για να μπορέσει να συγκρατήσει τα ρευστά κατά την διάρκεια του γεωλογικού χρόνου, πρέπει να είναι $\sim 10^6 - 10^8$ darcies¹².

Η παρουσία του πετρώματος - καλύμματος είναι κρίσιμης σημασίας για την συγκέντρωση πετρελαίου. Εάν απουσιάζει, το πετρέλαιο θα συνεχίσει την ανοδική του πορεία μέχρι να φτάσει στην επιφάνεια της Γης. Εκεί, εξαιτίας διαφόρων χημικών αντιδράσεων (π.χ. ύπαρξη βακτηριδίων τα οποία έρχονται σε επαφή με το οξυγόνο και οξειδώνονται), το πετρέλαιο θα καταστραφεί και θα χάσει την αξία του⁵.

2.1.4 Η δομή παγίδευσης (trap)

Ο σχηματισμός που παρέχει την δυνατότητα φιλοξενίας στους υδρογονάνθρακες και καλύπτεται από έναν σχετικά αδιαπέρατο σχηματισμό μέσω του οποίου οι υδρογονάνθρακες δεν μπορούν να μεταναστεύσουν, ονομάζεται δομή παγίδευσης¹³.

Το πετρέλαιο που κινείται ανοδικά μέσα από μια σειρά ιζηματογενών πετρωμάτων δεν θα μπορέσει να παγιδευτεί, ακόμα και αν υπάρχει κάποιο πέτρωμα κάλυμμα το οποίο είναι κοίλο προς τα επάνω. Το πετρέλαιο έτσι, θα ρέει κατά μήκος της βάσης του καλύμματος έως την άκρη του και στην συνέχεια θα ανέβει προς την επιφάνεια⁵.



Πηγή: <http://www.elateafrica.org/elate/specialtopics/ugandaoil/source.html>

Ως πετρελαικό σύστημα ορίζεται το σύνολο των γεωλογικών στοιχείων και διεργασιών που είναι απαραίτητα για την συσσώρευση και την δημιουργία κοιτάσματος υδρογονανθράκων. Αυτό το σύνολο αποτελείται από:

1. Το μητρικό πέτρωμα
2. Τον ταμιευτήρα
3. Το πέτρωμα κάλυμμα

4. Την παγίδα (αντίκλινο, ρήγματα, κτλ)
5. Την μετανάστευση
6. Τον χρόνο²

Το Πετρελαϊκό σύστημα περιλαμβάνει δύο διαδικασίες:

1. Το σχηματισμό παγίδας
2. Τη παραγωγή-μετανάστευση-συσσώρευση υδρογονανθράκων

Τα παραπάνω στοιχεία και διαδικασίες πρέπει να τοποθετηθούν σωστά σε χρόνο και χώρο, έτσι ώστε η οργανική ύλη που υπάρχει σε ένα μητρικό πέτρωμα να μπορεί να μετατραπεί σε ικανοποιητική ποσότητα πετρελαίου¹⁴. Για την μελέτη ενός τέτοιου συστήματος, απαιτείται δυναμικό μοντέλο καθώς αναφέρεται σε γεωλογικό χρόνο.

Πριν όμως από την μελέτη του συστήματος, πρέπει να γίνει ο εντοπισμός του. Οποιαδήποτε ποσότητα πετρελαίου, ακόμα και μικρή, αποτελεί ένδειξη για την παρουσία πετρελαϊκού συστήματος. Για τον εντοπισμό του συστήματος απαιτούνται τα εξής στάδια:

ΣΤΑΔΙΟ	ΕΡΓΑΣΙΑ								
1	Εύρεση κάποιων στοιχείων που αποδεικνύουν την παρουσία πετρελαίου								
2	Υπολογισμός του μεγέθους του πετρελαϊκού συστήματος ακολουθώντας τα εξής βήματα:								
	<table><tr><th>Βήμα</th><th>Εργασία</th></tr><tr><td>a</td><td>Χρησιμοποιώντας γεωχημικά χαρακτηριστικά και στρωματογραφικά στοιχεία, γίνεται ομαδοποίηση των γενετικά συσχετιζόμενων στοιχείων με το πετρέλαιο.</td></tr><tr><td>b</td><td>Γίνεται συσχέτιση του μητρικού πετρώματος (προσδιορισμός του μητρικού πετρώματος του πετρελαίου)</td></tr><tr><td>c</td><td>Εντοπισμός της ευρύτερης περιοχής του ενεργού μητρικού πετρώματος, εξαιτίας του οποίου εμφανίζονται τα στοιχεία που είναι γενετικά συσχετιζόμενα με τα πετρελαϊκά στοιχεία.</td></tr></table>	Βήμα	Εργασία	a	Χρησιμοποιώντας γεωχημικά χαρακτηριστικά και στρωματογραφικά στοιχεία, γίνεται ομαδοποίηση των γενετικά συσχετιζόμενων στοιχείων με το πετρέλαιο.	b	Γίνεται συσχέτιση του μητρικού πετρώματος (προσδιορισμός του μητρικού πετρώματος του πετρελαίου)	c	Εντοπισμός της ευρύτερης περιοχής του ενεργού μητρικού πετρώματος, εξαιτίας του οποίου εμφανίζονται τα στοιχεία που είναι γενετικά συσχετιζόμενα με τα πετρελαϊκά στοιχεία.
	Βήμα	Εργασία							
	a	Χρησιμοποιώντας γεωχημικά χαρακτηριστικά και στρωματογραφικά στοιχεία, γίνεται ομαδοποίηση των γενετικά συσχετιζόμενων στοιχείων με το πετρέλαιο.							
b	Γίνεται συσχέτιση του μητρικού πετρώματος (προσδιορισμός του μητρικού πετρώματος του πετρελαίου)								
c	Εντοπισμός της ευρύτερης περιοχής του ενεργού μητρικού πετρώματος, εξαιτίας του οποίου εμφανίζονται τα στοιχεία που είναι γενετικά συσχετιζόμενα με τα πετρελαϊκά στοιχεία.								

	Δημιουργία ενός πίνακα συσσωρεύσεων για το καθορισμό της ποσότητας των υδρογονανθράκων που εντοπίζονται στο σύστημα καθώς και του ταμιευτήρα που εμφανίζει τη μεγαλύτερη ποσότητα πετρελαίου.
3	Ονοματοδοσία του πετρελαϊκού συστήματος.

Επιπλέον, κάθε πετρελαϊκό σύστημα χαρακτηρίζεται από τρεις σημαντικές χρονικές πτυχές:

1. Ηλικία (age)
2. Κρίσιμη στιγμή (critical moment)
3. Χρόνος διατήρησης (preservation time)

Η ηλικία του συστήματος αντιστοιχεί στο χρόνο που απαιτείται για τη διαδικασία γένεσης, μετανάστευσης και συσώρευσης των υδρογονανθράκων.

Η κρίσιμη στιγμή είναι ο χρόνος που απεικονίζει καλύτερα τη γένεση, τη μετανάστευση και τη συσώρευση των υδρογονανθράκων στο πετρελαϊκό σύστημα. Ένας χάρτης και μια διατομή στο κρίσιμο σημείο, απεικονίζουν καλύτερα τη γεωγραφική και στρωματογραφική έκταση του συστήματος.

Ο χρόνος διατήρησης του συστήματος ξεκινάει αμέσως μετά τη διαδικασία γένεσης, μετανάστευσης και συσώρευσης των υδρογονανθράκων, υφίσταται μέχρι σήμερα και περιλαμβάνει οποιαδήποτε αλλαγή έχει πραγματοποιηθεί στις συσσωρεύσεις πετρελαίου κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Κατά τη διάρκεια του χρόνου διατήρησης μπορεί να πραγματοποιηθεί δευτερογενής μετανάστευση, φυσική ή βιολογική αποδόμηση ή πλήρης καταστροφή του πετρελαίου. Η δευτερογενής μετανάστευση λαμβάνει χώρα μόνο εάν συμβούν φαινόμενα πτύχωσης, ρηγμάτωσης, ανύψωσης ή διάβρωσης. Εάν κατά τη διάρκεια του χρόνου διατήρησης καταστραφούν όλες οι συσσωρεύσεις πετρελαίου, τότε δεν υπάρχουν αποδείξεις παρουσίας πετρελαϊκού συστήματος. Τα ατελή ή τα μόλις σχηματισμένα πετρελαϊκά συστήματα, στερούνται χρόνου διατήρησης¹⁴.

2.1.5 Η μετανάστευση (migration)

Το πέτρωμα κάλυμμα όταν εμφανίζει κατάλληλη γεωμετρία, θα εμποδίσει την μετανάστευση του πετρελαίου. Κατά το στάδιο της έρευνας, είναι πολύ σημαντικό να λάβουμε υπόψη μας τον χρόνο μετανάστευσης του πετρελαίου σε σχέση με τον χρόνο απόθεσης του ταμιευτήρα/πετρώματος καλύμματος καθώς και της δημιουργίας της δομής εντός της λεκάνης. Εάν η μετανάστευση του πετρελαίου λάβει χώρα πριν την απόθεση του κατάλληλου ταμιευτήρα και του πετρώματος καλύμματος, τότε το πετρέλαιο θα διαφύγει. Εάν το πετρέλαιο μεταναστεύσει πριν δημιουργηθούν στην λεκάνη οι κατάλληλες δομές παγίδευσης, θα συμβεί το ίδιο.

Για να προσδιοριστεί πότε ο ταμιευτήρας, το πέτρωμα κάλυμμα και η δομή παγίδευσης μπορούν αποτελεσματικά να εμποδίσουν την μετανάστευση του πετρελαίου, είναι απαραίτητο να κατασκευαστεί από την αρχή την γεωλογική ιστορία της περιοχής που βρίσκεται υπό έρευνα⁵.

Πιο αναλυτικά, η μετανάστευση διακρίνεται σε πρωτογενή και δευτερογενή.

Πρωτογενής: κατά την πρωτογενή μετανάστευση η διαδικασία μετασχηματισμού του κηρογόνου και η αυξημένη πίεση του συστήματος προκαλεί μικρό-σπασίματα στο αδιαπέρατο και χαμηλού πορώδους μητρικό πέτρωμα. Η υπερπίεση αυτή, μπορεί να οφείλεται στη γένεση πετρελαίου και αερίων, στη διαστολή που υφίστανται τα ρευστά υπό υψηλές θερμοκρασίες, στη συμπύκνωση που παρουσιάζουν οι διάφορες μονάδες του μητρικού πετρώματος καθώς και η απελευθέρωση του νερού σε αφυδατωμένα αργιλικά ορυκτά¹⁶. Μέσα από τα σπασίματα που έχουν δημιουργηθεί, επιτρέπεται η ελεύθερη μετακίνηση των υδρογονανθράκων προς τα ανώτερα διαπερατά στρώματα καθώς και η εκτόνωση της πίεσης. Από αυτά τα γειτονικά στρώματα μεταφοράς στα οποία μετανάστευσαν οι υδρογονάνθρακες, θα ξεκινήσει η δευτερογενής μετανάστευση¹⁷.

Δευτερογενής: εμφανίζεται με την μορφή σταγόνων πετρελαίου ή φυσαλίδες αερίου στο νερό των πόρων που εμφανίζουν ανοδική κίνηση λόγω υδροδυναμικών συνθηκών ή πλευστότητας. Σε περίπτωση που μια παγίδα καταστραφεί, τότε το συσσωρευμένο πετρέλαιο θα μεταναστεύσει ξανά. Τα ρήγματα που μπορεί να διακόπτουν τα στρώματα, μπορούν να λειτουργήσουν σαν αγωγοί μετανάστευσης αλλά και σαν εμπόδιο στην δευτερογενή μετανάστευση. Το ίδιο συμβαίνει και με τις διακλάσεις. Εάν αυτές εμφανίζονται σε ανεβασμένο ή πεσμένο τέμαχος και παραμείνουν ανοιχτές, μπορεί να δημιουργήσουν αγωγούς που θα διευκολύνουν την διαδικασία της μετανάστευσης¹⁶.

2.1.6 Η ωρίμανση (maturation) της οργανικής ύλης

Μετά την ταφή της οργανικής, αυτή υφίσταται μετασχηματισμό της σύνθεσής της. Αυτές τις αλλαγές τις προκαλούν αρχικά οι μικροβιακοί οργανισμοί και αργότερα η θερμική πίεση. Αυτό το σύνολο των επαναλαμβανόμενων διεργασιών ονομάζεται θερμική ωρίμανση και αποτελείται από τρία διαδοχικά στάδια:

1. Το στάδιο της διαγένεσης ($R_o < 0.5\%$)
2. Το στάδιο της καταγένεσης ($0.5\% < R_o < 2.0\%$)
3. Το στάδιο της μεταγένεσης ($2.0\% < R_o < 4.0\%$)¹⁸

Όπου R_o (Vitrinite reflectivity): αποτελεί το μέτρο της ωρίμανσης της οργανικής ύλης σε σχέση με το αν έχει δημιουργήσει υδρογονάνθρακες ή αν θα μπορούσε το πέτρωμα μέσα στο οποίο βρίσκεται η ύλη να αποτελέσει ένα αποτελεσματικό μητρικό πέτρωμα¹⁹.

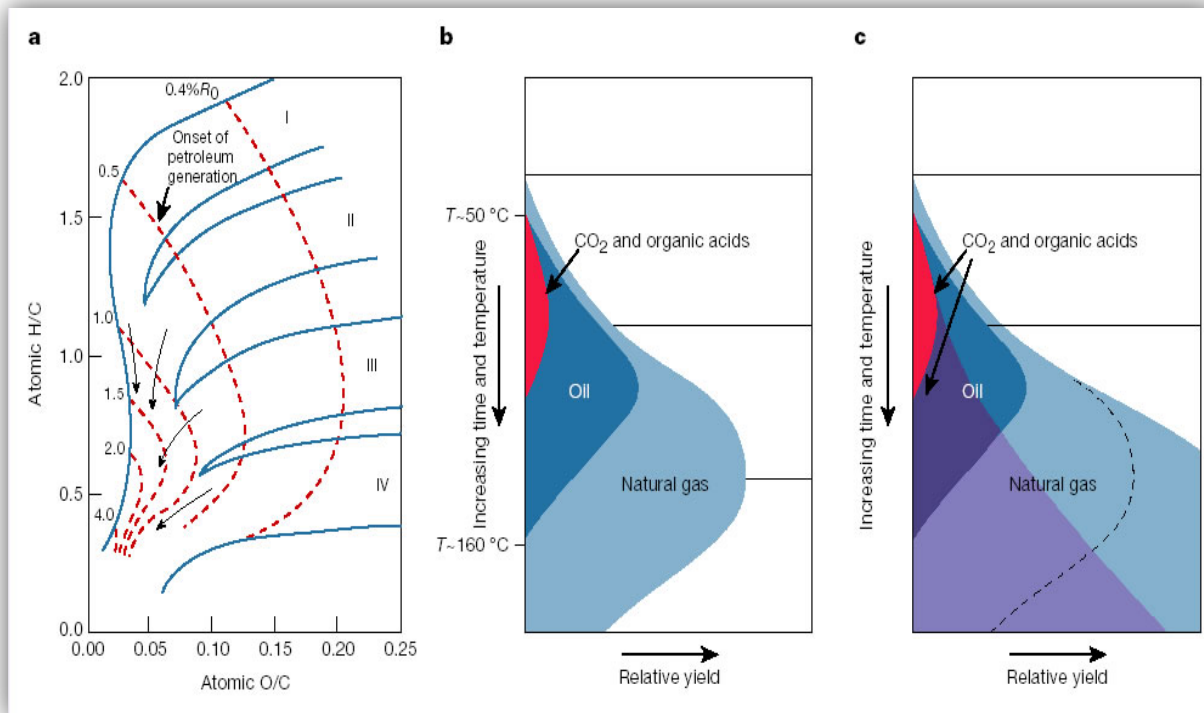
▪ Κηρογόνο

Η φυσικώς εμφανιζόμενη, στερεά, αδιάλυτη οργανική ύλη που εμφανίζεται σε πετρώματα και μπορεί να παράγει πετρέλαιο μετά από θέρμανση, ονομάζεται κηρογόνο. Η ύλη αυτή δεν μπορεί να διαλυθεί με χρήση οργανικών διαλυτών. Τα τυπικά οργανικά συστατικά του κηρογόνου είναι η άλγη και τα ξυλώδη φυτικά υλικά. Τα διάφορα κηρογόνα εμφανίζουν υψηλό μοριακό βάρος σε σχέση με το βιτουμένιο ή τα υπόλοιπα διαλυτά κλάσματα της οργανικής ύλης²⁰.

▪ Τύποι κηρογόνου

Οι βαρείς (heavy) υδρογονάνθρακες (κυρίως δηλαδή τα βαριά πετρέλαια) προκύπτουν από διάσπαση του “ασταθούς” (labile) κηρογόνου. Οι ελαφρείς (light) υδρογονάνθρακες και το φυσικό αέριο προκύπτουν από διάσπαση του “ανθεκτικού” (refractory) κηρογόνου. Τέλος ο γραφίτης προκύπτει από τη διάσπαση του αδρανούς (inert) κηρογόνου. Όσο μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε υδρογόνο εμφανίζει το κηρογόνο τόσο μεγαλύτερη είναι και η πιθανότητα γένεσης υδρογονανθράκων από αυτό.

Οι διάφοροι τύποι κηρογόνου παρουσιάζονται σε ένα διάγραμμα, το διάγραμμα Van Krevelen, στο οποίο με βάση τη σύγκριση των αναλογιών υδρογόνου/άνθρακα και οξυγόνου/άνθρακα, διακρίνονται τρεις τύποι κηρογόνου:



Πηγή: http://www.nature.com/nature/journal/v426/n6964/fig_tab/nature02132_F1.html

Τύπος I: Σαπροπηλικό Κηρογόνο, με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Περιέχει αλγινίτη (alginite), άμορφη οργανική ύλη, κυανό-βακτήρια (cyanobacteria), φύκια του γλυκού νερού και ρητίνες χερσαίων φυτικών υπολειμμάτων,
- Αναλογία Υδρογόνου/Άνθρακα > 1.25,
- Αναλογία Οξυγόνου/Άνθρακα < 0.15,
- Εμφανίζει μεγάλη τάση για εύκολη παραγωγή υγρών και αέριων υδρογονανθράκων,
- Προέρχεται κυρίως από λιμναία φύκια και δημιουργείται μόνο σε ανοξικά λιμναία περιβάλλοντα ή σε άλλα μη συνήθη θαλάσσια περιβάλλοντα,
- Έχει πολλές αλειφατικές αλυσίδες στη δομή του και λίγες μόνο κυκλικές ή αρωματικές δομές,
- Σχηματίστηκε κυρίως από πρωτεΐνες και λιπίδια.

Τύπος II: Πλανκτονικό Κηρογόνο, με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Προέρχεται συνήθως από οργανική ύλη θαλάσσιας προέλευσης η οποία αποτέθηκε σε αναγωγικό περιβάλλον,

- Εμφανίζει μέση ως υψηλή περιεκτικότητα σε θείο,
- Αναλογία Υδρογόνου/Ανθρακα < 1.25 ,
- Αναλογία Οξυγόνου/Ανθρακα 0.03 μέχρι 0.18,
- Έχει την τάση να παράγει πετρέλαιο και φυσικό αέριο αλλά το δυναμικό του κηρογόνου

τύπου II για παραγωγή υδρογονανθράκων είναι χαμηλότερο του κηρογόνου τύπου I,

- Μπορεί να περιλαμβάνει τα παρακάτω συστατικά:
 - Σπορινίτη (Sporinite): που σχηματίζεται από τα περιβλήματα της γύρης και των σπόρων,
 - Κουτινίτη (Cutinite): που σχηματίζεται από τους επιδερμικούς ιστούς χερσαίων φυτών,
 - Ρεζινίτη (Resinite): που σχηματίζεται από ρητίνες χερσαίων φυτών και ρητίνες από την

αποσύνθεση ζώων,

-Λιπτινίτη (Liptinite): που σχηματίζεται από λιπίδια χερσαίων φυτών (υδρόφοβα μόρια που είναι διαλυτά σε οργανικούς διαλύτες) και θαλάσσια φύκια.

Όλα αυτά τα συστατικά παρουσιάζουν αυξημένη τάση για σχηματισμό πετρελαίου και έχουν όλα σχηματιστεί από λιπίδια που αποτέθηκαν σε αναγωγικές συνθήκες.

Τύπος II: - θειούχο κηρογόνο. Τύπος όμοιος με τον προηγούμενο αλλά με υψηλή συγκέντρωση σε θείο.

Τύπος III: Χουμικό Κηρογόνο, με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Προέλευση: χερσαία παράκτια φυτά,
- Στη δομή του περιέχει κυρίως συμπυκνωμένους πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες,

οξυγονούχες ενώσεις και λίγες μόνο αλειφατικές αλυσίδες,

- Αναλογία Υδρογόνου/Ανθρακα < 1 ,
- Αναλογία Οξυγόνου/Ανθρακα 0.03 μέχρι 0.3,
- Το υλικό είναι παχύ, μοιάζει με το ξύλο ή τον άνθρακα,
- Τείνει να παράγει άνθρακα και μεγάλες ποσότητες φυσικού αερίου σε μεγάλα όμως βάθη

(πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει ότι κηρογόνο τύπου III μπορεί να παράγει πετρέλαιο μόνο κάτω από ακραίες συνθήκες),

• Έχει πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε υδρογόνο λόγω των εκτεταμένων δακτυλίων και της παρουσίας αρωματικών δομών.

Το Κηρογόνο Τύπου III σχηματίζεται από χερσαία φυτική ύλη, φτωχή σε λιπίδια ή κηρώδες υλικό. Σχηματίζεται κυρίως από κυτταρίνη, η οποία είναι η πιο διαδεδομένη οργανική ένωση στον κόσμο, καθώς, όντας δομικός πολυσακχαρίτης των φυτών, αποτελεί το κύριο συστατικό του κυτταρικού τοιχώματος των φυτικών κυττάρων. Οι μακρές αλυσίδες της κυτταρίνης συνδέονται μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου, σχηματίζοντας έτσι δέσμες που με τη σειρά τους διαπλέκονται

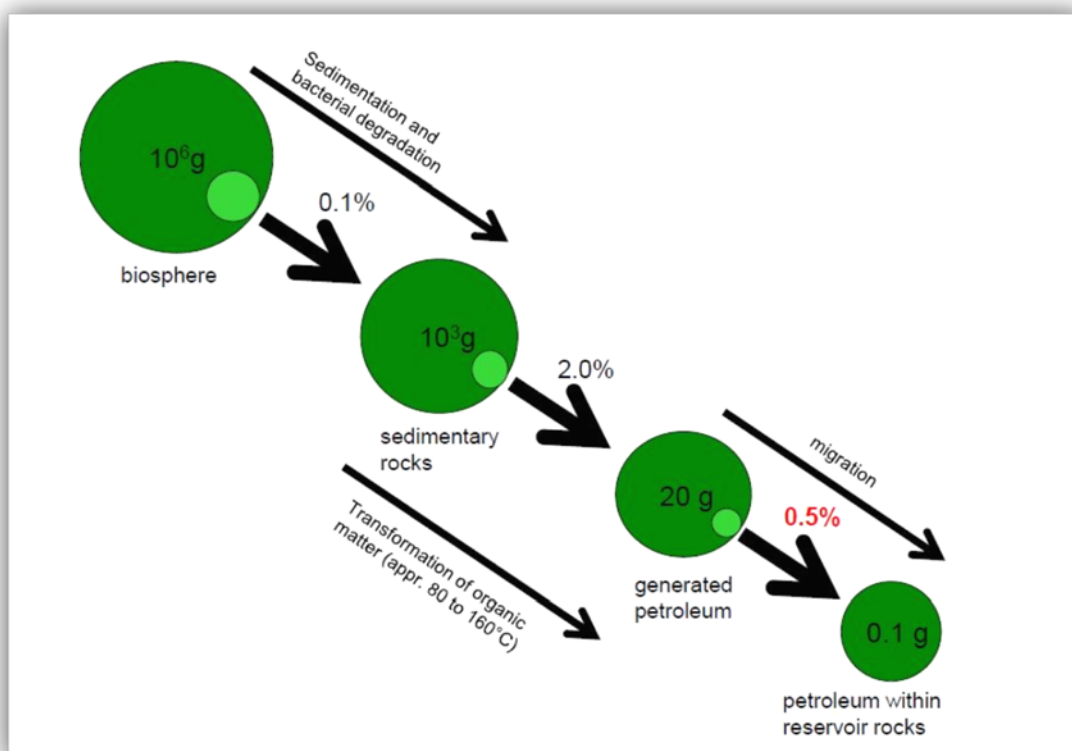
σε πολύ ισχυρά πλέγματα. Σχηματίζεται επίσης από λιγνίνη, ένα μη-υδατανθρακικό πολυμερές που σχηματίζεται από φαινυλο-προπάνιο και που ενώνει μαζί τις μακρές αλυσίδες της κυτταρίνης, τερπένια και φαινολικές ενώσεις των φυτών.

Τέλος το **Κηρογόνο Τύπου IV** αποτελεί το υπόλειμμα της οργανικής ύλης, παρουσιάζει αναλογία Υδρογόνου/Άνθρακα <0.5 , περιέχει ως επί το πλείστον οργανική ύλη που έχει αποσυντεθεί και εμφανίζεται με τη μορφή πολύ-κυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων.

Κηρογόνο Τύπου I, II και III μπορεί να οδηγήσει σε σχηματισμό υδρογονανθράκων σε αντίθεση με το Κηρογόνο Τύπου IV το οποίο δεν έχει τη δυνατότητα να παράγει υδρογονάνθρακες.

▪ Τύποι Κηρογόνου και προέλευση της οργανικής ύλης

- Οργανική ύλη ωκεάνιας ή λιμναίας προέλευσης οδηγεί συνήθως σε κηρογόνο τύπου III ή IV,
- Οργανική ύλη ωκεάνιας ή λιμναίας προέλευσης που αποτέθηκε υπό ανοξικές συνθήκες οδηγεί συνήθως σε κηρογόνο τύπου I ή II,
- Τα περισσότερα ανώτερα φυτά της γης παράγουν κηρογόνο τύπου III ή IV,
- Ορισμένοι άνθρακες περιέχουν κηρογόνο τύπου II².



Πηγή: Bjorn Wygrala, "Basin and Petroleum Systems Modelling: Technology and Applications for Petroleum Exploration Risk and Resource Assessments, EAGE, SLT Europe 2012-2013

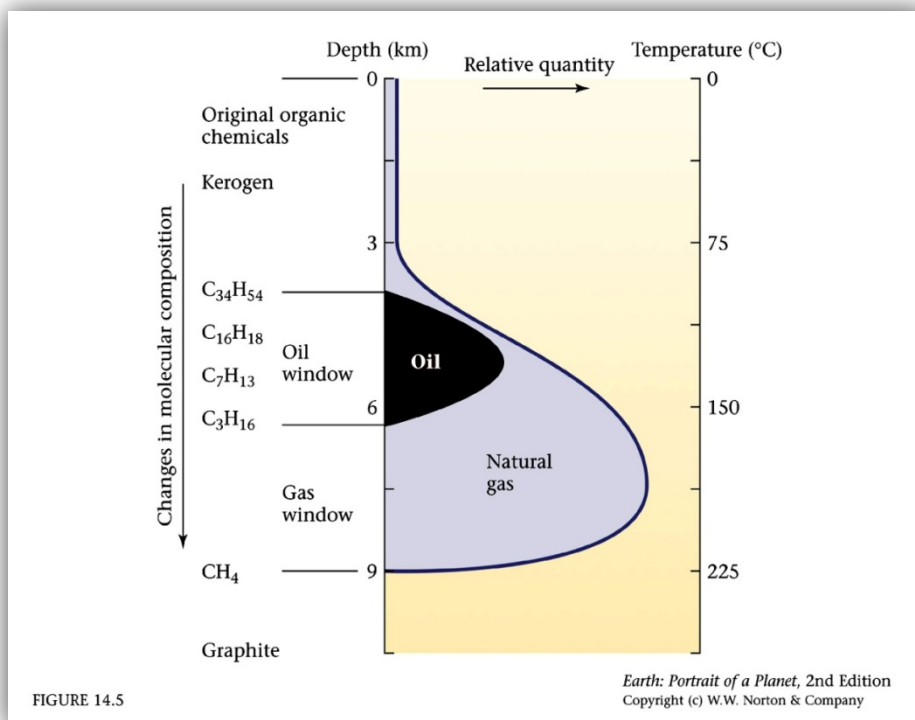
Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, μικρό ποσοστό της αρχικής οργανικής ύλης που μεταφέρθηκε κατά την ιζηματογένεση, αποδομήθηκε μετά από βακτηριδιακή δράση και μετατράπηκε σε πετρέλαιο, τελικά, θα βρεθεί μέσα στα πετρώματα-ταμιευτήρες.

2.1.7 Ο χρόνος (timing)

Το θερμοκρασιακό πεδίο στο οποίο θάβεται η οργανική ύλη και παράγεται το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο εύρος βάθους κάτω από την επιφάνεια. Αυτό συνήθως ονομάζεται παράθυρο πετρελαίου (60 με 160°C) και παράθυρο αερίου (150 με 200°C)².

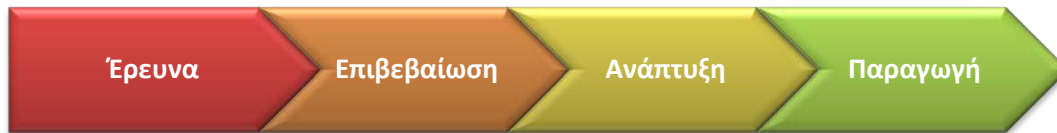
Το παράθυρο πετρελαίου βρίσκεται συνήθως σε βάθος μεταξύ 1 και 6 χιλιομέτρων, ανάλογα με τον τύπο του κηρογόνου που υπάρχει και την γεωθερμική βαθμίδα. Επομένως, πολύ σπάνια θα παραχθεί πετρέλαιο σε βαθύτερα επίπεδα. Στους 60°C παράγεται το πετρέλαιο. Με την ολοκλήρωση του πετρελαϊκού παραθύρου, η θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί. Τότε δημιουργείται το παράθυρο αερίου.

Το αέριο μπορεί να παραχθεί και να διατηρηθεί σε πολύ μεγαλύτερα βάθη, έτσι ώστε μερικά από τα σημαντικότερα κοιτάσματα αερίου να βρίσκονται σε βάθη μεγαλύτερα των 10 χιλιομέτρων. Στους 50 - 60°C ξεκινάει η σύνθεση του φυσικού αερίου²¹.



Πηγή: <http://quakeinfo.ucsd.edu/~gabi/sio15/sio15-13/topics/energy.html>

2.2 Ο κύκλος ζωής ενός πεδίου υδρογονανθράκων



2.2.1 Έρευνα υδρογονανθράκων (Exploration)

Αρχικά στο στάδιο της έρευνας, γίνεται αξιολόγηση των γεωλογικών χαρτών ώστε να εντοπιστούν μεγάλες ιζηματογενείς λεκάνες. Σε αυτές, πρέπει να αποδειχθεί ότι υπάρχουν τουλάχιστον τα τέσσερα από τα βασικά στοιχεία που αναφέρθηκαν πιο πάνω: το μητρικό πέτρωμα, η δομή παγίδευσης, το πέτρωμα κάλυμμα και ο ταμιευτήρας..

Σημαντικές πληροφορίες, οι οποίες πρέπει να είναι γνωστές, αποτελούν ο σχετικός χρόνος σχηματισμού του πετρελαίου, του σχηματισμού της δομής παγίδευσης, του ταμιευτήρα καθώς και της απόθεση του πετρώματος καλύμματος⁵.

Το στάδιο της αρχικής έρευνας ακολουθείται από τη φάση της εκμετάλλευσης. Στην περίπτωση που αποδειχθεί ότι η λεκάνη δεν είναι οικονομικά ωφέλιμη οι δραστηριότητες διακόπτονται.

2.2.2 Επιβεβαίωση (Appraisal)

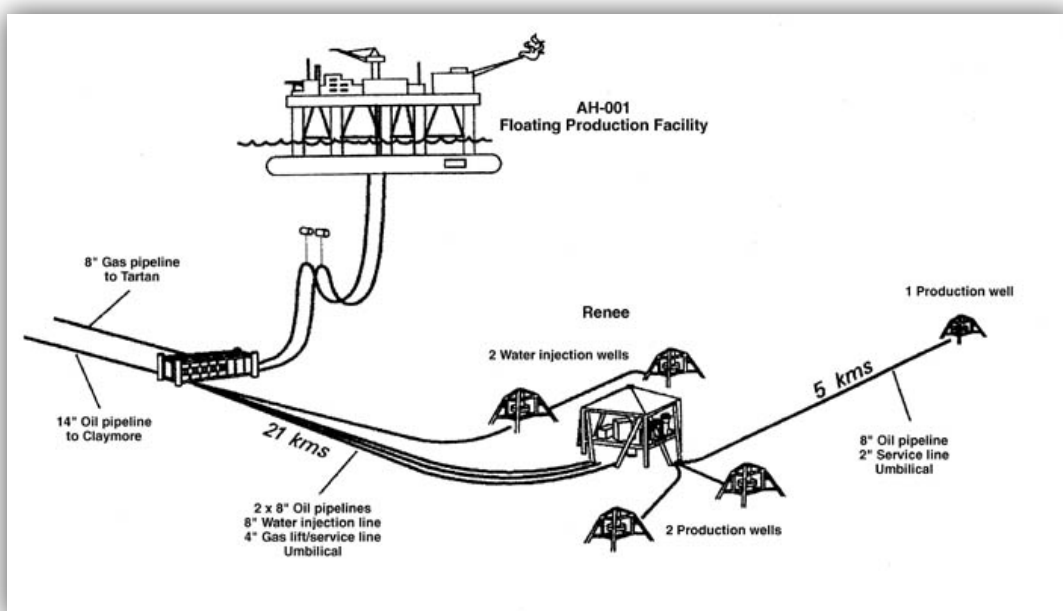
Μετά το στάδιο της αναζήτησης και εφόσον σε κάποια τοποθεσία έχει εντοπιστεί κοίτασμα υδρογονανθράκων, δεν μπορούμε να είμαστε βέβαιοι για την έκτασή του ταμιευτήρα καθώς και για τα δυνατικά αποθέματα. Τα πρώτα στάδια της επιβεβαίωσης περιλαμβάνουν εργασίες για τον ορισμό του μεγέθους και του σχήματος του πεδίου καθώς και την θέση της επαφής των ρευστών μεταξύ τους (αέριο/νερό, πετρέλαιο/νερό, και πιθανώς αέριο/πετρέλαιο).

Επίσης στο στάδιο της επιβεβαίωσης αποκαλύπτεται στην περιοχή η δομή του ταμιευτήρα, κατά πόσο το πεδίο διαιρείται σε τμήματα απομονωμένο το ένα από το άλλο, πώς η ποιότητα του ταμιευτήρα ποικίλει χωρικά (πορώδες και διαπερατότητα) και κατά πόσο ο ταμιευτήρας παρουσιάζει στρώσεις, δηλαδή κατά πόσο ανάμεσα στα παραγωγικά στρώματα υπάρχουν στρώματα (αργιλικά) στείρα.

Την ίδια στιγμή δημιουργούνται δεδομένα σχετικά με την διακύμανση της σύνθεσης του πετρελαίου κατά μήκος του πεδίου. Τα δεδομένα αυτά μαζί με άλλα εμπορικά κριτήρια εφαρμόζονται για να καθορίσουν εάν το πεδίο θα επιφέρει επαρκή κέρδη όταν τεθεί υπό παραγωγή⁵.

2.2.3 Ανάπτυξη του κοιτάσματος (Development)

Οι πληροφορίες που συγκεντρώνονται στο στάδιο της επιβεβαίωσης, χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός σχεδίου ανάπτυξης (αριθμός γεωτρήσεων που απαιτούνται, οι τοποθεσίες όπου θα διανοιχθούν οι γεωτρήσεις, οι εγκαταστάσεις πλατφόρμας που απαιτούνται κ.α.). Ο τρόπος προσέγγισης της ανάπτυξης ενός κοιτάσματος διαφέρει από χώρα σε χώρα καθώς και από την παράκτια στην θαλάσσια εκμετάλλευση. Παρ' όλα αυτά, σήμερα, χρησιμοποιείται ένα κοινό σχέδιο κατά το οποίο η διάνοιξη των φρεάτων λαμβάνει χώρα κατά την διάρκεια ανέγερσης των εγκαταστάσεων⁵.



Πηγή: <http://images.pennwellnet.com/ogj/images/off2/0198phil2.jpg>

2.2.4 Παραγωγή (Production)

Το στάδιο της παραγωγής ξεκινάει από τη στιγμή που οι πρώτες εμπορεύσιμες ποσότητες πετρελαίου θα ανέλθουν στην επιφάνεια. Σε αυτό το σημείο προκύπτουν για την αρμόδια εταιρεία τα πρώτα χρήματα, με τα οποία θα εξοφλήσει τις αρχικές της επενδύσεις. Στόχος της κάθε εταιρείας είναι να περιοριστεί ο χρόνος μεταξύ της έναρξης της έρευνας και της παραγωγής της πρώτης ποσότητας υδρογονανθράκων¹⁷.

Από τη στιγμή που οι υδρογονάνθρακες φτάσουν στην επιφάνεια οδηγούνται σε ειδικές εγκαταστάσεις, ο σχεδιασμός των οποίων έγινε προσεκτικά στο στάδιο της ανάπτυξης²².

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Έρευνα υδρογονανθράκων

3.1 Εισαγωγή

Στο στάδιο της έρευνας υδρογονανθράκων, όπως έχει ήδη αναφερθεί, πρέπει να αποδειχθεί ότι υπάρχουν τουλάχιστον τέσσερα από τα βασικά γεωλογικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για την συσσώρευση και δημιουργία κοιτάσματος υδρογονανθράκων: το μητρικό πέτρωμα, η δομή παγίδευσης, το πέτρωμα κάλυμμα και ο ταμιευτήρας. Ωστόσο, το μεγαλύτερο ενδιαφέρον δείχνουν οι δομές παγίδευσης δηλαδή οι σχηματισμοί που μπορούν να φιλοξενήσουν υδρογονάνθρακες.

Αρχικά λοιπόν, γίνεται μελέτη γεωλογικών χαρτών για τον εντοπισμό μεγάλων ιζηματογενών λεκανών.

Οι δομές παγίδευσης ή παγίδες είναι εκείνοι οι σχηματισμοί που μπορούν να φιλοξενήσουν υδρογονάνθρακες.

3.2 Είδη δομών παγίδευσης

Οι παγίδες των υδρογονανθράκων δημιουργούνται εκεί όπου διαπερατά πετρώματα-ταμιευτήρες καλύπτονται από πετρώματα που εμφανίζουν μικρή περατότητα και εμποδίζουν την μετανάστευση των υδρογονανθράκων και την κίνηση τους προς τα ανώτερα στρώματα²³.

Κάθε κοίτασμα υδρογονανθράκων περιλαμβάνει τρία βασικά στοιχεία:

1. Trap reservoir: είναι το πέτρωμα-ταμιευτήρας μέσα στο οποίο μπορούν να αποθηκεύονται αλλά και να κινούνται οι υδρογονάνθρακες.

2. Trap seal: είναι το αδιαπέρατο στεγανό πέτρωμα (πέτρωμα – κάλυμμα) το οποίο λειτουργεί ως εμπόδιο που δεν επιτρέπει την ανοδική κίνηση του πετρελαίου και του αερίου. Αυτό συνήθως αποτελείται από ιζήματα τα οποία παρουσιάζουν αρκετά μικρή διάμετρο πόρων έτσι ώστε η πίεση του υδραυλικού φορτίου να μην ξεπερνά την τριχοειδή πίεση μεταξύ των κόκκων.

3. Trap fluids: είναι το σύνολο των ρευστών του ταμιευτήρα (πρωτογενές ύδωρ, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) τα οποία λόγω των διαφορετικών φυσικών και χημικών τους ιδιοτήτων (διαλυτότητα, πυκνότητα, αναμειξιμότητα) επιτρέπουν στους υδρογονάνθρακες να μεταναστεύουν, να διαχωρίζονται και να συσσωρεύονται μέσα στο κλειστό πάνω μέρος του ταμιευτήρα.

Στηριζόμενοι στα γεωλογικά δεδομένα που ελέγχουν τη δημιουργία μιας παγίδας υδρογονανθράκων μπορούν να αναγνωριστούν τρία συστήματα παγίδων:

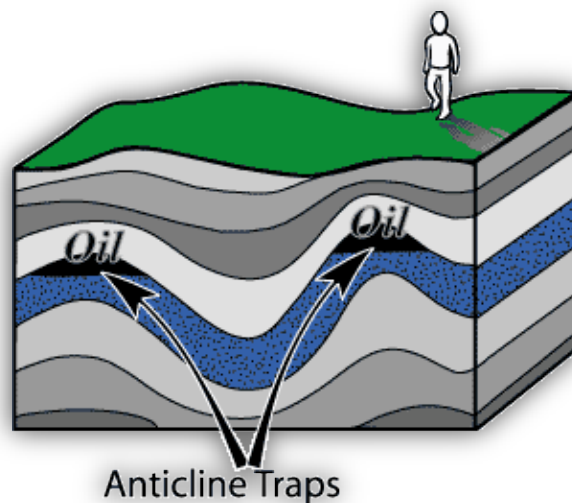
1. τεκτονικές παγίδες (structural traps)
2. στρωματογραφικές παγίδες (stratigraphic traps)
3. συνδυασμός των παραπάνω (combination traps)².

1. Οι τεκτονικές δομές παγίδευσης δημιουργούνται από την συναποθετική μέχρι την μεταποθετική παραμόρφωση των στρωμάτων. Μετά από αυτή την παραμόρφωση δημιουργείται ένας σχηματισμός, ο οποίος επιτρέπει την συσσώρευση των υδρογονανθράκων κάτω από την επιφάνεια. Σε αυτόν το σχηματισμό, συμπεριλαμβάνοντας το πέτρωμα ταμιευτήρα και συνήθως το μεσοδιάστημα του πετρώματος καλύμματος, κυριαρχούν οι πτυχώσεις, τα ρήγματα, οι διαπυρισμοί (piercements) ή οποιοσδήποτε συνδυασμός των παραπάνω.

Οι δομές παγίδευσης που δημιουργούνται από την ελαφριά βύθιση των στρωμάτων κάτω από μια διαβρωμένη ασυμφωνία, συνήθως δεν ανήκουν στην κατηγορία των τεκτονικών παγίδων. Βάση όλων αυτών, έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι ταξινόμησης των παραπάνω παγίδων²⁴.

▪ Αντίκλινα (anticlinal trap)

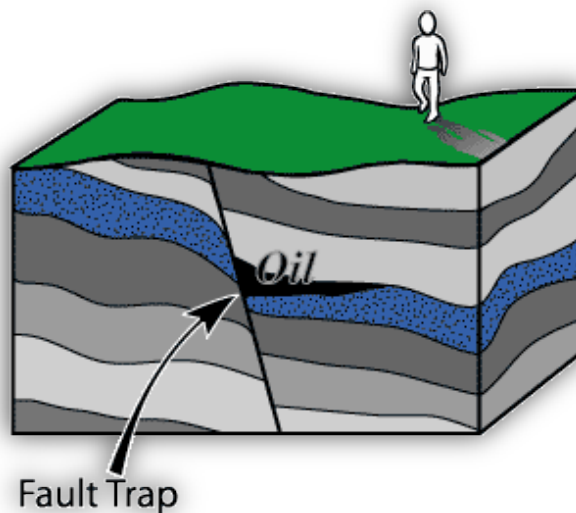
Οι αντικλινικές παγίδες δημιουργούνται όταν στρώματα που αποτελούνται από ένα αδιαπέρατο στρώμα που επικαλύπτει το διαπερατό, αναδιπλώνονται και κυρτώνονται προς τα επάνω²⁵. Το αδιαπέρατο στρώμα αποτελεί την οροφή και εμποδίζει τη περαιτέρω μετανάστευση των υδρογονανθράκων. Τα διαπερατά στρώματα αποτελούν τον ταμιευτήρα. Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο συσσωρεύονται στο ανώτερο τμήμα της πτύχωσης. Το αέριο βρίσκεται υψηλότερα και το πετρέλαιο αμέσως μετά, ενώ και τα δύο επιπλέον στο νερό που διαποτίζει όλους τους διαπερατούς σχηματισμούς².



Πηγή: <http://www.priweb.org/ed/pgws/systems/traps/structural/structural.html>

▪ Ρήγματα

Οι παγίδες αυτές προκύπτουν από τη κίνηση ενός πετρώματος κατά μήκος της γραμμής ενός ρήγματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις το πέτρωμα-ταμιευτήρας μετακινείται απέναντι από ένα αδιαπέρατο στρώμα και έτσι το τελευταίο εμποδίζει τη διαφυγή των υδρογονανθράκων. Σε άλλες περιπτώσεις, το ίδιο το ρήγμα αποτελεί τη παγίδα που εμποδίζει τη μετανάστευση²⁵.

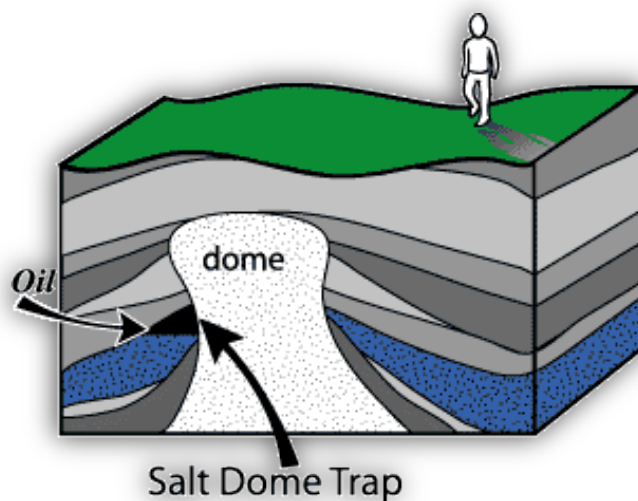


Πηγή: <http://www.priweb.org/ed/pgws/systems/traps/structural/structural.html>

▪ Διαφυρισμός δόμων άλατος

Οι παγίδες αυτές δημιουργούνται από την παραμόρφωση των υποκείμενων στρωμάτων εξαιτίας του μεγάλου όγκου πετρώματος που ανέρχεται επιπλέοντας προς τα πάνω. Αυτή η επίπλευση οφείλεται στην χαμηλή πυκνότητα του ανερχόμενου πετρώματος σε σχέση με το περιβάλλον του.

Αυτές οι παραμορφώσεις που δημιουργούνται από το διάπυρο γύρω και πάνω από την ανερχόμενη μάζα, μπορούν να δημιουργήσουν παγίδες²⁶.



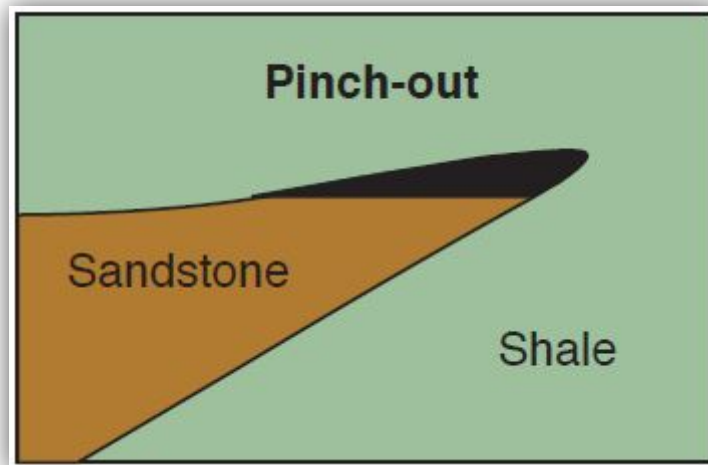
Πηγή: <http://www.priweb.org/ed/pgws/systems/traps/structural/structural.html>

2. Οι στρωματογραφικές δομές παγίδευσης δημιουργούνται από την αλλαγή του τύπου πετρώματος, χωρίς αυτό να έχει υποστεί πτύχωση ή ρηγμάτωση, ή από pinch-outs, ασυμφωνίες ή υφάλους²⁷. Εξαρτώνται από την αποθετική ακολουθία και όχι από την παραμόρφωση των πετρωμάτων ενώ τις περισσότερες φορές σχηματίζονται κατά την απόθεση των ιζημάτων²⁸.

Οι στρωματογραφικές παγίδες διακρίνονται σε:

- Pinch-out

Εμφανίζονται σε περιβάλλοντα όπου επικρατούν ρεύματα (χερσαία και υποθαλάσσια περιβάλλοντα) όπου ένα κανάλι ροής έχει γεμίσει με διαπερατή άμμο, η οποία στη συνέχεια περιβάλλεται από λιγότερο διαπερατή άργιλο ή ιλύ, καθώς το κανάλι αυτό μετακινείται. Η άργιλος καθιζάνει όταν υπάρχει άνοδος της θαλάσσιας στάθμης. Εντοπίζονται συνήθως σε στρώματα άμμου-σχιστών τα οποία βρίσκονται σε λεκάνες που έχουν υποστεί σημαντική τεκτονική δραστηριότητα²⁸.

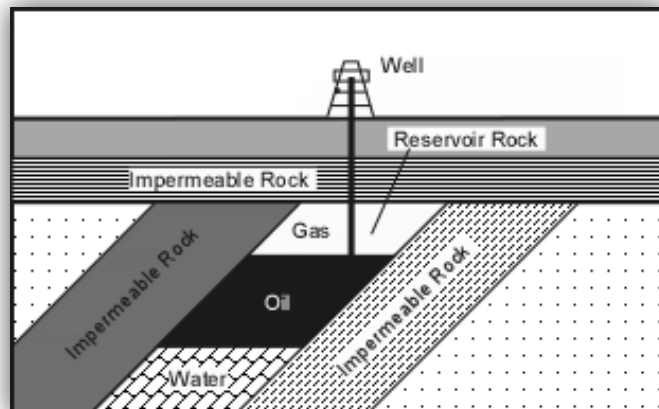


Πηγή: <http://www.kau.edu.sa/Files/0054337/Subjects/types%20of%20oil%20traps.pdf>

▪ Ασυμφωνίες (unconformities)

Ένας αδιαπέρατος ταμιευτήρας εξαιτίας παύσης της απόθεσης, λόγω διάβρωσης ή εξαιτίας και των δύο, διαρρηγνύεται και καλύπτεται από κάποιο αδιαπέρατο στρώμα.

Όπως και στην περίπτωση των pinch-outs, έτσι και εδώ, εντοπίζονται συνήθως σε στρώματα άμμου-σχιστών τα οποία βρίσκονται σε λεκάνες που έχουν υποστεί σημαντική τεκτονική δραστηριότητα²⁸.



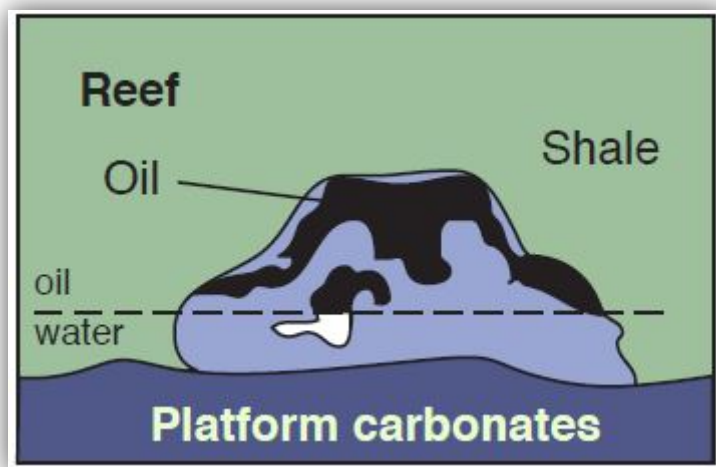
Πηγή: <http://www.earthsci.org/education/teacher/basicgeol/resource/resource.html>

▪ Ανθρακικοί ύφαλοι (reefs)

Οι ύφαλοι αυτοί δημιουργούνται εξαιτίας της ανάπτυξης των κοραλλιών και της εναπόθεσης του ασβεστίτη που καθιζάνει.

Ανθρακικοί ύφαλοι, απολιθωμένες κατασκευές από κοράλλια και συναφείς αποθέσεις που προέκυψαν από τον παλιό ωκεανό.

Συχνά εντοπίζονται σε σταθερούς υφάλους, δίπλα σε throughs που περιέχουν λεπτόκοκκα κλαστικά ιζήματα ή σε λεκάνες εβαποριτών²⁸.



Πηγή: <http://www.kau.edu.sa/Files/0054337/Subjects/types%20of%20oil%20traps.pdf>

Στόχος κάθε ερευνητικής επιχείρησης είναι να βρεθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα και με μικρό κόστος, νέα κοιτάσματα υδρογονανθράκων. Στην διαδικασία της έρευνας, ορατές επιφανειακές εμφανίσεις πετρελαίου, φυσικού αερίου ή μικροί υποθαλάσσιοι κρατήρες που δημιουργούνται από διαφυγή αερίου μπορεί να μαρτυρούν την παρουσία υδρογονανθράκων.

3.3 Μέθοδοι έρευνας υδρογονανθράκων

3.3.1.Μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης

Εφόσον λοιπόν κάποια περιοχή τεθεί προς εξερεύνηση, εφαρμόζεται μια σειρά πολύπλοκων εφαρμογών υψηλής τεχνολογίας, οι γεωφυσικές διασκοπήσεις.

Οι επιφανειακές αυτοί μέθοδοι είναι:

1. Οι δορυφορικές εικόνες
2. Οι βαρυτομετρικές διασκοπήσεις
3. Οι μαγνητικές διασκοπήσεις
4. Οι διασκοπήσεις με σεισμικά ανακλάσεις

Οι δορυφορικές εικόνες καθώς και οι βαρυτομετρικές και μαγνητικές διασκοπήσεις, συνήθως γίνονται κατά τα πρώτα ή τα ενδιάμεσα στάδια της έρευνας. Οι μέθοδοι χρησιμοποιούνται τις

περισσότερες φορές για την αξιολόγηση ολόκληρης της λεκάνης, ή τουλάχιστον ενός σημαντικού τμήματός της⁵.

Η πιο ακριβής μέθοδος είναι η σεισμική μέθοδος ανάκλασης. Η μέθοδος διάθλασης και κυρίως οι βαρυτομετρικές και μαγνητικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται ως αναγνωριστικές μέθοδοι³⁰. Με αυτές τις μεθόδους γίνεται καθορισμός των δομών στις οποίες υπάρχει πιθανότητα να βρεθεί οικονομικού ενδιαφέροντος κοίτασμα ενώ καμία δεν προσδιορίζει τις ιδιότητες του πετρελαίου.

Όλες αυτές οι γεωφυσικές μέθοδοι θα αναλύονται εκτενώς παρακάτω.

3.3.1.1 Δορυφορικές εικόνες

Οι δορυφορικές εικόνες συνήθως αποτελούνται είτε από φασματικά δεδομένα είτε από φωτογεωλογικά/φωτογεωμορφολογικά.

Τα φασματικά δεδομένα μπορούν να συλλεχθούν από ένα μεγάλο εύρος μηκών κύματος (0.2 μm μέχρι 0.5 cm) που περιλαμβάνει υπεριώδη, ορατά, εγγύς υπέρυθρα, μικρού μήκους κύματος υπέρυθρα, υπέρυθρα και κύματα υψηλής ποιότητας (microwave). Ωστόσο, μέσα σε αυτό το εύρος τα τμήματα από ορισμένες μπάντες (bands) είναι άχρηστα εξαιτίας της ατμοσφαιρικής απορρόφησης. Σε φωτογραφικό mode, οι δορυφορικές εικόνες είναι παρόμοιες με τις αεροφωτογραφίες.

Οι δορυφορικές εικόνες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να εντοπιστούν μεγάλης κλίμακας λεκανοειδείς δομές που θα ήταν πολύ δύσκολο και δαπανηρό να τις συλλάβουν άλλα μέσα⁵.

3.3.1.2. Βαρυτομετρικές διασκοπήσεις

Η βαρυτομετρική μέθοδος διασκόπησης υπολογίζει μικρές ($\sim 10^6 \text{g}$) διακυμάνσεις του γήινου βαρυτικού πεδίου οι οποίες οφείλονται σε διαφοροποιήσεις της πυκνότητας των γεωλογικών σχηματισμών³¹.

Τα βαρυτομετρικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της τεκτονικής κατάστασης της περιοχής, για να δώσουν προτεραιότητα σε περιοχές ώστε να πραγματοποιηθούν σεισμικές εργασίες καθώς και στον προσδιορισμό των αιτιών μιας σεισμικής δομής (π.χ. υφάλους).

Τα δεδομένα από τις βαρυτομετρικές εργασίες, μπορούν να ληφθούν και να χρησιμοποιηθούν σε περιοχές όπου είναι δύσκολο να πραγματοποιηθούν σεισμικές έρευνες (δυσπρόσιτες εκτάσεις).

Σε αντίθεση με τα σεισμικά, τα βαρυτομετρικά δεδομένα είναι χαμηλότερου κόστους. Παρ' όλα αυτά, η ανάλυσή τους είναι χαμηλότερη από εκείνη των σεισμικών και η ερμηνεία τους συνήθως δίνει ασαφή αποτελέσματα.

Τα βαρυτομετρικά δεδομένα μπορούν να ληφθούν από την ξηρά, από την θάλασσα ή από τον αέρα. Τα όργανα μέτρησης που βρίσκονται στην ξηρά μπορούν να μετρήσουν βαρυτικές ανωμαλίες με μεγαλύτερη ακρίβεια και καλύτερη ανάλυση από οποιοδήποτε άλλο μέσο. Αυτές οι βαρυτικές ανωμαλίες δημιουργούνται από την ετερογενή κατανομή πετρωμάτων διαφορετικής πυκνότητας⁵.

Τα αερομεταφερόμενα βαρυτόμετρα «ανταλλάσσουν» την ακρίβεια και την ανάλυση με την ταχύτητα και την επιφανειακή κάλυψη μιας και είναι ακριβή μέχρι μερικά milliGals για βαρυτικές ανωμαλίες μήκους κύματος μερικών χιλιομέτρων

Τα βαρυτομετρικά δεδομένα, πριν ερμηνευθούν, υφίστανται μια σειρά διορθώσεων. Μερικές από αυτές είναι:

- Ισοστατικές διορθώσεις, με στόχο την ελαχιστοποίηση της επίδρασης της τοπογραφίας (πχ πυκνά βουνά δίπλα σε γεμάτες με αέρα πεδιάδες θα προκαλέσουν ανωμαλία εξαιτίας των βουνών)
- Παλιρροιακά φαινόμενα
- Θερμοκρασιακές μεταβολές (που επηρεάζουν τα όργανα) και φθορά του εξοπλισμού
- Διόρθωση πλάτους, καθώς η δύναμη της βαρύτητας αυξάνεται από τον Ισημερινό προς τους Πόλους εξαιτίας της φυγόκεντρου δύναμης. Επίσης, εξαιτίας της απόκλισης της Γης από το σφαιρικό σχήμα, υπάρχει περίσσεια μάζας στον Ισημερινό και έλλειμμα στους Πόλους
- Διόρθωση ελεύθερου αέρα: η βαρύτητα μειώνεται με την αύξηση του υψομέτρου (πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας)⁵. Η διόρθωση αυτή προστίθεται στην μετρούμενη τιμή αν ο σταθμός μέτρησης βρίσκεται πιο ψηλά από την στάθμη της θάλασσας και αφαιρείται εάν βρίσκεται χαμηλότερα (μετρήσεις στον ωκεάνιο πυθμένα)³²
- Διόρθωση Bouguer: λαμβάνεται υπόψη το υλικό που παρεμβάλλεται μεταξύ του υψομέτρου των μετρήσεων και της στάθμης⁵.

3.3.1.3 Μαγνητικές διασκοπήσεις

Η μαγνητική μέθοδος εντοπίζει μεταβολές του μαγνητικού πεδίου της Γης που προκαλούνται από τις διαφορετικές μαγνητικές ιδιότητες των πετρωμάτων¹⁷.

Οι μεταβολές στο κύριο μαγνητικό πεδίο της Γης είναι συνήθως πολύ μικρότερες από το σήμα του πεδίου αυτού και δημιουργούνται από τοπικές μαγνητικές ανωμαλίες στην κοντινή επιφάνεια του φλοιού, οι οποίες είναι σχετικά σταθερές με τον χρόνο. Αυτές οι αλλαγές στο μαγνητικό πεδίο είναι σημαντικές κατά την διάρκεια της έρευνας υδρογονανθράκων⁵. Για παράδειγμα, τα πυριγενή πετρώματα είναι πολύ μαγνητικά. Εάν εντοπιστούν κοντά στην επιφάνεια δημιουργούν ανωμαλίες μικρού μήκους κύματος και μεγάλου πλάτους¹⁷.

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου μετριέται σε oersteds (Oe). Το Γήινο πεδίο ποικίλει μεταξύ 0.3 Oe στον Ισημερινό και 0.6 Oe στους Πόλους. Στις γεωφυσικές έρευνες οι ανωμαλίες μετρούνται σε gamma units [ισοδύναμα με τα nanotesla (nT) στο SI Σύστημα], όπου 1 gamma= 0.00001 Oe⁵.

Η διαδικασία της μαγνητικής διασκόπησης είναι αερομεταφερόμενη (αεροπλάνο ή δορυφόρος) και επιτρέπει ταχεία χαρτογράφηση και καλή επιφανειακή κάλυψη. Με αυτή γίνεται λήψη δεδομένων και από δυσπρόσιτες περιοχές. Όπως και οι βαρυτομετρικές διασκοπήσεις, έτσι και οι μαγνητικές πραγματοποιούνται συνήθως στα πρώτα στάδια της έρευνας¹⁷.

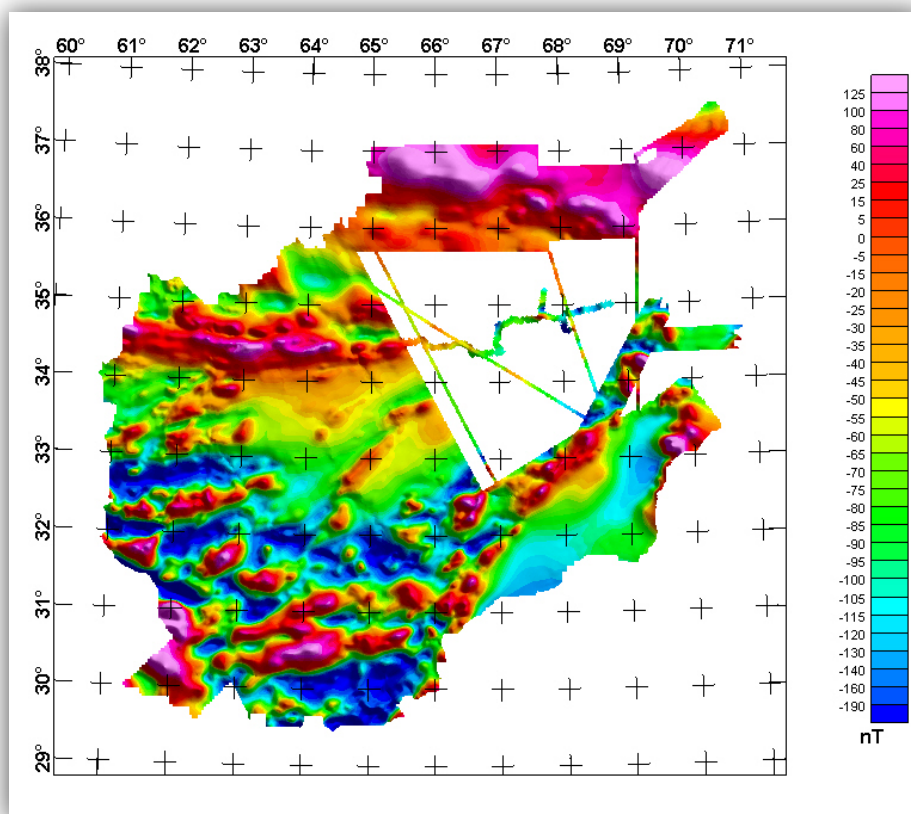
Η μαγνητική επιδεκτικότητα υπολογίζει τον βαθμό στον οποίο ένα στοιχείο ή ένα ορυκτό μαγνητίζεται. Τα πετρώματα, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία του Γ. Χρηστοφίδη, συνήθως διακρίνονται σε τρεις τύπους:

- Στα διαμαγνητικά ορυκτά (αλίτης, ανυδρίτης), τα οποία εμφανίζονται με μικρή ή μηδενική μαγνητική ευαισθησία και απωθούνται ελαφρά από το μαγνητικό πεδίο
- Στα παραμαγνητικά ορυκτά (συμπεριλαμβανομένων των ενώσεων αλουμινίου) που εμφανίζουν μικρή μαγνητική επιδεκτικότητα και έλκονται ελαφρά από μαγνητικό πεδίο
- Στα σιδηρομαγνητικά ορυκτά (μαγνητίτης, ιλμενίτης), τα οποία είναι παραμαγνητικά με ισχυρές μαγνητικές ιδιότητες³³.

Τα μαγνητικά δεδομένα μπορούν να συλλέγουν τόσο στην ξηρά όσο και στην θάλασσα με πλοία ή αερομεταφερόμενα μαγνητόμετρα. Τα δεδομένα αυτά είναι πολύ χρήσιμα στον ορισμό μιας λεκάνης ως περιοχή ενδιαφέροντος ή όχι. Ορίζουν το σχήμα και την μορφή της λεκάνης, χρησιμοποιούνται στον εντοπισμό τεκτονικών χαρακτηριστικών μέσα σε μια λεκάνη και προσδιορίζουν το είδος της δομής.

Η ερμηνεία τους είναι πιο πολύπλοκη από αυτή των βαρυτομετρικών εξαιτίας των ποικίλων ιδιοτήτων του μαγνητικού πεδίου. Παρ' όλα αυτά τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται και στις δυο περιπτώσεις είναι σχεδόν τα ίδια, όπως η δημιουργία χαρτών για τις ανωμαλίες⁵.

Μετά τη λήψη βαρυτομετρικών και μαγνητικών δεδομένων πραγματοποιούνται, στοχευμένα πλέον, οι σεισμικές διασκοπήσεις. Έτσι γεωλογικές δομές όπως τα αντίκλινα ή οι δόμοι άλατος, οι οποίες (αν υπάρχουν) χαρακτηρίζονται ως «πετρελαιοπιθανές» ή «οδηγοί» υπόκεινται σε λεπτομερείς σεισμικές διασκοπήσεις με την χρήση τεχνητών παραγόμενων ελαστικών κυμάτων³¹. Κατά αυτό τον τρόπο γίνεται λεπτομερής χαρτογράφηση των ελαστικών ιδιοτήτων των υπεδάφινων στρωμάτων, σε βάθη που μπορούν να φτάσουν μέχρι και αρκετά χιλιόμετρα στο εσωτερικό της γης.



Η παραπάνω εικόνα δημιουργήθηκε από ένα πλέγμα κατασκευασμένο από συγχώνευση πολλών δικτύων μαγνητικής ανωμαλίας του Αφγανιστάν.

Πηγή: http://pubs.usgs.gov/of/2007/1247/html/afghan_mag.html

3.3.1.4 Διασκοπήσεις με τα σεισμικά ανακλάσεως

Η σεισμική μέθοδος ανακλάσεως χρησιμοποιείται για την αναγνώριση γεωλογικών δομών και βασίζεται στις διαφορετικές ανακλαστικές ιδιότητες των ηχητικών κυμάτων στα διάφορα πετρώματα που βρίσκονται κάτω από ηπειρωτικές και θαλάσσιες επιφάνειες. Είναι εξαιρετικής σημασίας καθώς με αυτή μπορούμε να χαρτογραφήσουμε με μεγάλη ακρίβεια δομές που βρίσκονται σε σημαντικά βάθη⁵.

Τα ηχητικά κύματα της μεθόδου παράγονται τεχνητά στην επιφάνεια ή σε μικρό βάθος της Γης και αφού διαδοθούν στα στρώματα του φλοιού επιστρέφουν στην επιφάνεια και καταγράφονται σε διάφορες αποστάσεις από ειδικά σεισμόμετρα.

Με βάση τις καταγραφές των ελαστικών κυμάτων κατασκευάζονται οι καμπύλες χρόνων διαδρομής. Οι καμπύλες αυτές αποτελούν γραφικές παραστάσεις των χρόνων διαδρομής των κυμάτων σε συνάρτηση με την οριζόντια απόσταση. Εφόσον λοιπόν γνωρίζουμε τη μεταβολή της ταχύτητας αυτής μέσα στα διάφορα στρώματα είναι δυνατόν να προσδιορίσουμε γεωλογικές δομές που συνυπάρχουν με κοίτασμα.

Αυτού του είδους η διασκόπηση βασίζεται σε απλές βασικές αρχές που διέπουν τη διάδοση των κυμάτων, όπως αυτή του Huygens, η αρχή του Fermat και άλλες³⁰.

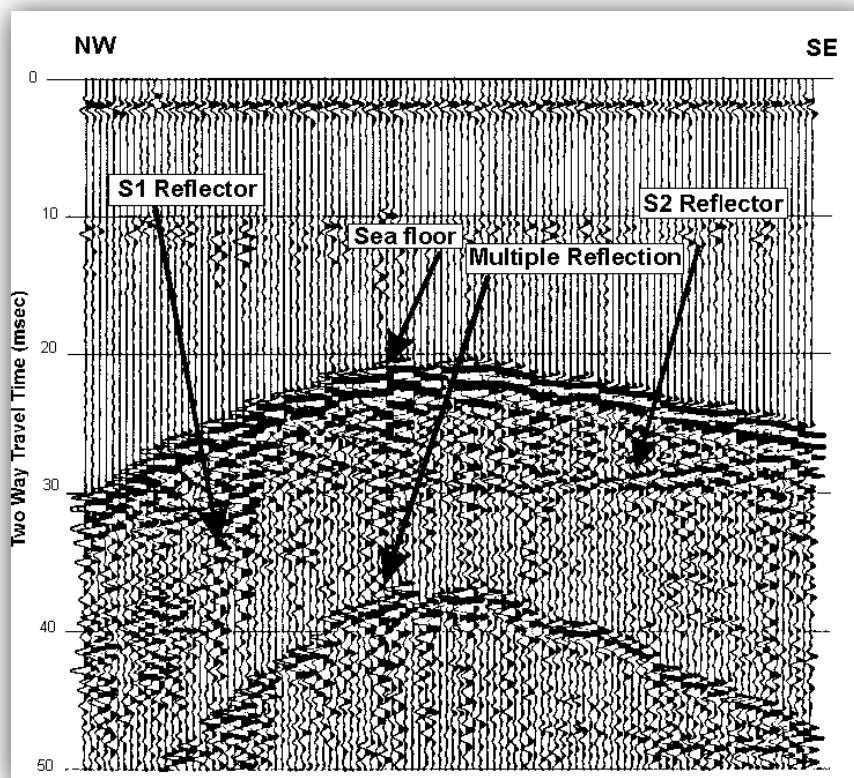
Τα σεισμικά δεδομένα παίζουν σπουδαίο ρόλο στον εντοπισμό των παγίδων καθώς διαδίδονται μέσω των πετρωμάτων μέχρι και τον ταμιευτήρα. Στην συνέχεια όπως αναφέρθηκε ανακλώνται στην επιφάνεια, συλλέγονται, καταγράφονται και αποθηκεύονται για επεξεργασία.

Η συλλογή σεισμικών δεδομένων ποικίλει ανάλογα με το περιβάλλον (χερσαία ή θαλάσσια). Στο ερευνητικό στάδιο, η σεισμική μέθοδος μπορεί να αποτελείται από ένα χαλαρό δίκτυο 2D (δύο διαστάσεων) γραμμών. Σε αντίθεση με την περιοχή που βρίσκεται υπό το στάδιο της επιβεβαίωσης όπου λαμβάνει χώρα 3D (three dimension) σεισμική μέθοδος¹⁷.

▪ Αρχές της σεισμικής διασκόπησης

Για την σεισμική απεικόνιση των δομών της Γης χρησιμοποιούνται κύματα που παράγονται στην επιφάνεια (χερσαία) ή κάτω από το νερό¹⁷. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, απαιτείται μια πηγή ενέργειας (ηχητική), ένας δέκτης και φυσικά η Γη που αποτελείται από πολλά στρώματα. Η πηγή μεταδίδει έναν παλμό ακουστικής ενέργειας μέσα στο έδαφος το οποίο διαδίδεται με την μορφή κύματος μέσα στην Γη⁵. Συγκεκριμένα, η ενέργεια αυτή προκαλεί μεταβολή του πεδίου των τάσεων στη γύρω περιοχή και έτσι δημιουργούνται τα ελαστικά κύματα. Σε βάθος λοιπόν υπάρχουν

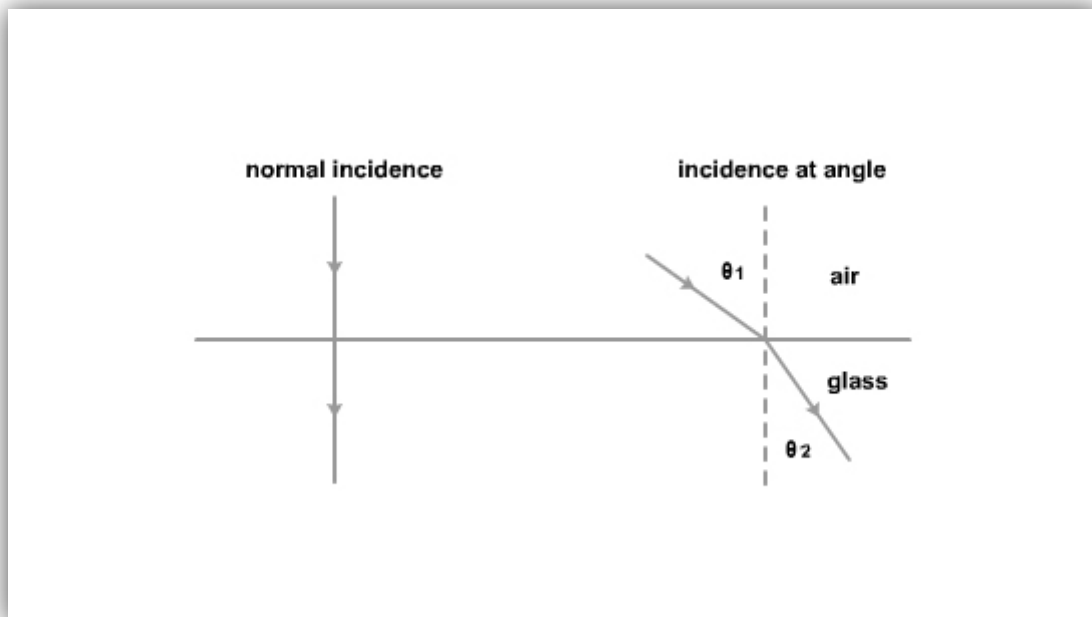
διάφορα είδη γεωλογικών στρωμάτων όπου ένα μέρος της ενέργειας διαδίδεται προς τα βαθύτερα στρώματα ενώ η υπόλοιπη ενέργεια ανακλάται πίσω στην επιφάνεια. Η ενέργεια αυτή ανακλάται πίσω στην επιφάνεια εξαιτίας της απότομης μεταβολής των ελαστικών ιδιοτήτων του μέσου διάδοσης κατά μήκος της διεπαφής των διαφορετικών στρωμάτων. Η μεταβολή αυτή είναι αποτέλεσμα της πυκνότητας του πετρώματος και της ταχύτητας του κύματος μέσω του συγκεκριμένου πετρώματος (σεισμική ταχύτητα).



Ψηφιακά θαλάσσια σεισμικά δεδομένα που διασχίζουν μια κορυφογραμμή άμμου περίπου 6 μίλια μακριά από το Avalon, New Jersey. Ο ανακλαστήρας S2 σηματοδοτεί το όριο μεταξύ Ολοκαινικών ιζημάτων και αποθέσεων Άνω Τριαδικού (2D).

Πηγή: <http://www.state.nj.us/dep/njgs/geophys/seis.htm>

Τα ανακλώμενα κύματα συλλέγονται σε ευαίσθητους δέκτες, καταγράφονται και αποθηκεύονται για επεξεργασία. Όταν το σεισμικό κύμα προσπίπτει κάθετα σε μια διεπαφή, μέρος της ενέργειας ανακλάται πίσω στην επιφάνεια και ένα άλλο μέρος της συνεχίζει να διαδίδεται. Στην περίπτωση πλάγιας πρόσπτωσης, η γωνία πρόσπτωσης του κύματος ισούται με την γωνία ανακλάσεως. Και πάλι, μέρος της ενέργειας διαδίδεται στο επόμενο στρώμα αλλά αυτή την φορά με διαφορετική γωνία διάδοσης³⁰.



Πηγή: <http://www.bbc.co.uk/bitesize/higher/physics/radiation/refraction/revision/2/>

Οι δέκτες που χρησιμοποιούνται, στην πραγματικότητα, είναι πολλοί και ονομάζονται γεώφωνα ή σεισμόμετρα (χαμηλής συχνότητας μικρόφωνα) στην ξηρά και υδρόφωνα στην θάλασσα³⁰.

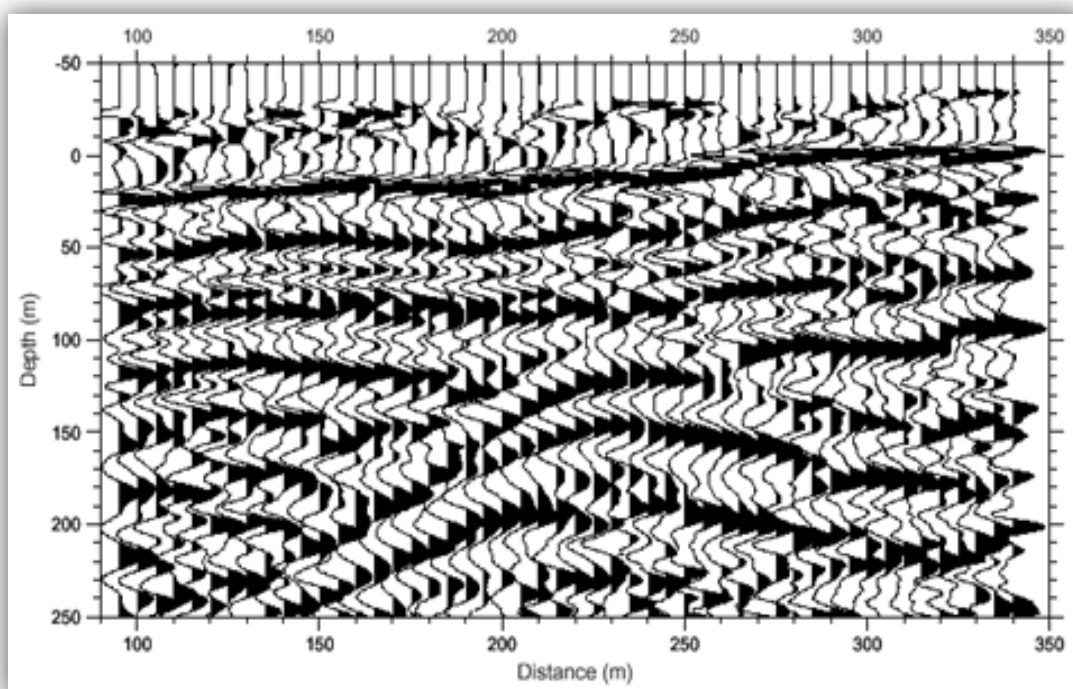
Τα ηλεκτρικά σήματα που έχουν συλλεχθεί μεταφέρονται μέσω ειδικών καλωδίων στο εργαστήριο όπου ενισχύονται, φιλτράρονται και στην συνέχεια ψηφιοποιούνται και καταγράφονται σε μαγνητική ταινία³¹. Έτσι δημιουργούνται χάρτες γεωλογικών δομών, οι οποίοι ερμηνεύονται από τους γεωλόγους για τον πιθανό εντοπισμό κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Στο εργαστήριο βρίσκεται ένας σειсмоγράφος ο οποίο περιέχει ειδικούς ενισχυτές που ενισχύουν το ηχητικό κύμα που ανακλάται και το οποίο στην συνέχεια καταγράφεται σε ψηφιακές ταινίες υπολογιστή για ανάλυση και επεξεργασία³⁴. Η επιλογή των συχνοτήτων προς ενίσχυση γίνεται με βάση το βάθος και το μέγεθος της γεωλογικής δομής ενδιαφέροντος.

Η επεξεργασία γίνεται για να διαχωριστεί το ανακλώμενο σήμα από τον υπόλοιπο ήχο, για να ενισχυθεί το σήμα και για να αναπαρασταθεί γραφικά. Το ανακλώμενο σήμα από τα διάφορα στρώματα φτάνουν στα γεώφωνα σε διαφορετικούς χρόνους. Όσο πιο βαθιά βρίσκεται το στρώμα τόσο περισσότερο χρόνο χρειάζεται ο θόρυβος για να φτάσει στο γεώφωνο. Επειδή συνήθως αρκετά στρώματα συμβάλουν με το ανακλώμενο σήμα τους στο σεισμόγραμμα, τα σεισμικά δεδομένα γίνονται πιο πολύπλοκα.

Στην περίπτωση σειсмоγράφου πολλαπλών καναλιών\πολυκάναλου σειсмоγράφου, αρκετά γεώφωνα εντοπίζουν τα ηχητικά κύματα σχεδόν ταυτόχρονα. Κάθε κανάλι είναι συνδεδεμένο με ένα ή περισσότερα γεώφωνα. Οι ανακλάσεις από διάφορα σημεία στο υπέδαφος δεν καταγράφονται μόνο από ένα γεώφωνο.

Για τον εντοπισμό μικρών γεωλογικών χαρακτηριστικών είναι απαραίτητη η χρήση σειсмоγράφου ο οποίος μπορεί να καταγράψει και να ενισχύσει υψηλής συχνότητας ηχητικά κύματα³¹.



Πηγή: Γεωργακόπουλος Ανδρέας, *Ηλεκτρονικές Σημειώσεις μαθήματος “Κοιτασματολογία Πετρελαίου” (Geophysical Exploration), Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2004*

▪ Συλλογή σεισμικών δεδομένων

Ο χρόνος που χρειάζεται το κύμα για να φτάσει από την πηγή σε κάποιο σημείο ανάκλασης που βρίσκεται σε ορισμένο βάθος και στην συνέχεια να φτάσει σε δέκτη που βρίσκεται σε ορισμένη απόσταση από τη πηγή, δίνεται από την αναλογία της διαδρομής που διένυσε και της ταχύτητας. Το σύστημα καταγραφής έχει τέτοια διάταξη ώστε να υπάρχουν πολλά ζεύγη πηγής-δέκτη για κάθε σημείο ανάκλασης κάτω από την επιφάνεια, γνωστό και ως “common midpoint”, ή CMP.

Οι χρόνοι ανακλάσεις των κυμάτων μετρούνται σε διαφορετικές αποστάσεις από τη πηγή ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$). Όσο πιο μακριά βρίσκονται η πηγή και ο δέκτης για κάποιο συγκεκριμένο σημείο ανάκλασης του υπεδάφους, τόσο μεγαλύτερος θα είναι ο χρόνος που θα χρειαστεί το κύμα για να διανύσει την απόσταση¹⁷.

- Ξηρά

Παλιότερα στην ξηρά, ως πηγή ενέργειας γινόταν ευρεία χρήση της δυναμίτιδας. Ωστόσο, λόγω περιβαλλοντικών επιπτώσεων χρησιμοποιείται πλέον πηγή χαμηλότερης ενέργειας όπως τα Vibroseis (πηγή που παράγει σεισμικά κύματα) στην ξηρά καθώς και τα **αεροβόλα** στην θάλασσα²².

- Δονούμενη πηγή-Vibroseis (υδραυλικός ταλαντωτής):

Το Vibroseis είναι ένα όχημα που ζυγίζει περίπου 20 τόνους. Είναι παντός εδάφους και φέρει μια ατσάλινη πλάκα που με υδραυλικό σύστημα ακουμπά πάνω στην επιφάνεια του εδάφους και ανυψώνει το όχημα στον αέρα. Σε αυτή την θέση το φορτηγό μετατρέπεται σε ένα κομπρεσέρ, στέλνοντας σεισμικά κύματα στο υπέδαφος³⁴. Η πλάκα του δονείται με συγκεκριμένη κατανομή συχνότητας και πλάτους και δημιουργεί μια ελεγχόμενη δονητική δύναμη μέχρι 70.000 lbs (pounds)³⁵. Το σήμα διαρκεί 7 δευτερόλεπτα και η συχνότητά του μεταβάλλεται από 6Hz μέχρι 50 Hz³⁴. Παράγει με σχετικά εύκολα και γρήγορα επαναλαμβανόμενα όμοια σήματα μικρής ενέργειας. Με την δημιουργία επιφανειακών τεχνητών δονήσεων μπορούμε να καταγράψουμε τον τρόπο με τον οποίο αυτές οι δονήσεις ανακλώνται πίσω στην επιφάνεια, αποκαλύπτοντας έτσι τις ιδιότητες των πετρωμάτων που βρίσκονται στο υπέδαφος.



Vibroseis

Πηγή: <http://nees.utexas.edu/Equipment-T-Rex.shtml>

Επειδή τα σήματα που λαμβάνονται από τις δονήσεις προστίθενται, το αποτέλεσμα που λαμβάνεται είναι μια πολύπλοκη καταγραφή. Γι' αυτό το λόγο επεξεργάζονται και έτσι λαμβάνεται σήμα μικρής διάρκειας όμοιο με αυτό που παράγεται από τις εκρήξεις δυναμίτιδας. Το σήμα που εκπέμπεται από τη μονάδα του Vibroseis έχει διάρκεια περίπου 10-15 δευτερόλεπτα³⁰. Η μέθοδος του Vibroseis χρησιμοποιείται συνήθως σε κατοικημένες αστικές και αγροτικές περιοχές⁵.

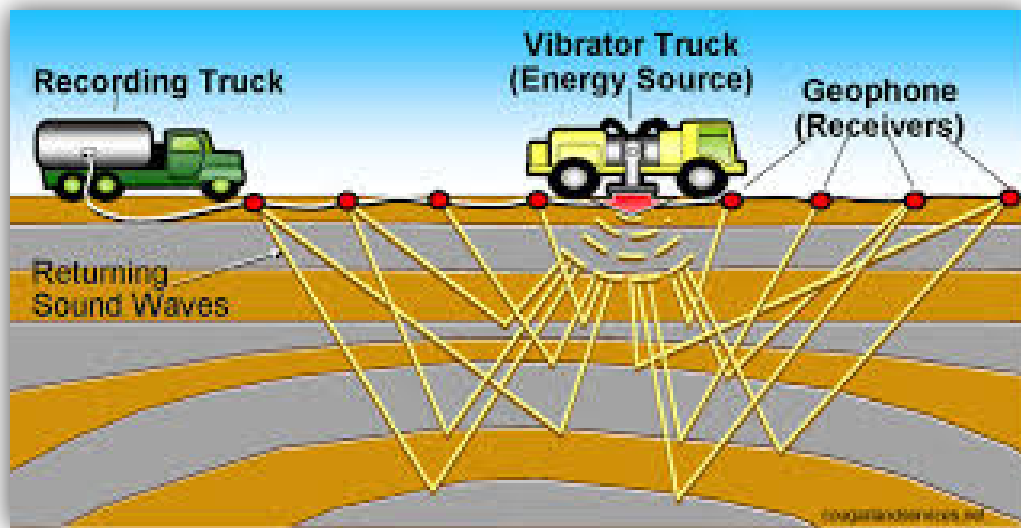
- Δυναμίτης:

Πρόκειται για χημική σύνθεση των εκρηκτικών τρινιτρικού γλυκερυλίου και δινιτρικής γλυκόζης ο συνδυασμός των οποίων δημιουργεί ένα ρευστό μίγμα το οποίο στην συνέχεια αναμειγνύεται με celluloid-nitrate και δίνει ένα ζελατινώδες υλικό.

Όταν ο δυναμίτης εκρήγνυται καίει πολύ γρήγορα. Τυπικά, 1 κιλό δυναμίτη καίει περίπου 20 μικρό-δευτερόλεπτα. Σε αυτό το μικρό χρονικό διάστημα παράγει πολύ υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις. Συνήθως αναφλέγεται με την βοήθεια ενός πυροκροτητή, που αποτελεί μικρού μεγέθους επιβάρυνση στον δυναμίτη αλλά και είναι αρκετό ώστε να ανάψει το μεγαλύτερο φορτίου του³⁶.

Η δυναμίτιδα τοποθετείται σε ορισμένο βάθος μέσα σε τρύπες που δημιουργούνται στο έδαφος έτσι ώστε να υπάρχει ισχυρή σύζευξη με τα πετρώματα και το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που θα προκύψει να μετατραπεί σε ελαστικά κύματα³⁰. Επιπλέον, χρησιμοποιείται όπου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί το Vibroseis, όπως σε βάλτους και σε μαλακές επιφάνειες. Επίσης, σε περιοχές όπου θέλουμε να διατηρηθεί η φυτοκάλυψη⁵.

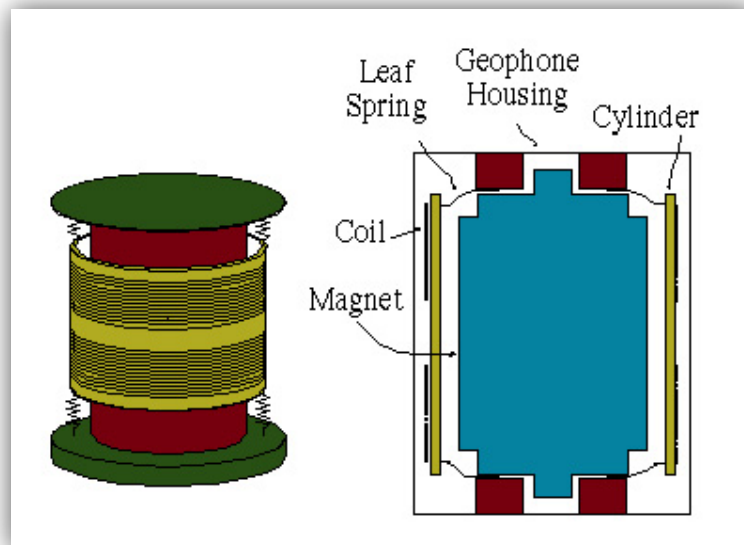
Οι σεισμικοί ανιχνευτές είναι συσκευές που αποκρίνονται στα σεισμικά κύματα και τα μετατρέπουν σε ηλεκτρικά. Στην ξηρά τοποθετούνται τα γεώφωνα (geophones) τα οποία τοποθετούνται σε σειρά στο έδαφος ή σε ρηχές γεωτρήσεις.



Πηγή: http://www.utexas.edu/research/cem/vibroiseis_research.html

Πρόκειται για συσκευές που μετατρέπουν την κίνηση του εδάφους (μετατόπιση) σε τάση, η οποία μπορεί να καταγραφεί σε ένα σταθμό καταγραφής. Η απόκλιση αυτής της μετρούμενης τάσης από την γραμμή βάσης ονομάζεται σεισμική απόκριση και αναλύεται για την δομή της Γης¹⁷.

Ένα γεώφωνο κινούμενου πηνίου λειτουργεί όπως και ένα μικρόφωνο. Το πηνίο αποτελείται από σύρμα το οποίο είναι τυλιγμένο γύρω από ένα μη αγωγίμο λεπτό κύλινδρο. Γύρω από αυτό τη μάζα με το σύρμα υπάρχει ένας μαγνήτης ρυθμισμένος στο γήινο μαγνητικό πεδίο και τοποθετημένος σταθερά πάνω στη Γη. Καθώς λοιπόν η Γη κινείται, ο μαγνήτης αυτός κινείται πάνω-κάτω γύρω από τη μάζα. Το μαγνητικό πεδίο του κινούμενου μαγνήτη δημιουργεί μέσα στο καλώδιο μια ηλεκτρική τάση, η οποία μπορεί να ενισχυθεί και καταγραφεί με ένα απλό βολτόμετρο. Η αναγραφόμενη τάση είναι ανάλογη με τη ταχύτητα κατά την οποία κινείται το έδαφος³⁷.



Σχηματική εγκάρσια τομή ενός γεωφώνου κινητού πηνίου.

Πηγή: http://www.takoi.edu.hk/~phy/studwork/s6gp1/physics%20project_gp_4_new.htm

Όταν λοιπόν τα ελαστικά κύματα φτάνουν στη θέση που βρίσκεται τοποθετημένο το γεώφωνο, το έδαφος ταλαντώνεται κατακόρυφα. Αυτή η κίνηση έχει ως συνέπεια ο μαγνήτης να ταλαντώνεται με τον ίδιο τρόπο εξαιτίας της στερεάς σύνδεσής του με αυτό, ενώ ο τρόπος με τον οποίο ταλαντώνεται το πηνίο είναι διαφορετικός επειδή παρεμβάλλονται τα ελατήρια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σχετική κίνηση μεταξύ μαγνήτη και πηνίου, τη μεταβολή της μαγνητικής ροής που διατρέχει το πηνίο και τη δημιουργία τάσης στα άκρα του κατά την κατακόρυφη ταλάντωση του εδάφους³⁰.

▪ Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης δυναμίτη και Vibroseis³⁶

Τύπος πηγής	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<u>Δυναμίτης</u>	i. Θαμμένη πηγή: πολύ λιγότερα επιφανειακά κύματα ii. Σήμα κοντά σε δ-παλμό (signal close to δ-pulse)	i. Καταστροφικός: δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αστικές περιοχές ii. Εντατική εργασία για την δημιουργία οπών όπου θα τοποθετηθεί το εκρηκτικό υλικό: ακριβό σε λειτουργία
<u>Vibroseis</u>	i. Λιγότερο καταστροφικές από τον δυναμίτη: μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αστικές περιοχές ii. Χαμηλής ένταση εργασία: φθινό σε λειτουργία iii. Το εξερχόμενο σήμα είναι μερικώς ελεγχόμενο (some control over outgoing signal)	i. Θόρυβος στην επιφάνεια: πολλά κύματα Rayleigh ii. Η συσχέτιση δεν είναι τέλεια: συσχέτιση θορύβου iii. Μπορεί να λειτουργήσει μόνο σε περιοχές που αντέχουν 14 τόνους βάρος. iv. Ένα φορτηγό δεν μπορεί να μεταφέρει αρκετή ενέργεια

• Θάλασσα

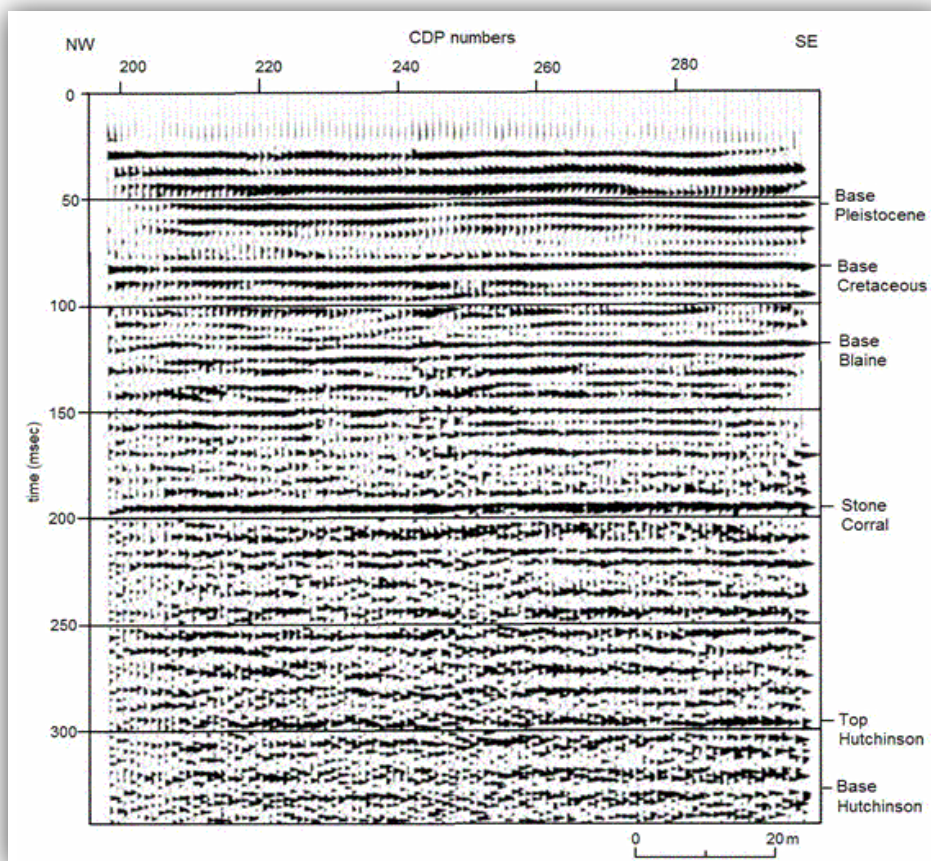
Στη συλλογή σεισμικών δεδομένων από την θάλασσα, ή πιο σπάνια από λιμναίες έρευνες, η ενεργειακή πηγή που χρησιμοποιείται είναι σχεδόν αποκλειστικά το αεροβόλο (airgun) το οποίο σύρεται πίσω από τα πλοία. Το αεροβόλο διοχετεύει συμπιεσμένο αέρα μέσα στο νερό. Ο αέρας αυτός αντλείται από το εσωτερικό ενός θαλάμου. Χρησιμοποιώντας το έμβολο, ο αέρας απελευθερώνεται από τον θάλαμο του αεροβόλου δημιουργώντας μια φυσαλίδα υψηλής πίεσης⁵.

Η φούσκα αυτή ταλαντώνεται μέσα στο νερό μετά την απελευθέρωσή της από τον θάλαμο του αεροβόλου. Η ταλάντωσή της έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της διάρκειας του σήματος³⁰. Η ενέργεια που προκύπτει από την δόνηση περνάει μέσα από την στήλη νερού και έπειτα μέσα στο υποκείμενο ίζημα.

Είναι σύνηθες φαινόμενο να χρησιμοποιούνται διάφορα μεγέθη αεροβόλων έτσι ώστε να μεταφέρεται η ενέργεια με μια σειρά συχνοτήτων προς το υπέδαφος⁵.

Αρχικά λοιπόν, η φούσκα αυξάνεται. Ωστόσο μετά από λίγο η εξωτερική υδροστατική πίεση είναι μεγαλύτερη από την εσωτερική πίεση της φούσκας με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται η διεύρυνση. Κάποια στιγμή η διεύρυνση αυτή σταματάει και η φούσκα αποκτά την μέγιστη ακτίνα. Αυτό επιτυγχάνεται όταν η κινητική ενέργεια του νερού έξω από αυτή μετατραπεί πλήρως σε δυναμική ενέργεια που σχετίζεται με την ακτίνα, την υδροστατική πίεση καθώς και με τις απώλειες θερμότητας που παρατηρούνται. Από αυτό το σημείο και έπειτα, η φούσκα αρχίζει να καταρρέει καθώς η υδροστατική πίεση από το εξωτερικό περιβάλλον είναι μεγαλύτερη από την πίεση στο εσωτερικό. Η κατάρρευση αυτή επιβραδύνεται όταν ξαναπεράσει από τη θέση ισορροπίας, όπου η πίεση στο εσωτερικό της φούσκας είναι ίση με την υδροστατική πίεση, και μέχρι να φτάσει σε μια ελάχιστη ακτίνα όπου θα αρχίσει και πάλι να επεκτείνεται. Οι καταρρεύσεις και επεκτάσεις συνεχίζονται επ' άπειρον εξαιτίας της διάχυσης της θερμότητας στο νερό³⁶.

Στην θάλασσα, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι δέκτες ονομάζονται υδρόφωνα τα οποία συχνά είναι συγκεντρωμένα σε σειρές και είτε σύρονται μέσα στο νερό πίσω από τα πλοία ή βρίσκονται τοποθετημένα στον πυθμένα της θάλασσας¹⁷. Είναι ευαίσθητα στην μεταβολή της πίεσης του νερού η οποία καταγράφεται συναρτήσει του χρόνου. Η καταγραφή αυτή ονομάζεται σεισμόγραμμα ή ίχνο³⁶.



Τα ήχνη συνδυάζονται για τη δημιουργία της σεισμικής τομής, όπου ο κατακόρυφος άξονας εκφράζει το χρόνο και ο οριζόντιος την απόσταση του υδρόφωνου από το σημείο αναφοράς

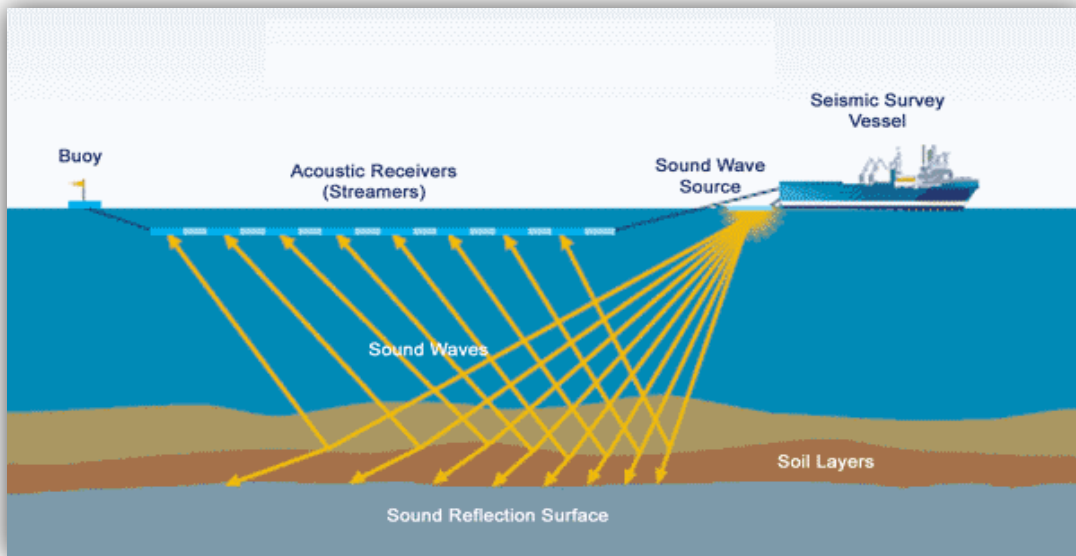
Πηγή: http://academic.emporia.edu/aberjame/student/salley2/pics/cb_gpr1.gif

Το υδρόφωνο είναι μια συσκευή σχεδιασμένη για την ανίχνευση σεισμικής ενέργειας υπό την μορφή μεταβολών της πίεσης του νερού κατά την διάρκεια της θαλάσσιας σεισμικής διασκόπησης. Συνδυάζονται έτσι ώστε να δημιουργηθούν λωρίδες που σύρονται από τα σεισμικά σκάφη και μετατρέπουν την εναλλασσόμενη πίεση σε βολτ³⁸.

Τα υδρόφωνα αποτελούνται από κατάλληλο πιεζοηλεκτρικό υλικό (τιτανιούχο βάριο, κλπ). Όταν σε αυτό το υλικό ασκείται πίεση δημιουργείται διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο επιφανειών του που είναι κάθετες στη διεύθυνση κατά την οποία ασκείται η πίεση³⁰.

Η ταχύτητα του ήχου μέσα στο νερό είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή στον αέρα, και αυτό γιατί το νερό έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από τον αέρα³⁹. Δηλαδή υπάρχουν περισσότερα μόρια ανά μονάδα όγκου το οποίο σημαίνει ότι υπάρχουν πολλά περισσότερα σωματίδια τα οποία θα δονηθούν κατά καθώς μεταφέρεται η ενέργεια του ήχου. Το αποτέλεσμα λοιπόν είναι ο ήχος να ταξιδεύει 5 φορές γρηγορότερα στο νερό από ότι στον αέρα.

Τα πλοία λοιπόν, σέρνουν σεισμικό καλώδιο μήκους 6-12 km. Το καλώδιο αυτό βρίσκεται σε βάθος 8-20 m από την επιφάνεια της θάλασσας, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και τον κυματισμό. Το σεισμικό καλώδιο αναπτύχθηκε για τον εντοπισμό υποβρυχίων στην διάρκεια του 2^{ου} Παγκοσμίου πολέμου.



Πηγή: <http://fishsafe.eu/en/offshore-structures/seismic-surveys.aspx>



Για να πραγματοποιηθεί μια επιτυχημένη θαλάσσια σεισμική διασκόπηση χρησιμοποιούνται:

- Συστήματα ελέγχου της ποιότητας των καταγραφών
- Συστήματα πλοήγησης και εντοπισμού της θέσης του σεισμικού καλωδίου (πχ διαφορικό GPS, ακουστικά συστήματα).

Τα θαλάσσια σεισμικά δεδομένα είναι συνήθως καλύτερης ποιότητας σε σχέση με τα χερσαία⁴⁰.

3.3.1.5 Δέκτες

Η σεισμική ενέργεια που επιστρέφει στην επιφάνεια, στην ξηρά ή στην θάλασσα, συλλέγεται από ένα πλήθος δεκτών. Η διάταξή τους καθορίζεται κάθε φορά από το είδος της έρευνας. Στις έρευνες 2D, χρησιμοποιείται μια γραμμική συστοιχία δεκτών. Στην 3D έρευνα οι δέκτες μπορεί να τοποθετηθούν σε διάφορα μοτίβα, όπως σε μορφή κάναβου.

Οι δέκτες συνδέονται σε μία μονάδα καταγραφής. Τις περισσότερες φορές χρησιμοποιούνται καλώδια, αλλά σε περιοχές ξηράς όπου είναι δύσκολη η πρόσβαση (π.χ. βουνά) το ράδιο τηλεμετρίας μπορεί να είναι ο ευκολότερος τρόπος μεταφοράς δεδομένων από τον δέκτη στην συσκευή καταγραφής. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν μια σειρά ημιτονοειδών κυμάτων με διαφορετικές φάσεις, συχνότητες και πλάτη. Δεδομένου ότι υπάρχουν πολλές πηγές ενέργειας και διαφορετικοί τύποι παραγόμενων κυμάτων και επιφανειών ανάκλασης, η σεισμική ενέργεια μεταφέρεται πίσω στον δέκτη σε κάποιο χρονικό διάστημα. Επομένως απαιτείται επεξεργασία ώστε αυτό να διορθωθεί⁵.

3.3.1.6 Διάταξη κοινού μέσου σημείου ανάκλασης (Common MidPoint)

Ένα από τα πιο ισχυρά εργαλεία που χρησιμοποιούνται στην σεισμική διασκόπηση για την συλλογή δεδομένων (υπολογισμός ταχύτητας διάδοσης κύματος) είναι η διάταξη CMP.

Η CMP είναι μια τεχνική σεισμικής έρευνας και επεξεργασίας η οποία συλλέγει δεδομένα από ανακλάσεις που προέρχονται από το ίδιο σημείο ασυνέχειας σε βάθος, στην περίπτωση που η ασυνέχεια είναι οριζόντια. Παρ' όλα αυτά, ακόμη και αν η ασυνέχεια βρίσκεται υπό κλίση, το κοινό σημείο ανάκλασης είναι τόσο μικρό που μπορεί να θεωρηθεί οριζόντιο και έτσι στην

διόρθωση που θα ακολουθήσει αφαιρείται μόνο η NMO (κανονική χρονική απόκλιση) από τα σήματα κοινού σημείο ανάκλασης³⁴.

Κατά την συλλογή λαμβάνεται μεγάλος αριθμός δεδομένων έτσι ώστε ο λόγος του σήματος προς το θόρυβο (S/N) να μπορεί να βελτιωθεί³⁶. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς πηγές και δέκτες μετακινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις έτσι ώστε το μέσο τους να παραμένει σταθερό, ενώ η μεταξύ τους απόσταση συνεχώς αυξάνεται.

Κατά την επεξεργασία τους ανασυντάσσουμε στις λεγόμενες CMP ομάδες. Η κύρια χρήση τους είναι στην ανάλυση της ταχύτητας σώρευσης (stacking velocity analysis)⁴¹. Με τη διάταξη της σώρευσης αυξάνεται ο λόγος του σήματος προς το θόρυβο και έτσι εμφανίζονται πιο ξεκάθαρα τα σήματα ανάκλασης³⁰.

3.3.1.7 Σεισμική Επεξεργασία

Στόχος της σεισμικής επεξεργασίας είναι να ενισχυθεί η ερμηνεύσιμη (χρήσιμη) σεισμική πληροφορία σε σχέση με το θόρυβο του σήματος καθώς και να τοποθετηθούν οι σεισμικοί ανακλαστήρες στους σωστούς x, y, z χώρους⁵.

Τα 3 κύρια στάδια στην επεξεργασία σεισμικών δεδομένων είναι:

1. Η αποσυνέλιξη (deconvolution)
2. Ανάλυση ταχύτητας και διόρθωση NMO
3. Σώρευση (Stacking)
4. Η μετανάστευση (migration)

Ωστόσο, απαιτούνται και άλλες διαδικασίες επεξεργασίας ώστε να ετοιμαστούν ή να ενισχυθούν τα σεισμικά δεδομένα πριν ή μετά από κάθε στάδιο από τα παραπάνω¹⁷.

▪ Αποσυνέλιξη

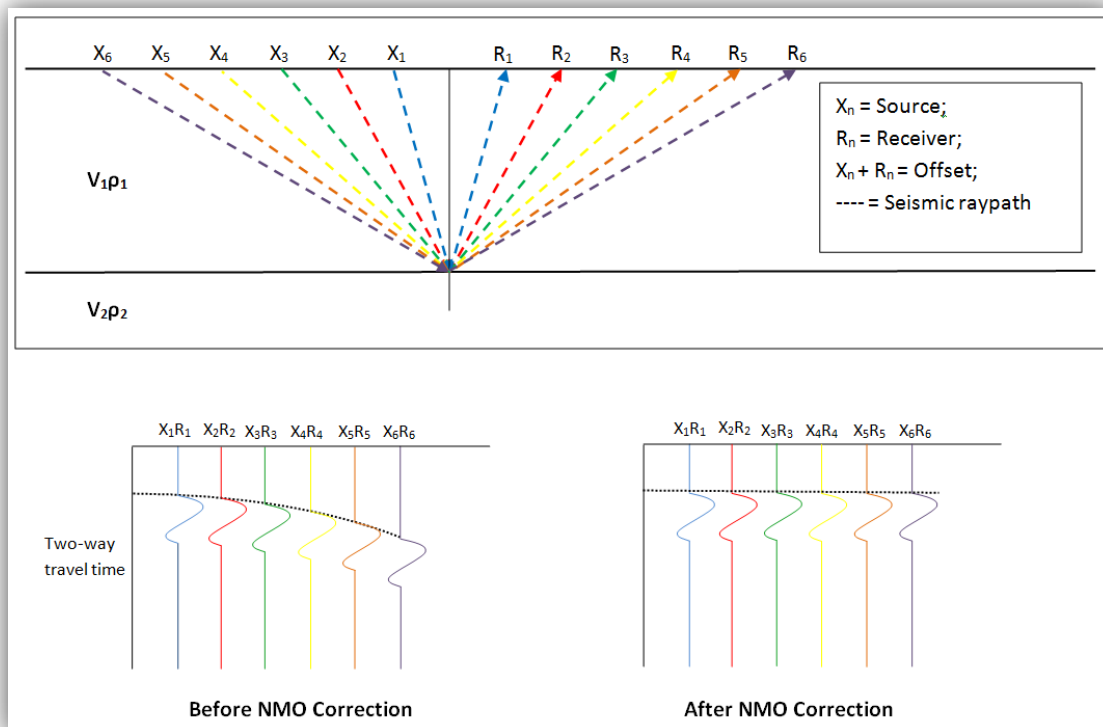
Η αποσυνέλιξη είναι μια διαδικασία φιλτραρίσματος η οποία αφαιρεί κυματίδια από τα καταγεγραμμένα σεισμικά ίχνη, αντιστρέφοντας την διαδικασία της ανέλιξης. Στόχος της είναι η ισοπέδωση του κυματιδίου και να μετατρέψει τη μορφή σου σε όσο το δυνατόν πιο εμφανή (οξείς κορυφές). Ουσιαστικά, με την αποσυνέλιξη γίνεται μια προσπάθεια απομάκρυνσης των επιδράσεων που ασκεί το γήινο φίλτρο¹⁷.

▪ Ανάλυση ταχύτητας και διόρθωση NMO (Normal-Moveout)

Η ταχύτητα των σεισμικών κυμάτων παίζει σπουδαίο ρόλο στην σεισμική έρευνα και επεξεργασία. Γενικότερα, υπάρχουν διάφοροι τύποι τέτοιων ταχυτήτων όπως η μέση ταχύτητα (average velocity), η ταχύτητα μέσης τετραγωνικής ρίζας (RMS) και η ταχύτητα διαστήματος (interval velocity).

Η διαφορά στον χρόνο που διανύουν τα κύματα μεταξύ της πηγής (zero-offset) και του καταγραφέα για κάθε CMP και ονομάζεται NMO¹⁷.

Η αρχή της διόρθωσης NMO βασίζεται στο εξής: οι ανακλάσεις ευθυγραμμίζονται χρησιμοποιώντας τη σωστή ταχύτητα, έτσι ώστε να υπάρχει οριζόντια απεικόνιση. Στη συνέχεια όλα τα επιμέρους ίχνη αθροίζονται. Έτσι πριν από την άθροιση η NMO έχει απομακρυνθεί από κάθε καταγραφή.



Πηγή: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/NMO_Correction.png

Για να υπολογιστεί η ταχύτητα που ισοπεδώνεται την υπερβολή μιας ανάκλασης χρησιμοποιούμε την «ανάλυση ταχύτητας». Η ταχύτητα αυτή δεν είναι πάντα η πραγματική RMS ταχύτητα. Έτσι προκύπτει ο εξής διαχωρισμός:

- v_{stack} : η ταχύτητα που δίνει το καλύτερο αποτέλεσμα σώρευσης
- v_{rms} : η πραγματική RMS ταχύτητα ενός στρώματος.

Για ένα οριζόντιο στρώμα με μικρές αποστάσεις από τη πηγή, και οι δύο παραπάνω ταχύτητες είναι παρόμοιες⁴².

Εάν έχει πραγματοποιηθεί σωστή διόρθωση NMO, τότε οι ανακλάσεις θα παρουσιαστούν ως ευθείες οριζόντιες γραμμές, οι διαθλάσεις πλέον θα εμφανίζονται ως ανάστροφες καμπύλες και τέλος οι περιθλάσεις και οι πολλαπλές αφίξεις θα διατηρούν κάποια κυρτότητα.

Η διόρθωση NMO βασίζεται στις διάφορες αποστάσεις από την πηγή και στην ταχύτητα. Ονομάζεται επίσης και «δυναμική διόρθωση» και αποτελεί εξαιρετικό εργαλείο για την διάκριση μεταξύ ανακλάσεων και άλλων φαινομένων (πχ. διαθλάσεων)⁴².

▪ Σώρευση (Stacking)

Η διάταξη της σώρευση παίζει σπουδαίο ρόλο στην βελτίωση της αναλογίας σήματος προς θόρυβο καθώς και στην ποιότητα απεικόνισης των σεισμικών δεδομένων.

Όλες οι ανακλάσεις από τα διάφορα σημεία που ανακλώνται σε κοινό σημείο διορθώνονται και αθροίζονται (stacking), έτσι ώστε να δημιουργήσουν ένα ίχνος για κάθε CMP. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση του λόγου σήματος προς θόρυβο, καθώς εμφανίζονται με μεγάλο πλάτος μόνο οι αναγραφές που οφείλονται σε ανακλάσεις των κυμάτων του CMP. Αυτό συμβαίνει διότι οι αναγραφές των ανακλάσεων αυτών βρίσκονται σε φάση, ενώ οι αναγραφές που οφείλονται στο θόρυβο αναιρούν ή μία την άλλη.

Τα αποτελέσματα αυτής της διάταξης είναι πιο αποτελεσματικά όταν η επιφάνεια από την οποία ανακλώνται τα κύματα είναι οριζόντια. Τα αντίθετα αποτελέσματα παρατηρούνται όταν η επιφάνεια ανάκλασης εμφανίζεται κεκλιμένη^{17,30}.

▪ Μετανάστευση στις εργασίες ανάκλασης

Είναι η διαδικασία κατά την οποία γίνεται η επανατοποθέτηση των ανακλώμενων σημάτων, έτσι ώστε να προβληθεί κάποια δομή ή γεωλογικό όριο στην πραγματική του θέση στο υπέδαφος καθώς και στο σωστό βάθος.

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι μετανάστευσης: η pre-stack μετανάστευση και η post-stack μετανάστευση. Η πρώτη μέθοδος περιλαμβάνει την μετακίνηση των σεισμικών δεδομένων πριν από τη διαδικασία της σώρευσης και η δεύτερη περιλαμβάνει την μετακίνηση σεισμικών δεδομένων αφού έχει προηγηθεί η σώρευση¹⁷.

- Pre-stack μετανάστευση

Είναι απαραίτητη όταν τα σεισμικά δεδομένα προσαρμόζονται/ρυθμίζονται πριν την διαδικασία σώρευσης. Η πιο γνωστή μορφή pre-stack μετανάστευσης, είναι αυτή της μετανάστευσης βάθους (PDM). Η τελευταία απαιτεί περισσότερες γνώσεις σχετικά με τις ταχύτητες των στρωμάτων και συνήθως εφαρμόζεται όταν σε αυτά παρατηρούνται περίπλοκα προφίλ αυτών των ταχυτήτων ή όταν είναι αρκετά δύσκολο να παρατηρηθούν περίπλοκες γεωλογικές δομές. Η pre-stack μετανάστευση αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για την μοντελοποίηση των διαπυρικών δομών άλατος εξαιτίας της ιδιαιτερότητάς τους. Ενώ είναι πολύ χρήσιμη, ο χρόνος και τα χρήματα που απαιτούνται για τη χρήση της, αποτελούν ένα σημαντικό περιοριστικό όριο⁴³.

- Post-stack μετανάστευση

Η διαδικασία αυτή βασίζεται στην άποψη ότι τα δεδομένα αντιπροσωπεύουν είτε πρωτογενή ανακλάσεις είτε διαθλάσεις. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας μια μέθοδο που περιλαμβάνει την αναδιάταξη των σεισμικών πληροφοριών, έτσι ώστε οι ανακλάσεις και οι διαθλάσεις να απεικονίζονται στις πραγματικές τους θέσεις. Η σημασία της μετανάστευσης οφείλεται στο γεγονός ότι διαφορετικές ταχύτητες και υπό κλίση σχηματισμοί επηρεάζουν τα δεδομένα ώστε η καταγραφή της επιφανειακής θέσης του να είναι τελικά διαφορετική της υπεδάφιας.

Η μετανάστευση αυτού του είδους επιτυγχάνεται δημιουργώντας μια σύνθετη καταγραφή και συνδυάζοντας ίχνη από διαφορετικές καταγραφές.

Συγκρίνοντας την pre-stack μετανάστευση με την post-stack, παρατηρείται ότι η τελευταία δεν δίνει τόσο καθαρά αποτελέσματα όσο η πρώτη. Η post-stack μετανάστευση δίνει καλά αποτελέσματα όταν η κλίση είναι μικρή⁴³.

3.3.2 Μέθοδοι κατά τη διάτρηση

3.3.2.1 Γεωτρήσεις

Μετά τις επιφανειακές γεωφυσικές μεθόδους, σειρά έχουν οι γεωτρήσεις.

Για την έρευνα και παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου απαιτείται η διάνοιξη γεωτρήσεων σε μεγάλα βάθη. Γεώτρηση είναι μια κατακόρυφη ή κεκλιμένη οπή που διανοίγεται στο υπέδαφος με ένα ειδικό μηχανικό μέσο που ονομάζεται γεωτρύπανο⁴⁴. Η διάμετρος της οπής είναι πολύ μικρή σε σχέση με το μήκος της και το τμήμα που έχει διατρηθεί επενδύεται με σωλήνωση και

τισιμεντάρεται το διάκενο μεταξύ της σωλήνωσης και των τοιχωμάτων της οπής. Η γεώτρηση αποκτά τηλεσκοπικό σχήμα (σε τομή), μειούμενης διαμέτρου αυξανόμενου του βάθους⁴⁵.

Οι διανοίξεις που προορίζονται για τον εντοπισμό και την εξερεύνηση των κοιτασμάτων ονομάζονται «ερευνητικά φρεάτια ή ερευνητικές γεωτρήσεις», ενώ οι διανοίξεις που χρησιμοποιούνται για παραγωγή από τα κοιτάσματα είναι γνωστές ως «παραγωγικά φρεάτια ή παραγωγικές γεωτρήσεις». Τα επιτυχημένα ερευνητικά φρεάτια μετατρέπονται σε παραγωγικά με προσθήκη κατάλληλου εξοπλισμού. Από τα μη επιτυχημένα θα απομακρυνθεί ο εξοπλισμός και η περιοχή θα αποκατασταθεί.

Συχνά, είναι απαραίτητο η γεώτρηση να μην είναι κατακόρυφη, αλλά να έχει κάποια γωνία κλίσης. Έτσι είναι εφικτό να φτάσει τμήματα του σχηματισμού που δεν θα μπορούσε να φτάσει εάν η γεώτρηση ήταν κατακόρυφη. Η γεώτρηση λοιπόν που τα τμήματά της παρουσιάζουν κλίση 80°-90° από τη κατακόρυφο, ονομάζεται οριζόντια γεώτρηση ενώ στην αντίθετη περίπτωση κεκλιμένη.

Η μονάδα μετρήσεως της κατασκευής του φρεατίου της γεωτρήσεως είναι το μέτρο (m) και σε μερικές χώρες το πόδι (ft). Το μέτρο χρησιμοποιείται σαν μονάδα για τη πληρωμή του αναδόχου εκτελέσεως της γεώτρησης¹.

Αξίζει να σημειωθεί ότι μόνο η γεώτρηση αποδεικνύει ότι στο υπέδαφος μιας περιοχής υπάρχει κοιτάσμα υδρογονανθράκων.

▪ Εξοπλισμός γεώτρησης

Ο κύριος εξοπλισμός μιας γεώτρησης περιλαμβάνει ένα κινητήρα μετάδοσης πίεσης και περιστροφικής κίνησης, τον ιστό ανάρτησης της διατρητικής στήλης και τον δειγματολήπτη.

Οι γεωτρήσεις ανάλογα με τη μέθοδο διάτρησης διακρίνονται σε:

1. **Περιστροφικές γεωτρήσεις:** η διάτρηση πραγματοποιείται με υδραυλική πίεση και περιστροφή της δειγματοληπτικής στήλης της γεώτρησης. Ταυτόχρονα γίνεται λήψη δειγμάτων από το υπέδαφος τα οποία έχουν κυλινδρικό σχήμα και ονομάζονται πυρήνες ή καρότα.
2. **Κρουστικές γεωτρήσεις:** η προχώρηση γίνεται κρουστικά χωρίς τη λήψη πυρήνων⁴⁶. Συγκεκριμένα η προχώρηση γίνεται με γρήγορες ανοδικές και καθοδικές κινήσεις της διατρητικής στήλης και κρούσεις του κοπτικού άκρου στον πυθμένα έτσι ώστε το υλικό σε αυτή την περιοχή να θρυμματιστεί⁴⁷.

Οι γεωτρήσεις μπορούν να διακριθούν σε τέσσερις κατηγορίες: στις γεωτρήσεις παραγωγής (production wells), στις γεωτρήσεις εισπίεσης (injection wells) και στις utility wells⁵.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι γεωτρήσεις που πραγματοποιούνται στο στάδιο της έρευνας ονομάζονται ερευνητικές γεωτρήσεις ή αλλιώς wildcats και διανοίγονται σε περιοχές όπου μετά από έρευνες έχει αποφασιστεί ότι περιέχουν σημαντικές παραγωγικές ποσότητες υδρογονανθράκων.

Οι ερευνητικές γεωτρήσεις έχουν σχετικά μικρή διάμετρο και η έρευνα του πετρώματος και του προς εξερεύνηση κοιτάσματος γίνεται με λήψη δειγμάτων τα οποία λαμβάνονται με τη μορφή πυρήνων (καρότο) ή θρυμμάτων, με δειγματοληψία υλικών που βρίσκονται στο πέτρωμα (νερό, πετρέλαιο, αέριο), καθώς και με συλλογή δεδομένων από διάφορες γεωφυσικές μετρήσεις. Κατά την περιστροφική μέθοδο γεώτρησης, για την εξαγωγή των θρυμμάτων χρησιμοποιείται συνήθως νερό και ενίοτε λάσπη (πολφός)^{1,48}.

Οι γεωτρήσεις παραγωγής προσφέρουν πληροφορίες σχετικά με τον ταμιευτήρα. Η θέση που θα γίνει η γεώτρηση καθορίζεται από διάφορους παράγοντες όπως η θέση και η δύναμη των υπόγειων υδροφόρων, η κατανομή των καλυμμάτων αερίου (gas caps), το βάθος του ταμιευτήρα, η ποιότητα και ο βαθμός της στρωματοποίησης και η πλευρική ετερογένεια, και τέλος η θέση και ο αριθμός των πιθανών εμποδίων στην ροή των ρευστών (ρήγματα, τσιμεντένιοι ορίζοντες, λιθολογία καλύμματος). Επίσης, η θέση πρέπει να καθοριστεί με βάση την μέθοδο παραγωγής που θα ακολουθηθεί, η οποία μπορεί να επηρεάζεται από την κατανομή των φυσικών παραγόντων που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Οι γεωτρήσεις εισπίεσης χρησιμοποιούνται για νερό ή για αέριο, ανάλογα με την μέθοδο ανάκτησης που χρησιμοποιείται ή ανάλογα με το πεδίο. Αυτές οι γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για την διατήρηση της πίεσης μέσα στον ταμιευτήρα κατά την διάρκεια της εξόρυξης του πετρελαίου. Η γεώτρηση εισπίεσης νερού θα είναι μικρότερης αξίας εάν το νερό που έχει εισαχθεί κινηθεί από την γεώτρηση εισπίεσης προς την γεώτρηση παραγωγής και παρακάμψει μεγάλο μέρος του πετρελαίου που βρίσκεται στον ταμιευτήρα. Η εισπίεση κρύου νερού μέσα σε πολύ ζεστό πέτρωμα μπορεί να οδηγήσει σε θερμική θραύση καθώς το πέτρωμα συρρικνώνεται γύρω από την περιοχή του φρεατίου γεώτρησης.

Οι utility wells χρησιμοποιούνται για την εισπίεση υγρών αποβλήτων ή θρυμμάτων ή σαν πηγή νερού, είναι απλής δομής και τις περισσότερες φορές είναι κατακόρυφες⁵.

Γενικά, τα επιτυχημένα γεωτρητικά ερευνητικά έργα απαιτούν εκτενή προγραμματισμό και σχεδιασμό. Συνήθως, οι γεωτρήσεις πραγματοποιούνται με απώτερο σκοπό την επίτευξη ενός ή συνδυασμό των παρακάτω στόχων:

- συλλογή πληροφοριών
- παραγωγή υδρογονανθράκων
- εισπίεση νερού ή αερίου ώστε να διατηρηθεί η πίεση
- απομάκρυνση νερού, θρυμμάτων ή CO₂¹⁷

3.3.2.2 Γεωτρύπανο (drilling rig)

Τα γεωτρύπανα είναι μηχανήματα που χρησιμοποιούνται κυρίως για τη διάτρηση και δειγματοληψία πετρωμάτων⁴⁸. Στα πρώτα στάδια της αναζήτησης υδρογονανθράκων ήταν ημι-μόνιμου χαρακτήρα και οι πύργοι (derricks) συχνά χτίζονταν επί τόπου. Με το τέλος των γεωτρητικών εργασιών παρέμεναν στο χώρο κατασκευής τους. Τα τελευταία χρόνια ωστόσο, τα γεωτρύπανα αποτελούν ακριβά προσαρμοσμένα μηχανήματα που μπορούν να μετακινηθούν από φρεάτιο σε φρεάτιο⁴⁹.

Στα γεωτρύπανα υπάρχει μια δειγματοληπτική στήλη, η προώθηση της οποίας γίνεται με μηχανή εσωτερικής καύσης μέσα από ένα σύστημα μετάδοσης κίνησης.

Ο τύπος του γεωτρύπανου που θα χρησιμοποιηθεί καθορίζεται από έναν αριθμό παραμέτρων. Συγκεκριμένα:

- το κόστος και την διαθεσιμότητα
- το βάθος νερού της τοποθεσίας (παράκτια εξόρυξη)
- την κινητικότητα (εξόρυξη στην ξηρά)
- το βάθος της ζώνης-στόχου και οι αναμενόμενες πιέσεις των σχηματισμών
- επικρατούσες καιρικές συνθήκες
- η εμπειρία του πληρώματος γεώτρησης⁴⁴

▪ Ταξινόμηση γεωτρύπανων⁴⁹

Υπάρχουν διάφοροι τύποι και σχέδια γεωτρύπανων, με πολλά από αυτά να είναι ικανά να συνδυάσουν διαφορετικά είδη τεχνολογιών ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες. Τα γεωτρύπανα

λοιπόν μπορούν να ταξινομηθούν χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- ανάλογα με την ενέργεια που χρησιμοποιείται:

- Μηχανική: το γεωτρύπανο χρησιμοποιεί μετατροπείς ροπής και μεταδότες που τροφοδοτούνται από τους δικούς τους κινητήρες
- Ηλεκτρική: τα κυριότερα τμήματα του μηχανήματος οδηγούνται από ηλεκτρικούς κινητήρες, συνήθως με την ενέργεια που παράγεται επιτόπου χρησιμοποιώντας κινητήρες εσωτερικής καύσης
- Υδραυλική: το γεωτρύπανο χρησιμοποιεί κατεξοχήν υδραυλική ενέργεια,
- Πνευματική: το γεωτρύπανο χρησιμοποιεί πεπιεσμένο αέρα
- Ατμός: χρησιμοποιούνται κυρίως ατμοκίνητες μηχανές και αντλίες

- ανάλογα με το σωλήνα που χρησιμοποιείται:

- Καλώδιο: χρησιμοποιείται για να ανυψώσει και να τοποθετήσει προς τα κάτω το κοπτικό άκρο
- Συμβατικό: χρησιμοποιεί μεταλλικό ή πλαστικό σωλήνα γεώτρησης διαφόρων τύπων
- Σπειροειδούς σωλήνωσης: χρησιμοποιεί μια τεράστια σπείρα σωλήνα και έναν ειδικό μοτέρ, το οποίο δίνει κίνηση στο κοπτικό άκρο σε κεκλιμένη γεώτρηση η οποία καταλήγει να γίνεται οριζόντια. Στο κεκλιμένο τμήμα δεν υπάρχει περιστροφή.

- ανάλογα με το ύψος:

- Μονό
- Διπλό
- Τριπλό

- ανάλογα με τη μέθοδο περιστροφής ή τη μέθοδο διάτρησης:

- Καμία περιστροφή: υπάρχει άμεση ώθηση του γεωτρύπανου. Με αυτό τον τρόπο λειτουργούν τα περισσότερα τμήματά του
- Περιστρεφόμενη τράπεζα: η περιστροφή επιτυγχάνεται με στροφή ενός τετράγωνου ή εξαγωνικού σωλήνα (Kelly) στο επίπεδο εργασίας
- Topdrive: η περιστροφή και κυκλοφορία πραγματοποιείται στη κορυφή της διατρητικής στήλης, σε ένα κινητήρα που κινείται κατά μήκος του πύργου

- Ηχητική (sonic): χρησιμοποιεί κατά κύριο λόγο δονητική ενέργεια για να προωθήσει τη διατρητική στήλη.
- Σφυρί: χρησιμοποιεί τη περιστροφική και κρουστική δύναμη

• ανάλογα με τη θέση του πύργου:

- Συμβατική: ο πύργος βρίσκεται σε κάθετη θέση
- Με κλίση: ο πύργος έχει κλίση με γωνία 45° , έτσι ώστε να διευκολύνεται η οριζόντια διάτρηση

▪ Εξοπλισμός γεωτρύπανου

Τα κύρια τμήματα από τα οποία αποτελείται ένα γεωτρύπανο είναι:

1. Σύστημα ισχύος (Power system)
2. Σύστημα ανύψωσης (Hoisting system)
3. Σύστημα κυκλοφορίας ρευστού διάτρησης (Fluid Circulating system)
4. Περιστρεφόμενος εξοπλισμός (Rotating equipment)
5. BOP (Σύστημα αντεκρηκτικού μηχανισμού)

3.3.2.2.1 Σύστημα ισχύος (Power System)

Το σύστημα ισχύος αποτελεί την καρδιά του γεωτρύπανου. Κάθε γεωτρύπανο χρησιμοποιεί κινητήρες εσωτερικής καύσης ως πρωταρχική πηγή ενέργειας ή κινητήριας δύναμης. Σήμερα, οι περισσότεροι κινητήρες είναι diesel. Οι κινητήρες που βρίσκονται στις εξέδρες της ξηράς τοποθετούνται συνήθως σε επίπεδο έδαφος σε κάποια απόσταση από το έδαφος της εξέδρας γεώτρησης και χρησιμοποιούν μεγάλες ηλεκτρικές γεννήτριες. Οι γεννήτριες, με τη σειρά τους, παράγουν ηλεκτρική ενέργεια που αποστέλλεται μέσω καλωδίων σε έναν ηλεκτρικό διακόπτη⁵⁰.

Το σύστημα ισχύος ενός περιστροφικού γεωτρύπανου πρέπει να παρέχει ενέργεια στα παρακάτω:

- στο σύστημα περιστροφής
- στο σύστημα ανύψωσης
- στο σύστημα κυκλοφορίας ρευστού διάτρησης

Επιπλέον, πρέπει να τροφοδοτήσει με ενέργεια βοηθητικά τμήματα όπως τον αποτροπέα εκρήξεων (blowout preventer), τις αντλίες νερού, τα σύστημα φωτισμού εξέδρας κ.α..

Η μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας γίνεται από το σύστημα ανύψωσης και το σύστημα κυκλοφορίας, και έτσι αυτά τα δύο καθορίζουν τις ενεργειακές απαιτήσεις. Σε συνήθεις γεωτρητικές εργασίες, το σύστημα ανύψωσης και το σύστημα κυκλοφορίας του ρευστού διάτρησης δεν λειτουργούν ταυτόχρονα. Παρ' όλα αυτά οι κινητήρες είναι ικανοί να παράγουν ενέργεια για την παράλληλη λειτουργία και των δύο συστημάτων⁵¹.

3.3.2.2.2 Σύστημα ανύψωσης (Hoisting System)

Η λειτουργία του συστήματος ανύψωσης είναι να τοποθετεί και στην συνέχεια να απομακρύνει από την οπή της γεώτρησης τον απαραίτητο εξοπλισμό το ταχύτερο δυνατό ώστε να μην υπάρχουν οικονομικές απώλειες⁵².

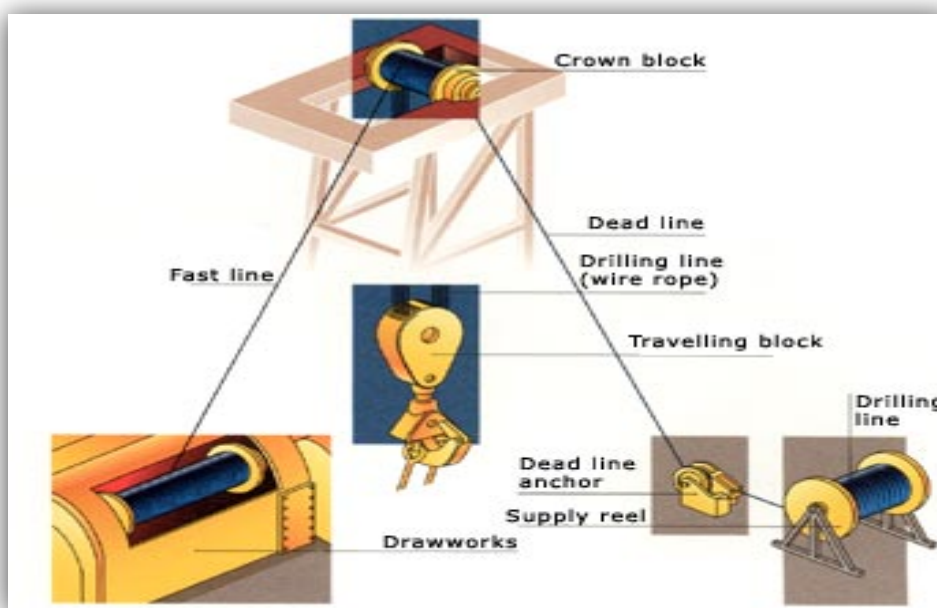
Το σύστημα αυτό αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα τμήματα του γεωτρύπανου, εξαιτίας του οποίου πραγματοποιείται η γεώτρηση. Η κύρια εργασία του συστήματος ανύψωσης είναι να χαμηλώνει και να ανυψώνει τη διατρητική στήλη της γεώτρησης, τις σωληνώσεις (casings), καθώς και οποιοδήποτε άλλο εξοπλισμό βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια και μέσα ή έξω από τη γεώτρηση⁵¹.

▪ Εξοπλισμός συστήματος

Το σύστημα αυτό αποτελείται από:

- Τον πύργο του γεωτρύπανου (Derrick)
- Βαρούλκο (Drawworks)
- Κινούμενο συρματόσχοινο (Fastline)
- Σταθερό σύστημα τροχαλιών (Crown block)
- Κινητό σύστημα τροχαλιών (Travelling block)
- Σταθερόσυρματόσχοινο (Dead line)
- Αγκύρωση (Dead line Anchor)
- Καρούλι συρματόσχοινου (Storage reel)
- Άγκιστρο⁵¹

Το βαρούλκο είναι ένα μεγάλο και βαρύ τμήμα μηχανήματος που αποτελείται από ένα περιστρεφόμενο τύμπανο. Το τύμπανο φέρει ελικοειδείς αύλακες όπου και τυλίγεται το συρματόσχοινο το οποίο διέρχεται από σταθερό σύστημα τροχαλιών και τελικά καταλήγει στο καρούλι με το συρματόσχοινο και την αγκύρωση. Έτσι επιτυγχάνεται ίση κατανομή των φορτίων επί όλων των σημείων έδρασης του γεωτρύπανου. Στο τύμπανο μεταδίδεται κίνηση από τους κινητήρες και στην συνέχεια αυτό παρέχει την κίνηση στη διατρητική στήλη, η οποία με τη σειρά της ανυψώνει και χαμηλώνει τη κινητή τροχαλία, και κατά συνέπεια ανυψώνει ή χαμηλώνει τα φορτία στο άγκιστρο⁴⁵. Σκοπός του βαρούλκου είναι να παρέχει στο σύστημα ανύψωσης την απαραίτητη ενέργεια για να ανυψώνει και να χαμηλώνει τα μεγάλα βάρη της διατρητικής στήλης και των σωληνώσεων⁵¹. Πάνω του, έχει και ένα catshaft στο οποίο τοποθετούνται τα κοπτικά άκρα. Συνήθως τοποθετούνται τέσσερα κοπτικά άκρα ενώ δύο διαφορετικά είδη κοπτικών τοποθετούνται σε κάθε άκρο του catshaft το οποίο εκτείνεται έξω και από τις δύο πλευρές του βαρούλκου⁵⁰. Η ροπή στρέψης (breaking torque), που παρέχεται από το τύμπανο, πρέπει να έχει αρκετά μεγάλη αντοχή ώστε να μπορέσει να σταματήσει και να διατηρήσει τα βαριά φορτία της διατρητικής στήλης όταν αυτά χαμηλώνουν υπό μεγάλη ταχύτητα⁵¹.



Πηγή: <http://www.drillingfunds.com/hoisting.html>

Το συρματόσχοινο από το οποίο αποτελείται η διατρητική στήλη κυμαίνεται από $1^{1/8}$ έως $1^{1/2}$ ίντσες σε διάμετρο. Το σχοινί αυτό κατασκευάζεται από χαλύβδινα σύρματα και αποτελεί σε γενικές γραμμές μια αρκετά περίπλοκη κατασκευή⁵⁰.

Το σταθερό και κινητό σύστημα τροχαλιών αποτελούν ένα μεγάλο σύνολο τροχαλιών που βρίσκονται πάνω στην εξέδρα της γεώτρησης. Οι τροχαλίες και τα συρματόσχοινα συνδέουν τον πύργο του γεωτρήσανου με το σύστημα διάτρησης. Χρησιμοποιούνται επίσης στις διεργασίες σωλήνωσης αλλά και στην ανέλκυση, όποτε χρειαστεί⁵³.

Το τμήμα της διατρητικής στήλης που εκτείνεται έξω από το βαρούλκο μέχρι τη σταθερή τροχαλία ονομάζεται κινούμενο συρματόσχοινο (fastline-fast), διότι κινείται καθώς το κινητό σύστημα τροχαλιών ανυψώνεται ή χαμηλώνει στο πύργο της γεώτρησης. Το τέλος της γραμμής που εκτείνεται από τη σταθερή τροχαλία προς τα κάτω στο καρούλι τροφοδοσίας του συρματόσχοινου ασφαρίζεται. Αυτό το τμήμα της γραμμής ονομάζεται deadline-dead επειδή από τη στιγμή που θα ασφαλισθεί δεν κινείται⁵⁰.

Ο πύργος του γεωτρήσανου καθορίζει το μέγιστο φορτίο που μπορεί να φέρει καθώς και την αντοχή του γεωτρήσανου σε καταπόνηση λόγω των φορτίων του ανέμου. Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος του πύργου τόσο περισσότερα στελέχη μπορεί να χειριστεί ταυτόχρονα. Η υποδομή του αναλαμβάνει τα συνολικά φορτία (πύργου και περιστροφικής τράπεζας) και τα μεταφέρει στο έδαφος. Το ύψος της πρέπει να είναι τέτοιο έτσι ώστε κάτω από αυτή να τοποθετηθεί ο αντiekρηκτικός μηχανισμός⁴⁵.

3.3.2.2.3 Σύστημα κυκλοφορίας ρευστού διάτρησης (Fluid/Circulating system)

Το σύστημα κυκλοφορίας πολτού διάτρησης αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα του γεωτρήσανου το οποίο συνδυάζοντας καλή διάταξη, καλή ποιότητα πολφού και συσκευών κυκλοφορίας εξασφαλίζει τη σωστή εκτέλεση των γεωτρήσεων⁵³.

Η λειτουργία του συστήματος κυκλοφορίας λάσπης στην περιστροφική μέθοδο γεώτρησης, επιτρέπει τη κίνηση του πολτού από την επιφάνεια στο κατώτερο τμήμα του φρέατος και ξανά πίσω στην επιφάνεια. Συγκεκριμένα, το ρευστό κινείται μέσα στο εσωτερικό των διατρητικών στελεχών, γύρω από το κοπτικό άκρο και στη συνέχεια ανεβαίνει στην επιφάνεια από το δακτυλιοειδές διάστημα μεταξύ των διατρητικών στελεχών και των παρειών της γεωτρήσεως ή της σωληνώσεως.

«Λάσπη» είναι το κοινό όνομα που χρησιμοποιείται για όλα τα είδη των ρευστών που κινούνται στις γεωτρήσεις και μπορεί να βασίζεται στο πετρέλαιο, στο νερό ή να αποτελεί κάποια άλλη σύνθεση¹. Αποτελείται συνήθως από αργιλική σκόνη όπως μπεντονίτη, πετρέλαιο, νερό και διάφορα πρόσθετα και χημικά όπως καυστική σόδα, βαρύτη (θειώδη ορυκτά), λιγνίτη, πολυμερή και γαλακτωματοποιητές (emulsifiers)⁵⁴. Ο μπεντονίτης που χρησιμοποιείται ευρέως έχει την

ιδιότητα να σχηματίζει προσωρινή μεμβράνη στα τοιχώματα της γεώτρησης εμποδίζοντας την διαφυγή πολτού προς τους υδροπερατούς σχηματισμούς. Η μεμβράνη αυτή στερεοποιείται όταν σταματάει η κυκλοφορία και υγροποιείται όταν κινηθεί το ρευστό (θιζοτροπική ιδιότητα). Με τη χρήση του μπεντονίτη συγκρατούνται και προστατεύονται τα τοιχώματα από επικίνδυνες καταπτώσεις οι οποίες μπορεί να παγιδεύσουν το κοπτικό άκρο και να το οδηγήσουν σε φράξιμο μαζί με ολόκληρη τη διατρητική στήλη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μερική ή ολική απώλεια της στήλης έως και απώλεια της γεώτρησης. Για να αποφευχθεί η ολική απώλεια του πολτού διάτρησης (διαφυγή μέσα σε ρωγμές, διακλάσεις) πραγματοποιείται συνήθως τσιμέντωση του σχηματισμού στον οποίο παρουσιάστηκε το πρόβλημα.

Η λάσπη παρασκευάζεται σε δεξαμενές οι οποίες επικοινωνούν μεταξύ τους και διαθέτουν κατάλληλο σύστημα για την καθίζηση των τριμμάτων και των ανεπιθύμητων υλικών που προστίθενται κατά τη διάτρηση⁵³.

Η λάσπη που χρησιμοποιείται ανακυκλώνεται. Οι χονδρόκοκκοι σχίστες διαχωρίζονται στα κόσκινα καθαρισμού λάσπης πριν περάσουν μέσα από τα λεπτότερα φίλτρα. Στη συνέχεια αναταξινομούνται με νέα πρόσθετα πριν επιστρέψουν στην δεξαμενή όπου συγκρατείται η λάσπη⁵⁴. Το μίγμα λάσπης που κινείται σε αυτό το σύστημα είναι ένα ειδικά σχεδιασμένο μίγμα ώστε να ταιριάζει με το επιθυμητό πάχος ροής, με τις λιπαντικές ιδιότητες και το ειδικό βάρος.

Η λάσπη που εισέρχεται εξυπηρετεί διάφορους σκοπούς. Μερικοί από τους σημαντικότερους είναι:

- Μεταφέρει τα θρύμματα των πετρωμάτων στην επιφάνεια
- Διατηρεί τα θρύμματα εν αιωρήσει (αποφυγή καθίζησης) με τη διακοπή της κυκλοφορίας
- Ψύχει το κοπτικό άκρο και μειώνει τις τριβές της διατρητικής στήλης
- Λιπαίνει το σωλήνα του τρυπανιού και το κώνο (cone)
- Σταθεροποιεί τα τοιχώματα της γεώτρησης
- Τα ινώδη σωματίδια προσκολλώνται στην επιφάνεια της λάσπης και έτσι δεσμεύονται τα στερεά

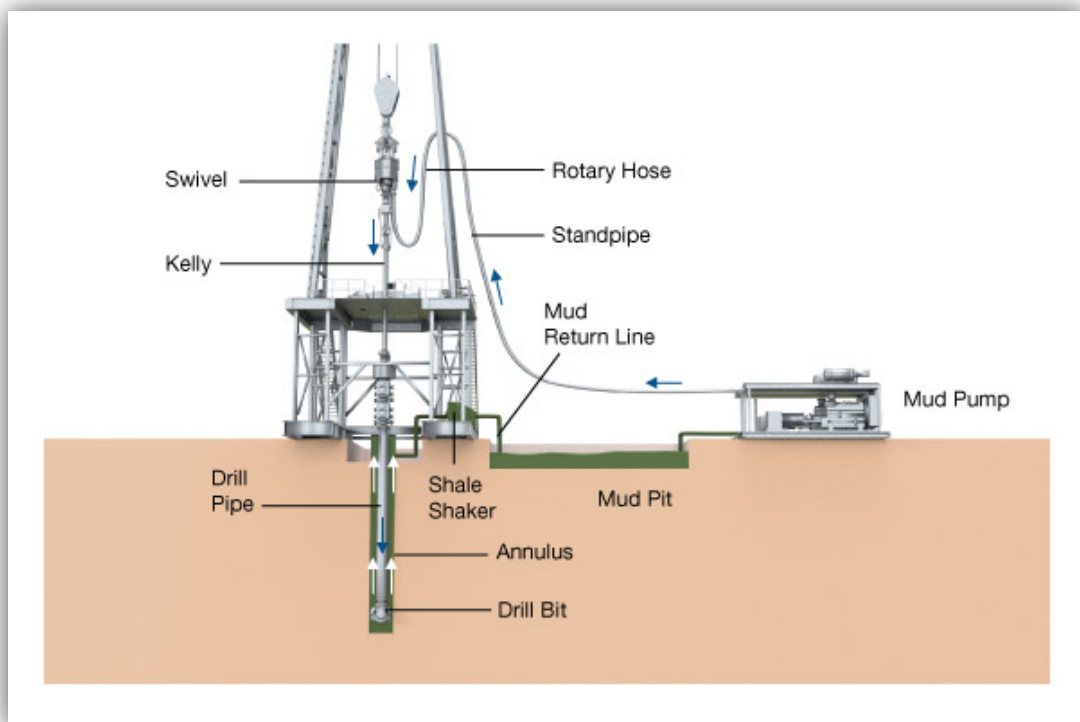
• Το βάρος της λάσπης εξισορροπεί τη πίεση εντός του φρέατος και έτσι αποφεύγεται η διαρροή πετρελαίου και φυσικού αερίου.

- Αποτρέπει την εισροή ρευστών στη γεώτρηση από τους διατρυόμενους σχηματισμούς
- Επιδρά στην αποτελεσματικότητα της διάτρησης^{52,54}

▪ Εξοπλισμός συστήματος

Το σύστημα λοιπόν κυκλοφορίας λάσπης αποτελείται κυρίως από:

- Αντλίες λάσπης/αεροσυμπιεστές
- Υψηλής πίεσης επιφάνειες συνδέσεως
- Διατρητική στήλη (drill strings)
- Σωλήνα γεώτρησης (drill pipe)
- Ακροφύσια (nozzles)
- Δακτυλιοειδές διάστημα (return annulus)
- Λάγκους λάσπης και δεξαμενές (δεξαμενή καθίζησης, δεξαμενή ανάμιξης, δεξαμενή αναρρόφησης)
- Εξοπλισμός για ανάμιξη λάσπης
- Εξοπλισμός απομάκρυνσης ρυπαντών



Πηγή: <http://www.petroleononline.com/content/overview.asp?mod=4>

Η ροή της διοχετευόμενης λάσπης πραγματοποιείται από το λάκκο αποθήκευσης λάσπης μέσω της δεξαμενής αναμίξεως λάσπης, όπου διάφορα πρόσθετα μπορούν να αναμιχθούν σε αυτή, ή τη γραμμή αναρρόφησης στις αντλίες λάσπης. Στις αντλίες λάσπης, η λάσπη πιέζεται μέχρι να λάβει την απαιτούμενη τιμή της πίεσης λάσπης και ωθείται διαμέσου ενός σταθερού σωλήνα που τοποθετείται στο πύργο της γεώτρησης, του σωλήνα λάσπης (ευέλικτη σύνδεση που επιτρέπει την

κίνηση της λάσπης μέσα στην κάθετα κινούμενη διατρητική στήλη) και μέσω του περιστρεπτού τροφοδότη στη διατρητική στήλη⁵¹. Η διατρητική στήλη, όπως αναφέρθηκε, είναι μια στήλη ενός σωλήνα γεώτρησης που μεταδίδει το ρευστό της γεώτρησης (μέσω των σωλήνων λάσπης) και την περιστροφική δύναμη (μέσω του διατρητικού στελέχους μεταδόσεως περιστροφής ή του topdrive) στο κοπτικό άκρο⁵².

Στη περίπτωση που το ρευστό διατρήσεως είναι υγρό, το σύστημα κυκλοφορίας περιλαμβάνει μία ή και περισσότερες αντλίες οι οποίες αναγκάζουν τη κυκλοφορία του ρευστού δια μέσου του περιστρεπτού τροφοδότη, της διατρητικής στήλης και του δακτυλιοειδούς διαστήματος. Στο τέλος, το ρευστό θα συγκεντρωθεί επιφανειακά σε κατάλληλες δεξαμενές. Η πρώτη δεξαμενή από την οποία περνάει το ρευστό είναι συνήθως η δεξαμενή καθιζήσεως όπου διαχωρίζονται θρύμματα από το ρευστό. Στην συνέχεια το ρευστό περνάει από τη δεξαμενή αναρροφήσεως από την οποία τροφοδοτείται και πάλι σε κυκλοφορία¹. Στη βιομηχανία χρησιμοποιούνται ευρέως δύο τύποι αντλιών λάσπης, οι αντλίες δύο κυλίνδρων (duplex) και οι αντλίες τριών κυλίνδρων (triplex) με παλινδρομικά έμβολα μετατόπισης. Οι δικύλινδρες είναι διπλής ενέργειας ενώ οι τρικύλινδρες είναι γενικά απλής ενέργειας⁵¹.

Στη περίπτωση που το ρευστό διατρήσεως είναι αέρας ή αέριο οι αντλίες αντικαθίστανται από ένα αεροσυμπιεστή. Σε αυτή τη περίπτωση δεν υπάρχουν οι δεξαμενές καθιζήσεως και αναρροφήσεως¹.

3.3.2.2.4 Περιστρεφόμενος εξοπλισμός (Rotating Equipment)

Η περιστροφική διάτρηση δημιουργεί πολύ μεγάλη δύναμη συμπίεσεως κατά μήκος της διατρητικής στήλης, σε συνδυασμό με τη περιστροφική κίνηση. Χρησιμοποιεί ένα αιχμηρό, περιστρεφόμενο τρυπάνι και η περιστροφή του επιτρέπει τη διεύθυνση ακόμη και στο πιο σκληρό πέτρωμα.

Ο περιστρεφόμενος εξοπλισμός αποτελείται από διάφορα τμήματα τα οποία χρησιμεύουν για τη περιστροφή του τρυπανιού. Από τη κορυφή προς τα κάτω, ο εξοπλισμός αυτός αποτελείται από:

1. Το κοπτικό άκρο (drill bit)
2. Τη διατρητική στήλη (drill string)
3. Τη περιστρεφόμενη τράπεζα (rotary table)
4. Το μηχανισμό διατρητικό μετάδοσης της κίνησης (Kelly)
5. Τον περιστρεπτό τροφοδότη (swivel)⁵¹

▪ Το κοπτικό άκρο (drill bit)

Το κοπτικό άκρο βρίσκεται στο κατώτερο άκρο της διατρητικής στήλης και αποτελεί εκείνο το τμήμα του γεωτρητικού εξοπλισμού το οποίο δημιουργεί το φρεάτιο της γεώτρησης, τρίβοντας και θρυμματίζοντας τα πετρώματα του πυθμένα. Με αυτή τη κίνηση θερμαίνεται σημαντικά και για αυτό το λόγο ψύχεται με τη χρήση διαφόρων ρευστών (νερού, αργιλικού πολτού ή αέρα)⁵³. Κάθε φορά γίνεται πολύ προσεκτική επιλογή των χαρακτηριστικών του. Η σημασία του φαίνεται από το γεγονός ότι πρώτα επιλέγονται τα κατάλληλα κοπτικά άκρα για τα πετρώματα, το βάθος και τη διάμετρο της γεωτρήσεως και έπειτα καθορίζεται το απαιτούμενο διατρητικό συγκρότημα. Διατίθεται σε διάφορους τύπους, με ποικιλία σε αντοχή και κόστος¹. Το μέγεθός της διαμέτρου τους ποικίλει από 9.5cm μέχρι 66 cm⁵².

Τα κοπτικά άκρα λαμβάνουν την ενέργεια κίνησής τους από τη μηχανή του γεωτρώπανου, δια μέσου της περιστροφικής τράπεζας ή ενός γραναζωτού μηχανισμού, και της διατρητικής στήλης.

Όπως αναφέρθηκε, το κοπτικό άκρο θρυμματίζει τα πετρώματα του πυθμένα και με αυτό τον τρόπο δημιουργεί το φρεάτιο της γεώτρησης. Η αποτελεσματικότητα θραύσης του κάθε πετρώματος εξαρτάται από το σχήμα του κοπτικού άκρου, τα σκληρά τμήματα του που προεξέχουν, τη σκληρότητα των υλικών που μόλις αναφέρθηκαν, τον τρόπο κυκλοφορίας και το είδος του πολτού, τα χαρακτηριστικά του γεωλογικού σχηματισμού (όπως σκληρότητα, πλαστικότητα, συνεκτικότητα κ.α.), τη ταχύτητα περιστροφής ή κρούσης και τη πίεση που ασκείται στη στήλη.

Κάθε φορά που το κοπτικό άκρο έρχεται σε επαφή με κάποιο πέτρωμα οι τρεις κώνοι περιστρέφονται και τα συναπτόμενα δόντια σπάνε ή θρυμματίζουν το πέτρωμα σε μικρά κομμάτια. Εξαιτίας της φθοράς του (που οφείλεται στο πέτρωμα και στον τρόπο χρήσης), παρότι είναι ακριβό, πρέπει να αντικαθίσταται έτσι ώστε η διατρήσεις που θα ακολουθήσουν να είναι επιτυχημένες⁵³.

▪ Τύποι κοπτικών άκρων

Τα κοπτικά άκρα διακρίνονται στους παρακάτω τύπους:

1. Στα κοπτικά άκρα με περιστρεφόμενους κώνους

Εμφανίζονται με ενσωματωμένους οδόντες ή με ένθετους (εμφυτευμένους) οδόντες. Στην περίπτωση των μαλακών πετρωμάτων (χαμηλά θλιπτικά φορτία) οι οδόντες τους είναι λεπτοί οξυλήκτοι, σχετικά μεγάλου μήκους και η διάταξή τους είναι αραιή. Στην περίπτωση των σκληρών πετρωμάτων (υψηλά θλιπτικά φορτία) οι οδόντες είναι μικρού μήκους και στρογγυλεμένοι ενώ η

διάταξή τους είναι πυκνότερη.

Υπάρχουν τρεις τύποι κοπτικών με περιστρεφόμενους κώνους:

- α. Το δίκωνο κοπτικό: με ενσωματωμένους οδόντες, για μαλακούς σχηματισμούς.
- β. Το τρίκωνο κοπτικό: είτε με ενσωματωμένους είτε με ένθετους οδόντες από καρβίδιο του βολφραμίου.
- γ. Το τετράκωνο κοπτικό: με ενσωματωμένους οδόντες, χρησιμοποιείται σε γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου μέσα σε μαλακούς κυρίως σχηματισμούς⁴⁵.



Τρίκωνο με χαλύβδινες κοπτικές άκρες



Τρίκωνο με βίδια

Πηγή: <http://www.elebor.gr/categories.asp?id=158>

2. Στις αδαμαντοκορώνες ή αδαμαντοκοπτικά (diamond bits)

Διαχωρίζονται ανάλογα με το είδος των φερόμενων διαμαντιών σε:

α. **Αδαμαντοκορώνες με φυσικά ή συνθετικά διαμάντια:** δεν περιλαμβάνουν κινούμενα μέρη και είναι κατάλληλα για μέτριους και σκληρούς, λειαντικούς σχηματισμούς. Τα αδαμαντοκοπτικά παρουσιάζουν μεγάλη διάρκεια ζωής σε σχέση με άλλους κοπτικούς τύπους και επομένως δεν είναι απαραίτητη η συχνή αντικατάστασή τους. Τα κοπτικά στοιχεία αποτελούνται από διαμάντια μικρού μεγέθους, γεωμετρικά κατανομημένα μέσα σε μια μήτρα από καρβίδιο του βολφραμίου και χάλυβα.

Ανάλογα με το μέγεθος των διαμαντιών δημιουργούνται τα κοπτικά κόκκου και τα κοπτικά κόνεως. Τα πρώτα αποτελούνται από διαμάντια σχετικά μεγάλου μεγέθους (έως 130 λίθοι/καράτι, 1 καράτι=0.2 gr) και χρησιμοποιούνται σε μαλακά και μέτριας σκληρότητας πετρώματα. Τα κοπτικά κόνεως από την άλλη μεριά αποτελούνται από διαμάντια μικρού μεγέθους (από 200-4.500 λίθοι/καράτι). Χρησιμοποιούνται σε σκληρά ή ρωγματωμένα πετρώματα.

β. Πολυκρυσταλλικά συμπαγή αδαμαντοκοπτικά (polycrystalline diamond compact bits–PCD bits): δεν περιλαμβάνουν κινούμενα μέρη και έτσι μειώνεται η πιθανότητα αστοχίας του κοπτικού. Σε αυτά δεν απαιτούνται μεγάλα βάρη πάνω στο κοπτικό και έτσι μπορεί να ελέγχεται η απόκλιση της τροχιάς σε κεκλιμένες γεωτρήσεις. Το κυριότερο μειονέκτημα τους αποτελεί το γεγονός ότι είναι ευαίσθητα σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 800°C⁴⁵.



Πηγή: <http://www.tubetechnologiesinc.com/markets/trenchless-utility/bits-hammers.php>

γ. Θερμικά σταθερά πολυκρυσταλλικά αδαμαντοκοπτικά (thermally stable polycrystalline diamond bits-TSP bits): έχουν υποστεί, σε αντίθεση με τα πολυκρυσταλλικά συμπαγή αδαμαντοκοπτικά, κατεργασία που εξαλείφουν τα μη συμβατά στοιχεία από την άποψη της θερμικής διαστολής. Τα διαμάντια σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται συχνά σε συνδυασμό με τα φυσικά διαμάντια⁴⁵.



Πηγή: <http://www.cn-cone-bit.com/tspd/>

3. Στα κοπτικά με ελάσματα (drag bits)

Αυτά τα κοπτικά αποτελούν τον παλαιότερο τύπο κοπτικών που χρησιμοποιήθηκαν στην περιστροφική διάτρηση.

Το πρώτο κοπτικό αυτού του τύπου διέθετε δύο ελάσματα ενώ σήμερα κατασκευάζονται με ένα ή περισσότερα κοπτικά ελάσματα και σε διάφορα σχήματα.

Τα ελάσματα αυτά είναι ενσωματωμένα πάνω στο κύριο σώμα του κοπτικού ή βρίσκονται στερεωμένα πάνω σε αυτό και περιστρέφονται όλα μαζί με τη διατρητική στήλη σαν ενιαία μονάδα.



Πηγή: <http://www.americanwestdrillingsupply.com/products2/DragBits.asp>

Τα κοπτικά με ελάσματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε μαλακούς, κολλώδεις, μη συνεκτικούς σχηματισμούς. Το μειονέκτημα της χρήσης του είναι ότι τα θρύμματα που δημιουργούνται προσκολλώνται πάνω στα ελάσματα του κοπτικού με αποτέλεσμα να μειώνεται η αποτελεσματικότητά του. Η απόδοσή του βελτιώνεται με την επιλογή των κατάλληλων ακροφυσίων⁴⁵.

▪ Η διατρητική στήλη (drill string)

Η διατρητική στήλη είναι μια μηχανική συνδεσμολογία κοίλων σωληνοειδών και η επιμήκυνσή της επιτυγχάνεται με διακοπή της γεώτρησης για λίγο χρόνο και σύνδεση στην κορυφή της διατρητικής στήλης νέου διατρητικού στελέχους^{44,45}. Η διατρητική στήλη συνδέει το γεωτρύπανο με το κοπτικό άκρο και μέσω αυτής επιτυγχάνεται η μετάδοση της περιστροφικής κίνησης στο κοπτικό και η κυκλοφορία της λάσπης. Στην επιφάνεια αναρτάται από τον γάντζο του περιστρεπτού τροφοδότη⁴⁵.

Επειδή οι συνθήκες στις οποίες εργάζεται η διατρητική στήλη είναι πολύ δύσκολες, πρέπει τόσο αυτή όσο και τα τμήματά της να είναι ανθεκτικά. Το κατάλληλο υλικό που δίνει υψηλές αντοχές και είναι σχετικά φθηνό είναι ο ανθρακούχος χάλυβας. Οι σύνδεσμοι, που είναι τα πιο ευαίσθητα τμήματα της διατρητικής στήλης, κατασκευάζονται από ειδικά κράματα χαλύβων (για μεγαλύτερη αντοχή).

Η διατρητική στήλη αποτελείται από:

- τα διατρητικά στελέχη (drill pipe)
- τα αντίβαρα (drill collar) και
- εξειδικευμένα subs (κάθε μικρού μήκους σωλήνας, αντίβαρο κ.α. με συγκεκριμένη λειτουργία) μέσω των οποίων το ρευστό διατρήσεως και η περιστροφική δύναμη μεταδίδονται από την επιφάνεια προς το κοπτικό άκρο⁵².

Ο σχεδιασμός της διατρητικής στήλης ξεκινά με τον προσδιορισμό του κατάλληλου μήκους, μεγέθους και αντοχής διατρητικών στελεχών.

Τα διατρητικά στελέχη αποτελούν εκείνο το τμήμα της διατρητικής στήλης με το μεγαλύτερο μήκος και συνδέουν την κατώτερη συνδεσμολογία με την επιφάνεια.

Η κύρια λειτουργία τους είναι να μεταφέρουν, υπό υψηλή πίεση, την περιστροφική κίνηση και το ρευστό διάτρησης στο κοπτικό άκρο. Κάθε διατρητικό στέλεχος αποτελείται από έναν σωλήνα

χωρίς ραφή και έναν σύνδεσμο (tool joint). Οι σύνδεσμοι είναι μικρού μήκους κύλινδροι που προσαρμόζονται στις άκρες των διατρητικών στελεχών. Τα στελέχη αυτά διαφέρουν από τα υπόλοιπα σωληνοειδή που χρησιμοποιούνται στην γεώτρηση καθώς έχουν την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης. Τα περισσότερα από αυτά κατασκευάζονται από χάλυβα ενώ ορισμένα που προορίζονται για ειδικές χρήσεις κατασκευάζονται από αλουμίνιο. Ο σχεδιασμός τους είναι τέτοιος ώστε να λειτουργούν σωστά υπό εφελκυστικές* συνθήκες.

Τα αντίβαρα (drill collars) αποτελούν τα σημαντικότερα τμήματα της κατώτερης συνδεσμολογίας. Χρησιμοποιούνται για να διατηρούν την διατρητική στήλη σε «ένταση» έτσι ώστε να μην λυγίζει και ασκούν θλιπτική** δύναμη πάνω στο κοπτικό άκρο (βάρος πάνω στο κοπτικό)) που διευκολύνει την αποσύνθεση του πετρώματος⁴⁵. Γι' αυτό το λόγο συνήθως έχουν μεγαλύτερη διάμετρο και παχύτερα τοιχώματα σε σχέση με τα διατρητικά στελέχη⁵⁰. Τα αντίβαρα επίσης, ελαχιστοποιούν τα προβλήματα ευστάθειας του κοπτικού άκρου που δημιουργούνται από κραδασμούς, ταλαντώσεις και αναπηδήσεις καθώς και τα προβλήματα ελέγχου της κατεύθυνσης της διάτρησης, παρέχοντας ακαμψία στην κατώτερη συνδεσμολογία. Όπως στην περίπτωση των διατρητικών στελεχών έτσι και σε αυτή των αντίβαρων, οι σύνδεσμοι είναι προσαρμοσμένοι πάνω τους και δεν αποτελούν ξεχωριστά κομμάτια.

Καθώς λοιπόν μειώνεται η εσωτερική διάμετρος της διατρητικής στήλης (από τα στελέχη και τα αντίβαρα) παρατηρούνται απώλειες πίεσης της κυκλοφορούσας λάσπης, καθώς αυτή διέρχεται από τα αντίβαρα. Γι' αυτό το λόγο επιλέγονται αντίβαρα με τη μεγαλύτερη δυνατή εσωτερική διάμετρο. Η μέγιστη εξωτερική διάμετρος που μπορεί να επιλεχθεί εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη διάμετρο της γεώτρησης καθώς και από την επιτρεπόμενη ταχύτητα των ρευστών στο δακτύλιο μεταξύ των τοιχωμάτων της γεώτρησης και των εξωτερικών τοιχωμάτων του αντίβαρου. Η ελάχιστη διάμετρος σχετίζεται με την ακαμψία της συνδεσμολογίας των αντίβαρων.

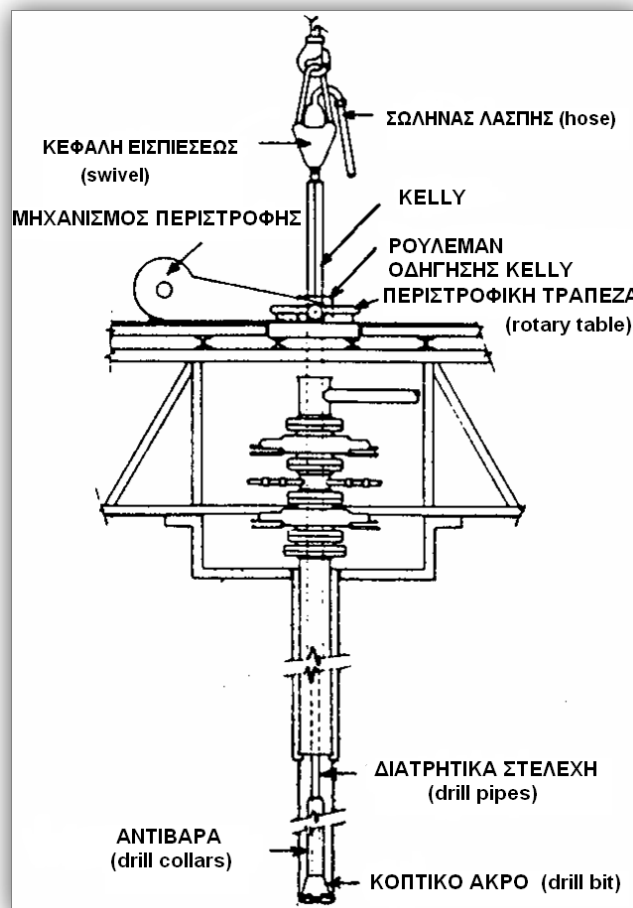
Μεταξύ των αντίβαρων και των διατρητικών στελεχών παρεμβάλλονται ειδικού τύπου διατρητικά στελέχη (με πιο παχιά τοιχώματα από τα συνήθη στελέχη) έτσι ώστε να μην υπάρχει μεγάλη διαφορά ακαμψίας μεταξύ τους. Αυτά ονομάζονται βαριά διατρητικά στελέχη. Με αυτή την τοποθέτηση επιτυγχάνεται ομαλή μετάβαση από τις εφελκυστικές συνθήκες στις θλιπτικές και το σημείο μηδενισμού του εφελκυσμού και θλίψης μετατοπίζεται μέσα στο μήκος των βαριών διατρητικών στελεχών⁴⁵.

Το επιφανειακότερο άκρο των στελεχών της διατρητικής στήλης συνδέεται συνήθως με το στέλεχος μετάδοσης της κίνησης του γεωτρήπανου και το σωλήνα που μεταφέρει το πολτό από την

αντλία ή τον αέρα από τον αεροσυμπιεστή. Στο κατώτερο άκρο του τελευταίου στελέχους προσαρμόζεται το κοπτικό άκρο.

Επίσης, στη διατρητική στήλη, τοποθετούνται κατά διαστήματα σταθεροποιητές για να διατηρήσουν, αυξήσουν ή μειώσουν την γωνία του ανοίγματος της γεώτρησης^{1,45}.

Συνήθως, στις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, στο επάνω μέρος της διατρητικής στήλης τοποθετείται ο τροφοδότης νερού, μέσω του οποίου διοχετεύεται νερό ή λάσπη στο κοπτικό άκρο⁴⁴. Ο τροφοδότης νερού αποτελείται από δύο τμήματα, το κατώτερο τμήμα που περιστρέφεται με τη διατρητική στήλη και το ανώτερο που παραμένει ακίνητο και συνδέεται με ελαστικό σωλήνα υψηλής πίεσης με την αντλία νερού ή λάσπης. Το ρευστό που διοχετεύει αφού περάσει από τη στήλη και το κοπτικό άκρο επανέρχεται στην επιφάνεια, ανάμεσα από τη στήλη και τα τοιχώματα της γεώτρησης, παρασύροντας μαζί του τα θρύμματα και λιπαίνοντας παράλληλα τα τοιχώματα¹.



Πηγή: http://ffden-2.phys.uaf.edu/212_spring2011.web.dir/Dan_Luo/web%20page/Drilling%20rig.html

** Εφελκυσμός ονομάζεται η καταπόνηση που υφίσταται το σώμα, εξαιτίας εξωτερικής δύναμης. Αποτέλεσμα της δράσης αυτής είναι η εφελκυστική παραμόρφωση η οποία τείνει να επιμηκύνει το σώμα κατά τη διεύθυνση της δύναμης⁵⁵.*

***Θλίψη ονομάζεται η καταπόνηση που υφίσταται το σώμα και ως αποτέλεσμα έχει τη δημιουργία θλιπτικής παραμόρφωσης. Κατά τη θλίψη, σε αντίθεση με τον εφελκυσμό, το σώμα τείνει να επιβραδυνθεί κατά τη διεύθυνση της δύναμης⁵⁵.*

▪ Η περιστροφική τράπεζα (rotary table)

Η περιστροφική τράπεζα είναι το τμήμα του γεωτρητικού συγκροτήματος που μεταδίδει, μέσω του Kelly, τη περιστροφική κίνηση στη διατρητική στήλη⁵³. Φέρει τον κύριο τριβέα (περιστρεφόμενος) και στο άνοιγμά του υπάρχουν τα ρουλεμάν οδήγησης του Kelly. Οι διαστάσεις του ανοίγματος πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να είναι εύκολη η δίοδος των κοπτικών που θα χρησιμοποιηθούν. Μέσα στο άνοιγμα τοποθετούνται λαβές για τον χειρισμό της διατρητικής στήλης⁴⁵.

▪ Μηχανισμός μετάδοσης της κίνησης (Kelly)

Το Kelly είναι το στέλεχος της διατρητικής στήλης που έχει τετραγωνική ή εξαγωνική διατομή και είναι κοίλο σε όλη την έκτασή του ώστε να διαπερνά το ρευστό της διάτρησης⁵². Η ροπή στρέψης μεταδίδεται σε αυτό μέσω του ρουλεμάν οδήγησης το οποίο προσαρμόζεται πάνω στην περιστροφική τράπεζα⁴⁵.

▪ Ο περιστρεπτός τροφοδότης ή κεφαλή εισπίεσης

Ο περιστρεπτός τροφοδότης ενώνεται με το στέλεχος Kelly και αναρτάται από το άγκιστρο. Αποτελεί το πρώτο περιστρεφόμενο τμήμα του συστήματος και έχει τρεις λειτουργίες:

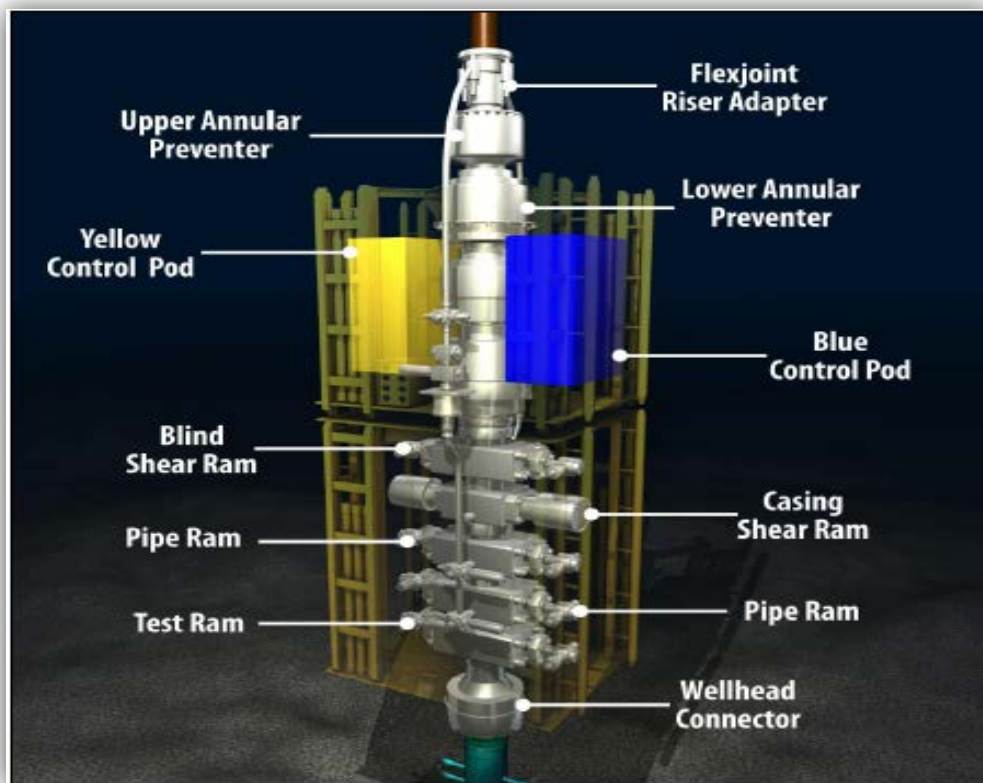
1. Αποτρέπει την μετάδοση της περιστροφικής κίνησης στα τμήματα του εξοπλισμού που βρίσκονται πάνω από το άγκιστρο. Αυτό επιτυγχάνεται με την περιστροφή μόνο του μισού κατώτερου τμήματος του τροφοδότη.
2. Φέρει το βάρος της διατρητικής στήλης καθώς σε αυτό τοποθετείται το Kelly και στην συνέχεια ακολουθεί η υπόλοιπη διατρητική στήλη.

3. Μέσω αυτού εισπνέζεται το ρευστό διάτρησης εντός του Kelly και της διατρητικής στήλης⁴⁵.

3.3.2.2.5 Σύστημα αντiekρηκτικού μηχανισμού (BlowOut Preventer-BOP)

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό ασφαλείας σε κάθε σύγχρονο γεωτρητικό συγκρότημα είναι το σύστημα αντiekρηκτικού μηχανισμού του φρέατος ή αλλιώς το BOP. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως το βάρος της λάσπης που χρησιμοποιείται εξισορροπεί τη πίεση εντός του φρέατος και έτσι αποφεύγεται η ανεξέλεγκτη διαρροή πετρελαίου και φυσικού αερίου μέσα στη γεώτρηση, με σοβαρούς κινδύνους για το προσωπικό καθώς και το έργο στο σύνολό του. Στην περίπτωση που η λάσπη δεν επιτύχει την παραπάνω λειτουργία (υδροστατική πίεση > πίεση σχηματισμού) μπορεί να προκύψει εκτίναξη (kicks) ή/και έκρηξη (blowout), μια κατάσταση δηλαδή στην οποία ρευστά του σχηματισμού ρέουν στην επιφάνεια με ανεξέλεγκτο τρόπο. Το ίδιο μπορεί να συμβεί και κατά τη διάτρηση του ταμιευτήρα. Για να αποφευχθούν τέτοια επικίνδυνα φαινόμενα τοποθετείται ειδικός εξοπλισμός, που περιλαμβάνει τον αντiekρηκτικό μηχανικό BOP (κύριος εξοπλισμός) καθώς και συμπληρωματικός εξοπλισμός (βαλβίδες, βάνες, πίνακας ελέγχου κ.α.)

Τα BOPs λοιπόν, είναι ισχυρά στοιχεία σφράγισης που έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να κλείσουν τον δακτυλιοειδή χώρο μεταξύ της διατρητικής στήλης και των τοιχωμάτων του πηγαδιού, από τον οποίο η λάσπη επιστρέφει στην επιφάνεια⁴⁵. Με τη σφράγιση αυτής της διαδρομής, η γεώτρηση μπορεί «να κλείσει» και με αυτό το τρόπο λάσπη και/ή τα ρευστά του σχηματισμού αναγκάζονται να κινηθούν μέσω της ρυθμιζόμενης βαλβίδας. Έτσι το προσωπικό του συγκροτήματος μπορεί να ελέγχει τη πίεση που φθάνει στην επιφάνεια.



Πηγή: http://www.eoearth.org/files/164401_164500/164459/bop.png

Με το κλείσιμο αυτής της βαλβίδας το προσωπικό ανακτά συνήθως τον έλεγχο του ταμειυτήρα. Αφού συμβεί αυτό, μπορούν να ξεκινήσουν οι διαδικασίες για να αυξηθεί η πυκνότητα της λάσπης έως τη στιγμή που θα μπορεί να ανοιχθεί και πάλι το BOP και να διατηρηθεί ο έλεγχος της πίεσης του σχηματισμού.

Τα BOPs υπάρχουν σε πολλά μεγέθη, σχέδια και ταξινομήσεις ανάλογα με τη πίεση¹⁷. Τοποθετούνται κάτω από την υποδομή του γεωτρήπανου και μέσα στην οπή οδηγό. Στην περίπτωση που η διάτρηση γίνει υπό χαμηλή πίεση, με αφρό, αέρα ή λάσπη ενισχυμένη με αέρα (επομένως η πίεση που ασκεί το ρευστό είναι μικρότερη από την πίεση που επικρατεί στον πυθμένα της γεώτρησης) χρησιμοποιείται και ένα πρόσθετο περιστρεφόμενο τμήμα BOP που τοποθετείται πάνω από τη διάταξη του κανονικού BOP. Η κυκλοφορία του ρευστού γίνεται μέσω αυτού του πρόσθετου τμήματος και όχι μέσω του swivel. Η διατρητική στήλη διέρχεται μέσω του κύριου εξοπλισμού του αποτροπέα εκρήξεων⁴⁵.

Από τη στιγμή που αυτά είναι κρίσιμης σημασίας τόσο για την ασφάλεια του πληρώματος της εξέδρας όσο και για την ίδια τη γεώτρηση, ελέγχονται και αντικαθίστανται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Τα διαστήματα αυτά καθορίζονται κατά την αξιολόγηση των κινδύνων, την τοπική

πρακτική, το τύπο της γεώτρησης και τις νομικές απαιτήσεις. Οι δοκιμές που γίνονται διαφέρουν από τις καθημερινές δοκιμές λειτουργίας στα κρίσιμα πηγάδια, καθώς γίνονται σε μηνιαία βάση. Σε φρεάτια που θεωρείται πως τα προβλήματα ελέγχου είναι μικρής πιθανότητας, οι δοκιμές είναι λιγότερο συχνές⁵⁶.



Πηγή: http://www.saltire-energy.com/24_1-4_bop.htm

3.3.2.3 Σύστημα MWD (Measurement While Drilling) και LWD (Logging While Drilling)

Η συλλογή και μεταβίβαση δεδομένων από το φρεάτιο κατά την διάρκεια μιας γεώτρησης ονομάζεται MWD. Όποια πληροφορία συλλέγεται κατά την διάρκεια της μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη σοβαρών αποφάσεων σχετικά με την πορεία και την αποδοτικότητα της γεώτρησης⁵⁷. Οι μετρήσεις αυτές δίνουν στους χειριστές την δυνατότητα να εξοικονομήσουν χρόνο καθώς λαμβάνουν δεδομένα για την εκτίμηση του σχηματισμού παράλληλα με την διατρητική εργασία¹⁷.

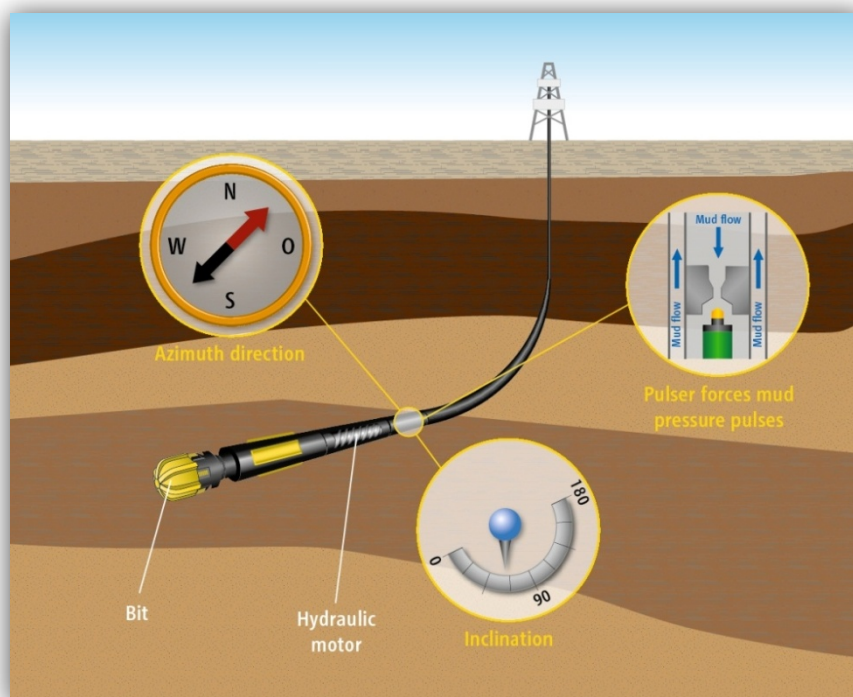
Το σύστημα MWD υπολογίζει ιδιότητες του σχηματισμού (για παράδειγμα την αντίσταση, την ακτίνα γ, το πορώδες), την γεωμετρία του φρέατος (κλίση, αζιμούθιο), τον προσανατολισμό του συστήματος της γεώτρησης καθώς και τις μηχανικές ιδιότητες της γεωτρητικής λειτουργίας. Το σύστημα αυτό δηλαδή μπορεί να αξιολογήσει τις φυσικές ιδιότητες (όπως και την πίεση και την

θερμοκρασία) καθώς και την τροχιά της γεώτρησης σε τρεις διαστάσεις, κατά την διάρκεια της διάτρησης.

Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται στο κάτω μέρος της γεώτρησης όπου διατηρούνται για κάποιο χρονικό διάστημα και στην συνέχεια μεταφέρονται στην επιφάνεια. Ο τρόπος μεταφοράς διαφέρει από εταιρεία σε εταιρεία, αλλά συνήθως περιλαμβάνει ψηφιακά κωδικοποιημένα δεδομένα και μεταφορά στην επιφάνεια, καθώς η πίεση στο σύστημα της λάσπης αυξάνεται. Αυτές οι πιέσεις μπορεί να είναι αρνητικές, θετικές ή συνεχή ημιτονοειδή κύματα.

Ορισμένα όργανα αυτού του συστήματος έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν τις μετρήσεις, ώστε σε περίπτωση που η μεταφορά τους αποτύχει να μπορούν αργότερα να ανακτηθούν⁵⁰.

Το σύστημα LWD περιλαμβάνει τα συστήματα και τις τεχνικές με τις οποίες συλλέγοντας πετροφυσικά δεδομένα από την γεώτρηση κατά την διάρκεια της διάτρησης⁵⁹. Τα όργανα LWD αποθηκεύουν και μεταφέρουν με παρόμοιο τρόπο τα δεδομένα, ενώ ορισμένα χαρακτηρίζονται από καλύτερης ποιότητας μνήμη παρέχουν μετά την έξοδο τους καλύτερης ανάλυσης αποτελέσματα σε σχέση με το εύρος φάσματος του συστήματος μεταφοράς των δεδομένων παλμού της λάσπης⁵⁰. Είναι μεγάλων διαστάσεων και οι αισθητήρες που διαθέτουν είναι τοποθετημένοι με τέτοιο τρόπο ώστε οι μετρήσεις του σχηματισμού που λαμβάνει να είναι ακριβείς. Τα όργανα του συστήματος αυτού μπορούν να τοποθετηθούν σε deviated γεωτρήσεις καθώς και σε ασταθείς γεωτρήσεις⁵⁹.



Πηγή: <https://www.rwe.com/web/cms/en/1475776/rwe-dea/know-how/drilling/measuring-equipment/>

3.3.2.4 Αποτίμηση ιδιοτήτων ταμιευτήρα

Στα αρχικά στάδια της αναζήτησης για την αποτίμηση των ιδιοτήτων του ταμιευτήρα, εφαρμόζονται συνήθως (εντός των γεωτρήσεων) συγκεκριμένες μέθοδοι σύμφωνα με τις οποίες λαμβάνονται δείγματα τόσο με τη μορφή θρυμμάτων όσο και με τη μορφή καρότων. Οι ιδιότητες του ταμιευτήρα που εξετάζονται από την πετροφυσική είναι:

- Το πορώδες
- Η διαπερατότητα
- Η λιθολογία
- Ο κορεσμός σε H_2O
- Η θερμική αγωγιμότητα

Ως βασικές (συμβατικές) πετροφυσικές ιδιότητες χαρακτηρίζονται η λιθολογία, το πορώδες, ο κορεσμός σε νερό - πετρέλαιο - φυσικό αέριο, καθώς και η διαπερατότητα².

Αναλυτικότερα:

▪ Πορώδες

Το πορώδες (n) ή ολικό πορώδες είναι ένα μέτρο των διακένων που υπάρχουν σε ένα πέτρωμα.. Αναφέρεται είτε ως κλάσμα είτε ως ποσοστό. Εκφράζεται με το λόγο του συνολικού όγκου των διακένων (V_K) προς τον συνολικό όγκο του πετρώματος ($V_{ολ}$): $n = V_K / V_{ολ}$.

Το ενεργό πορώδες αναφέρεται στον αριθμό των διακένων που επικοινωνούν μεταξύ τους και επιτρέπουν την ροή του νερού, η οποία επιτυγχάνεται υπό την επίδραση της βαρύτητας ή της υδροστατικής πίεσης. Μόνο το ενεργό πορώδες δίνει την δυνατότητα στα ρευστά να κινούνται⁶⁰. Με τον υπολογισμό του μπορεί να γίνει και προσδιορισμός του όγκου των υδρογονανθράκων σε συνθήκες in situ².

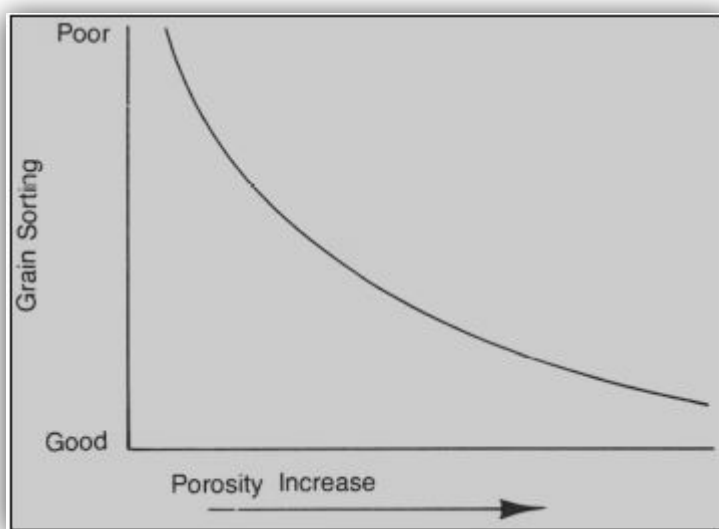
Το πορώδες επίσης χαρακτηρίζεται σαν πρωτογενές και σαν δευτερογενές. Το πρωτογενές πορώδες οφείλεται στα διάκενα που δημιουργήθηκαν κατά την διάρκεια σχηματισμού του πετρώματος. Εξαρτάται από τη διάταξη, το μέγεθος και την μορφή των κόκκων. Από την άλλη μεριά το δευτερογενές πορώδες οφείλεται στα διάκενα που δημιουργήθηκαν λόγω τεκτονισμού, αποσάθρωσης, διάλυσης, δράσης του έμβιου κόσμου κ.ά.

Ένα πορώδες πέτρωμα έχει την δυνατότητα να συγκρατεί τα υγρά⁶⁰. Εξ ορισμού, οι ταμιευτήρες πρέπει να είναι πορώδη πετρώματα. Οι περισσότεροι από αυτούς είναι πορώδεις από >0% μέχρι <40%.

Το πορώδες εξαρτάται από την ταξινόμηση των κόκκων του πετρώματος-ταμιευτήρα (σχήμα Γεωργακόπουλος Ανδρέας,

Σημειώσεις μαθήματος

“Κοιτασματολογία Πετρελαίου”, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2014). Για παράδειγμα οι καλά ταξινομημένοι κόκκοι (περίπου ίδιας διαμέτρου) παρουσιάζουν μεγάλο πορώδες, σε αντίθεση με τους φτωχά ταξινομημένους κόκκους, όπου οι μικρότεροι σε μέγεθος κόκκοι πληρώνουν τα διάκενα που δημιουργούνται μεταξύ των μεγαλύτερων κόκκων. Έτσι, μειώνεται το πορώδες και η υδραυλική αγωγιμότητα².



▪ Διαπερατότητα

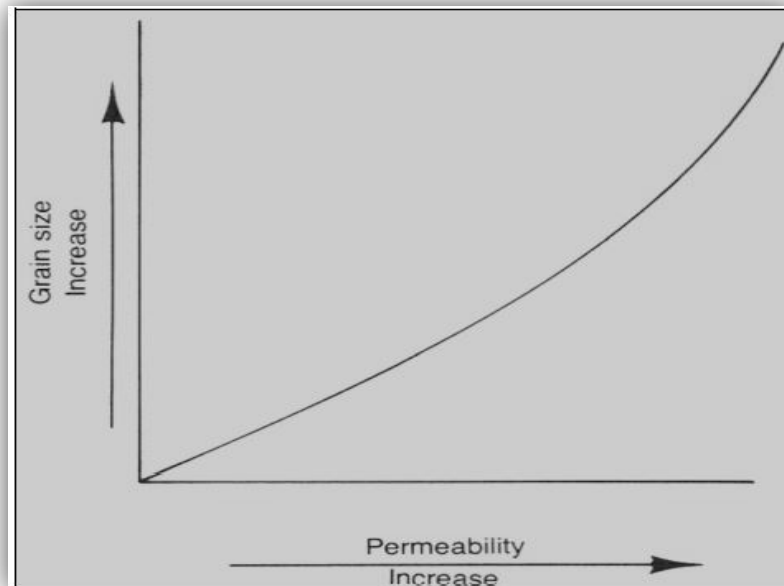
Η διαπερατότητα είναι μια παράμετρος που εξαρτάται μόνο από τα χαρακτηριστικά του πορώδους μέσου (σχήμα, μέγεθος, διάταξη κόκκων) και είναι ανεξάρτητη του ρευστού. Είναι ουσιαστικά συνάρτηση του μεγέθους των ανοιγμάτων, διαμέσου των οποίων κινείται το υγρό⁶¹. Σε αντίθεση με το πορώδες που είναι μια στατική ιδιότητα των πετρωμάτων, η διαπερατότητα είναι μια δυναμική ιδιότητα και για αυτό το λόγο μπορεί να μετρηθεί μόνο με πειράματα ροής σε δείγματα από τον ταμιευτήρα².

Ένα διαπερατό πέτρωμα έχει την ικανότητα να μεταφέρει υγρά. Ένας βιώσιμος ταμιευτήρας πρέπει να είναι διαπερατός, αλλιώς το πετρέλαιο δεν θα μπορεί να εξαχθεί. Αντίθετα, το πέτρωμα κάλυμμα πρέπει να είναι σε μεγάλο βαθμό αδιαπέρατο.

Η μονάδα μέτρησης της διαπερατότητας είναι το darcy (D), παρ' ότι σε πολλούς ταμιευτήρες μετράται σε millidarcies (mD), εφόσον τα πετρώματα που φιλοξενούν υδρογονάνθρακες παρουσιάζουν τιμές μεταξύ 5 και 500 mD. Το millidarcy (md) ισούται με 0,001 darcy, ενώ το microdarcy (μd) ισούται με 0,000001 darcy.

Λίγα πετρώματα έχουν τιμή διαπερατότητας ίση με 1 darcy. Τιμές διαπερατότητας άνω του 1 darcy είναι εξαιρετικά υψηλές, ανάμεσα σε 100 και 1000 mD εξαιρετικές, ανάμεσα σε 10 και 100 mD καλές, ανάμεσα σε 1 και 10 mD ικανοποιητικές και μικρότερες από 1 mD χαμηλές.

Ένα πέτρωμα με διαπερατότητα 1 darcy επιτρέπει ροή 1 cm³/sec ρευστού το οποίο έχει ιξώδες 1 centipoise (ιξώδες νερού στους 68°F) διαμέσου 1 cm² της επιφάνειας του με πτώση της πίεσης 1 atm/cm².



Παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ της διαπερατότητας και του μεγέθους των κόκκων του πετρώματος.

Πηγή: Γεωργακόπουλος Ανδρέας, Σημειώσεις μαθήματος “Κοιτασματολογία Πετρελαίου”, Αριστοτέλειο

Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2014

Τυπικά, η διαπερατότητα των ταμιευτήρων ισούται με 10D ή λιγότερο. Το φυσικό αέριο μπορεί να παραχθεί από ταμιευτήρες των 0.1 mD, ενώ οι ταμιευτήρες πετρελαίου πρέπει να είναι 10 φορές ή 100 φορές πιο διαπερατοί.

Η ροή των ρευστών διέπεται από την εξίσωση του Darcy:

$$Q = \left(\frac{k}{\mu} \right) \left(\frac{A(p_1 - p_2)}{B \cdot L} \right)$$

όπου:

Q = η παροχή (σε βαρέλια/ημέρα)

k = η διαπερατότητα σε Darcies

μ = το ιξώδες του ρευστού (σε centipoises)

A = η επιφάνεια δια μέσου της οποίας ρέει το ρευστό (σε cm^2 ή ft^2)

$p_1 - p_2$ = η πτώση της πίεσης

L = η απόσταση ροής του ρευστού

B = ο συντελεστής όγκου του σχηματισμού (σε Bbl)

Σημειώνεται ότι:

$1 \text{ m}^3 = 6.2898 \text{ barrels}$

$1 \text{ sec} = 0.000011574 \text{ day}$

$1 \text{ m}^3/\text{sec} = 543438.72 \text{ barrels/day}$

$Q \text{ in barrels/day} = 1.8401 \text{ cm}^3/\text{sec}$

$A \text{ in ft}^2 = 30.482 \text{ cm}^2$

$\Delta P \text{ in psi} = (1/14.696) \text{ atm}$

$L \text{ σε ft} = 30.48 \text{ cm}^2$.

Η εκτίμηση των αποθεμάτων (Oil reserves) γίνεται σε συνθήκες επιφανείας και όχι σε συνθήκες insitu και αυτό γιατί το πετρέλαιο όταν διατηρείται σε βάθος βρίσκεται υπό υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες. Έτσι, ο όγκος του είναι μεγαλύτερος. Σε αυτό το βάθος, μπορεί να εμπεριέχει διαλυμένο φυσικό αέριο χωρίς να είναι απαραίτητη η ύπαρξη κοιτάσματος φυσικού αερίου. Όταν λοιπόν πραγματοποιηθεί η εξόρυξη, το πετρέλαιο αυτό θα ψυχθεί, εφόσον βρίσκεται πλέον σε επιφανειακές συνθήκες όπου η θερμοκρασία και πίεση που επικρατούν είναι χαμηλότερες. Για αυτό το λόγο το φυσικό αέριο που μπορεί να εμπεριέχεται θα απομακρυνθεί. Καθώς λοιπόν το αέριο εκλύεται, ο όγκος του πετρελαίου μειώνεται. Έτσι ο συνολικός όγκος του πετρελαίου σε συνθήκες επιφανείας θα είναι μικρότερος από ότι ήταν σε συνθήκες insitu. Το ποσοστό αυτής της μείωσης ονομάζεται συμπιεστότητα πετρελαίου (S) και ποικίλει από 1.0 (χαμηλή περιεκτικότητα σε διαλυμένο αέριο) μέχρι 0.6 (υψηλή περιεκτικότητα σε διαλυμένο αέριο). Η μέτρηση γίνεται με «το βαρέλι αποθεμάτων πετρελαίου» στους 60° F (15° C) και στα 14.7 psi (101.325 kPa)⁶².

Με βάση τα παραπάνω λοιπόν, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι, για παράδειγμα, ένα βαρέλι πετρέλαιο σε συνθήκες in situ δεν ισοδυναμεί με την ίδια ποσότητα πετρελαίου σε επιφανειακές συνθήκες. Η ποσότητα πετρελαίου που απαιτείται για να παραχθεί η ίδια ποσότητα πετρελαίου σε επιφανειακές συνθήκες ισούται με το συντελεστής όγκου του σχηματισμού.

Ο συντελεστής όγκου του σχηματισμού ορίζεται ως ο λόγος του όγκου του πετρελαίου σε συνθήκες ταμειυτήρα (in situ), προς τον όγκο του πετρελαίου σε συνθήκες επιφανείας². Αυτός ο

συντελεστής χρησιμοποιείται για την μετατροπή του ρυθμού ροής του πετρελαίου σε συνθήκες επιφανείας, σε συνθήκες ταμιευτήρα. Ισούται με το αντίστροφο της συμπιεστότητας⁶³.

Ορίζεται ως εξής:

$$B = \frac{V_{reserve}}{V_{surface}}$$

Η τιμές αυτού του συντελεστή ποικίλουν από 1.0 μέχρι 1.7. Ο συντελεστής όγκου σχηματισμού που ισούται με 1.4 είναι χαρακτηριστικός των υψηλής συμπιεστότητας πετρελαίων που είναι γνωστά και ως πτητικά έλαια, ενώ η τιμή 1.2 είναι χαρακτηριστική για τα χαμηλής συμπιεστότητας πετρέλαια γνωστά και ως black oils¹.

▪ Λιθολογία

Η πλειοψηφία των πετρωμάτων-ταμιευτήρων των γνωστών κοιτασμάτων ανά τον κόσμο είναι ψαμμίτες, δηλαδή ιζήματα τα οποία παρουσιάζουν κλαστικά συστατικά με μέγεθος μεταξύ 2 και 1/16 mm. Στη σύστασή του αποτελείται από ποσοστά χαλαζία και αστρίων που ενώνονται μεταξύ σου σαν ενιαία μάζα με το συγκολλητικό υλικό. Η ορυκτολογική του σύσταση αντικατοπτρίζει ως ένα βαθμό τη πετρολογική του σύσταση καθώς και τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής προέλευσης των κλαστικών υλικών.

Η ποιότητα του ψαμμίτη, ως πέτρωμα-ταμιευτήρας, καθορίζεται από:

- Τη μορφολογία του ψαμμιτικού ορίζοντα
- Την έκταση του ταμιευτήρα
- Την ανισοτροπία που εμφανίζει ο ταμιευτήρας
- Την ορυκτολογική του σύσταση
- Τις πετροφυσικές του ιδιότητες.

Το αρχικό πορώδες αυτών των πετρωμάτων ισούται περίπου με 40%. Ωστόσο οι περισσότεροι από τους ψαμμιτικούς ταμιευτήρες εμφανίζουν μικρότερη τιμή πορώδους από του αρχικού λόγω της συγκόλλησης και όχι συμπαγοποίησης των κόκκων.

Η έκταση και το πάχος, το σχήμα, οι εσωτερικές δομές και η φύση της επαφής αυτών των πετρωμάτων με τα ιζήματα που περιέχουν, καθορίζονται από το περιβάλλον στο οποίο έχουν αποτεθεί.

Οι ανομοιογένειες που εμφανίζουν οι ψαμμιτικού ταμιευτήρες (προσανατολισμός διαπερατότητας, μέγεθος κόκκων) επηρεάζουν το ρυθμό και τη δυνατότητα άντλησης από τους ψαμμιτικούς ταμιευτήρες. Για αυτό το λόγο πρέπει να μελετάται προσεκτικά το σύστημα και να καθορίζονται με προσοχή οι θέσεις των γεωτρήσεων και η μεταξύ τους απόσταση.

Βάση της ταξινόμησης των ψαμμιτών, ως πολύ καλοί ταμιευτήρες χαρακτηρίζονται οι αρενίτες και οι αιολικής προέλευσης ψαμμίτες. Οι τελευταίοι εμφανίζουν καλή γεωμετρία και έτσι μπορούν να αποτελέσουν παγίδες υδρογονανθράκων.

Οι προϋποθέσεις για τη καλύτερη άντληση πετρελαίου και φυσικού αερίου από ψαμμιτικούς ταμιευτήρες είναι:

- Μεγάλο μέγεθος ταμιευτήρα
- Υψηλό πορώδες και χαμηλός κορεσμός σε νερό
- Σχετικά υψηλή διαπερατότητα
- Συνέχεια και κανονικότητα του συστήματος των πόρων

Εκτός όμως από τους ψαμμιτικούς ταμιευτήρες, υπάρχουν και οι ανθρακικοί ταμιευτήρες οι οποίοι βρίσκονται συνήθως σε θαλάσσια ιζήματα και σε διάφορα περιβάλλοντα απόθεσης. Μεταξύ των δύο κατηγοριών πετρωμάτων-ταμιευτήρα υπάρχουν βασικές διαφορές:

- Τα ανθρακικά πετρώματα εμφανίζουν μεγαλύτερη ετερογένεια από τα ψαμμιτικά, τόσο σε οριζόντια όσο και σε κάθετη διεύθυνση
- Η διαγενετική αλλοίωση μπορεί να είναι περιπλοκότερη στους ανθρακικούς ταμιευτήρες από ότι στους ψαμμιτικούς
- Οι ανθρακικοί ταμιευτήρες παρουσιάζουν χαμηλότερα ποσοστά ανάκτησης των υδρογονανθράκων, από ότι οι ψαμμιτικοί.

Η ποιότητα των ανθρακικών πετρωμάτων ως πέτρωμα-ταμιευτήρας καθορίζεται από μια σειρά παραμέτρων:

- Μορφολογία της ανθρακικής μάζας
- Έκταση του ταμιευτήρα
- Ανισοτροπία του ταμιευτήρα
- Λιθολογία
- Πετροφυσικές ιδιότητες
- Θραύση

- Μηχανισμοί παγίδευσης

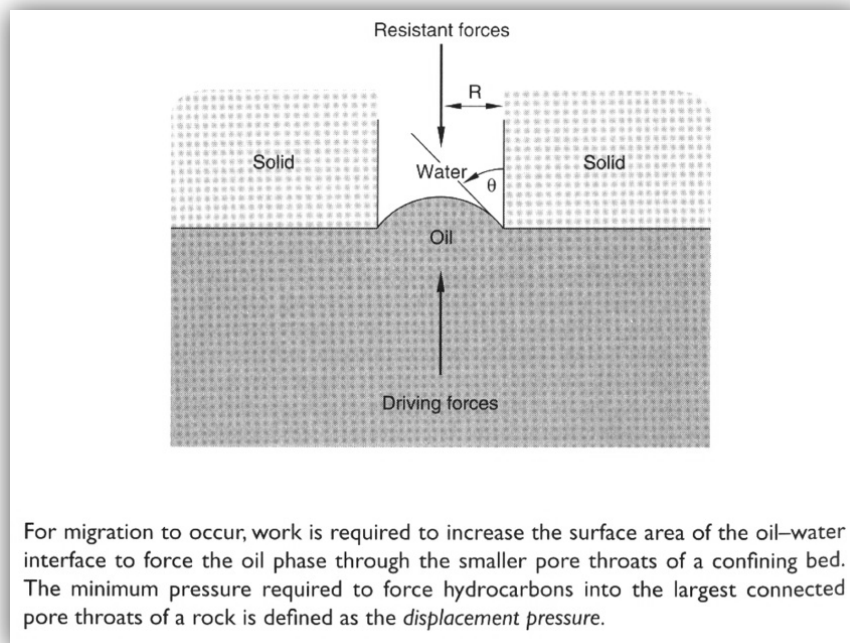
Τα ανθρακικά πετρώματα διακρίνονται σε δύο γενετικούς τύπους, τα αυτόχθονα (πχ ύφαλοι) και τα αλλόχθονα ανθρακικά πετρώματα. Ο τελευταίος τύπος παρουσιάζει ομοιότητες με τους ψαμμίτες λόγω της πλευρικής μεταφοράς υλικού.

Οι ανθρακικοί ταμιευτήρες είναι το αποτέλεσμα ενός ευνοϊκού συνδυασμού συνθηκών απόθεσης, διαγενετικής ιστορίας, κατάλληλων πετρωμάτων και σωστού timing τεκτονικών γεγονότων².

▪ Κορεσμός σε H₂O στο σημείο εισόδου των πόρων σε σχέση με τα κενά των πόρων

Με τον όρο κορεσμό εννοούμε την αναλογία μιας υγρής φάσης, σε ένα πορώδες σύστημα, προς την συνολική ποσότητα ρευστού.

Αρχικά οι πόροι ενός σχηματισμού είναι γεμάτοι νερό. Κατά την μετανάστευση του πετρελαίου μέσα στην δομή, το πετρέλαιο μετατοπίζει το νερό προς τα κάτω ξεκινώντας από τον μεγαλύτερο σε διαστάσεις διάκενο μεταξύ των πόρων, όπου απαιτείται χαμηλότερη τριχοειδής δύναμη. Έτσι το πετρέλαιο θα περάσει ανάμεσα από αυτούς τους πόρους.



Πηγή: Γεωργακόπουλος Ανδρέας, Σημειώσεις μαθήματος “Κοιτασματολογία Πετρελαίου”, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2014

Κατά την διάρκεια της συσσώρευσης, η διαφορά πίεσης μεταξύ της φάσης πετρελαίου και νερού αυξάνεται πάνω από το FWL (free water level), εξαιτίας της διαφορετικής πυκνότητας των δύο

υγρών. Καθώς γίνεται αυτό, το στενότερο διάκενο μεταξύ των πόρων αρχίζει να γεμίζει με πετρέλαιο ενώ το μικρότερο γεμίζει τελευταίο. Όταν δεν υπάρχει πλέον διαθέσιμο νερό προς μετακίνηση, ο ταμιευτήρας εμφανίζεται υπερκορεσμένος¹⁷.

▪ Θερμική αγωγιμότητα

Η φυσική ιδιότητα που σχετίζεται με τη μεταφορά της ενέργειας λέγεται θερμική αγωγιμότητα.

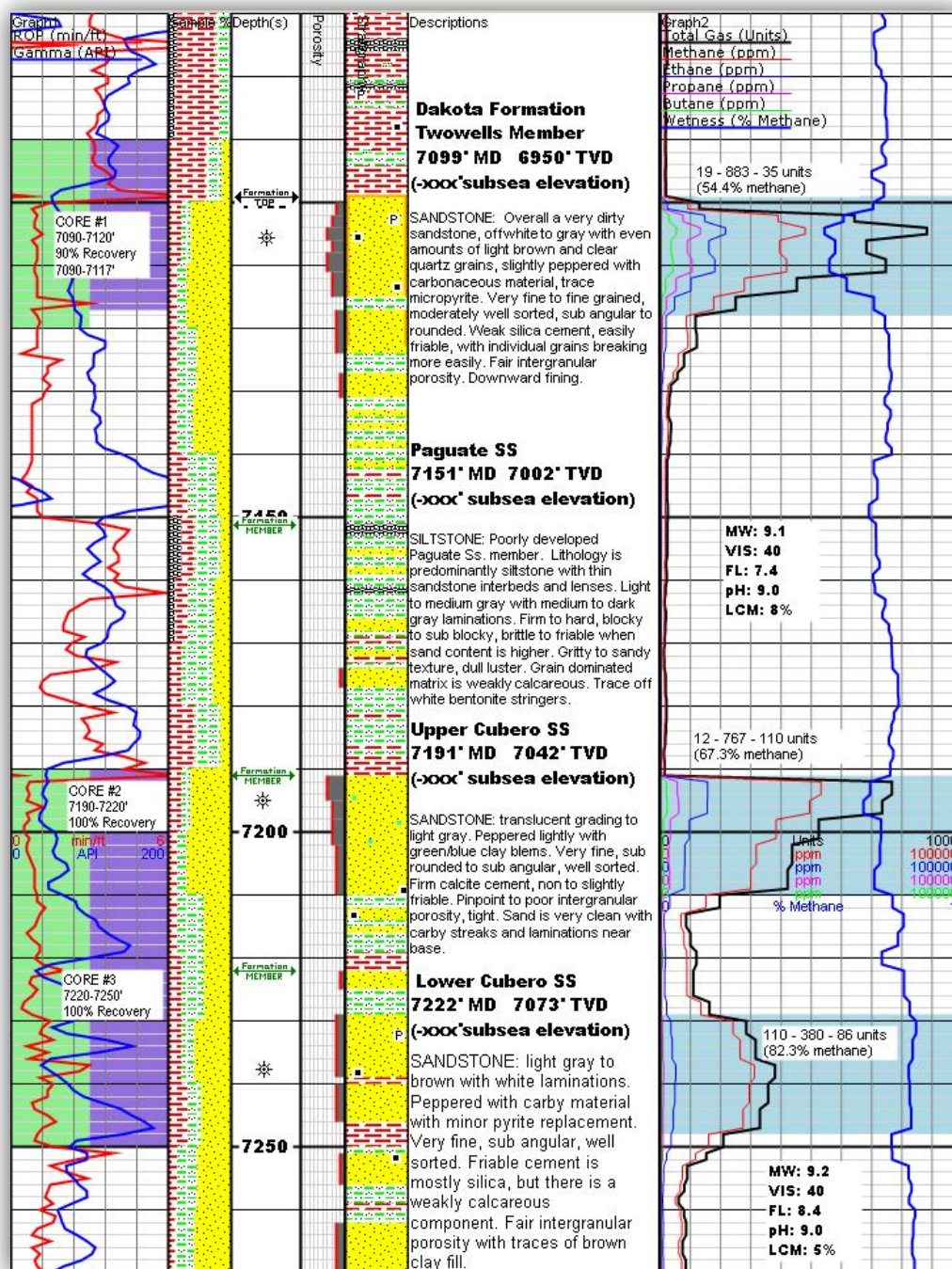
Οι μηχανισμοί για την μεταφορά θερμότητας είναι:

1. Αγωγή θερμότητας: μοριακός μηχανισμός μεταφοράς ενέργειας
2. Μεταφορά ενέργειας με συναγωγή: εξαρτάται από την ροή του ρευστού και έχει νόημα μόνο όταν υπάρχει ροή.
3. Μεταφορά ενέργειας με διάχυση: ισχύει για μείγματα που αλληλοδιαχέονται
4. Μεταφορά ενέργειας με ακτινοβολία: δεν χρειάζεται μέσον για να μεταδοθεί, όπως για μετάδοση με αγωγή και συναγωγή. Η ακτινοβολία μπορεί να μεταδοθεί και στο κενό⁶³.

Εντός των γεωτρήσεων λοιπόν, για τον προσδιορισμό όλων των παραπάνω ιδιοτήτων εφαρμόζονται μέσα στις γεωτρήσεις οι παρακάτω μέθοδοι.

3.3.2.4.1 Διαγραφίες πολφού (Mud-logging)

Οι διαγραφίες πολφού περιλαμβάνουν την καταγραφή της ταχύτητας διείσδυσης, την μικροσκοπική παρατήρηση της λιθολογίας των θρυμμάτων, την αξιολόγηση του συνολικού εύφλεκτου αερίου και των ενώσεων υδρογονανθράκων που ανέρχονται στην επιφάνεια κατά τη διάρκεια των γεωτρητικών εργασιών καθώς και των χημικών και μηχανικών ιδιοτήτων του γεωτρητικού ρευστού. Επίσης, προσφέρουν μια συνοπτική καταγραφή της γεωλογίας του υπεδάφους, των υδρογονανθράκων που συναντώνται καθώς και αξιόλογων δραστηριοτήτων κατά τη διάρκεια διάτρησης της γεώτρησης⁶⁵. Παρ' όλο που τα δεδομένα που λαμβάνονται από αυτού του είδους τις διαγραφίες δεν μπορούν άμεσα να σχετιστούν με τις ιδιότητες του αδιατάρακτου ταμιευτήρα, αποτελούν σημαντικό δείκτη πιθανών παραγωγικών οριζώντων στη γεώτρηση⁶⁶.



Παρουσιάζεται η στρωματογραφική στήλη όπως ερμηνεύτηκε από τα δεδομένα των κάθετων διαγραφιών, καθώς και η αναλυτική λιθολογική περιγραφή της. Στο δεξιό τμήμα της εικόνας φαίνεται η διακύμανση του ολικού αερίου (totalgas), του μεθανίου, αιθανίου, προπανίου, βουτανίου καθώς και η υγρασία (% μεθάνιο).

Πηγή: <http://www.softrockgeological.com/horizontal-vertical-mudlogging/>

Η λειτουργία των διαγραφιών πολφού στηρίζεται στο σύστημα κυκλοφορίας του πολφού, το οποίο μεταφέρει προς την επιφάνεια ρευστά και θρύμματα από την διάτρηση των σχηματισμών.

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, υψηλής πίεσης αντλίες οδηγούν τη λάσπη από μια επιφανειακή δεξαμενή προς το εσωτερικό του διατρητικού στελέχους. Από εκεί η λάσπη διοχετεύεται προς το κοπτικό άκρο μέσω ειδικών ακροφυσίων. Οι αντλίες πίεσης αναγκάζουν τη λάσπη να κινηθεί προς τα πάνω μέσω του δακτυλιοειδούς κενού που υπάρχει μεταξύ των διατρητικών στελεχών και των παρειών της γεώτρησης ή της σωληνώσεως και να ανέλθει στην επιφάνεια. Έπειτα περνάει από ένα δονούμενο κόσκινο καθαρισμού λάσπης (shale shakers) όπου διαχωρίζονται τα θρύμματα από τα ρευστά του πολφού και η λάσπη οδηγείται σε ειδικούς λάκκους πριν διοχετευθεί πάλι μέσα στη γεώτρηση. Το είδος των θρυμμάτων καθώς και ο χρόνος που αυτά θα ανέλθουν στην επιφάνεια εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η λιθολογία και η πίεση.



Πηγή: <http://www.noramws.com/mudlogging/>

Μετά την άνοδο των θρυμμάτων, ο mudlogger λαμβάνει δείγματα για να εξακριβώσει τη γεωλογία του υπεδάφους σε κάποιο συγκεκριμένο βάθος. Επομένως, τα θρύμματα πρέπει να είναι τόσο μεγάλα ώστε να μπορούν να συγκρατηθούν από το κόσκινο καθαρισμού. Το μέγεθός τους καθορίζεται από τη συνεκτικότητα του πετρώματος σε συνδυασμό με το μέγεθος των κόκκων του. Στο κόσκινο η υψηλή πίεση μπορεί να επηρεάσει το μέγεθος των θρυμμάτων καθώς επίσης και ο τύπος του κοπτικού άκρου. Τα πολυκρυσταλλικά συμπαγή αδαμαντοκοπτικά (PDC) στους μαλακούς σχηματισμούς χρησιμοποιούν μεγάλους κοπτήρες και έτσι σχηματίζονται μεγάλου μεγέθους θρύμματα. Οι πιο σκληροί σχηματισμοί από την άλλη μεριά απαιτούν μικρότερους PDC

κοπτήρες, οι οποίοι σχηματίζουν μικρότερα θρύμματα⁶⁵.

▪ Υπολογισμός χρόνου υστέρησης (lag time)

Για το χαρακτηρισμό της λιθολογίας ενός συγκεκριμένου τμήματος της γεώτρησης, ο mudlogger πρέπει να λάβει υπόψη του τη ταχύτητα μεταφοράς των θρυμμάτων. Έτσι μπορεί να προσδιορίσει σωστά για το ποιος είναι ο χρόνος που χρειάζεται ώστε τα θρύμματα να φτάσουν από το κοπτικό άκρο στο κόσκινο καθαρισμού που βρίσκεται στην επιφάνεια. Αυτή η υστέρηση σε χρόνο αυξάνεται με το βάθος ενώ παίρνει μόλις λίγα λεπτά στην περίπτωση διάτρησης του ανώτερου τμήματος της γεώτρησης. Ο ακριβής προσδιορισμός αυτού του χρόνου είναι πολύ σημαντικός για τον ακριβή συσχετισμό των θρυμμάτων και των δειγμάτων ρευστών με τους σχηματισμούς και τα βάθη από τα οποία αυτά προέρχονται. Μια μέθοδος για τον προσδιορισμό αυτής της υστέρησης είναι ο υπολογισμός του χρόνου που απαιτείται ώστε να εκτοπιστεί ο συνολικός δακτυλιοειδής όγκος του υγρούς γεώτρησης. Ωστόσο τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι αρκετά αισιόδοξα, υποτιμώντας τον όγκο της τρύπας της γεώτρησης καθώς δεν λαμβάνεται υπόψη η τραχύτητα ή τα διαβρωμένα/εκπλυμένα, τα οποία επιδρούν στον όγκο της λάσπης και στη ταχύτητα ροής.

Μια πιο αξιόπιστη μέθοδος υπολογισμού του χρόνου υστέρησης μπορεί να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας έναν ειδικό ανιχνευτή ο οποίος τοποθετείται στο εσωτερικό της γεώτρησης και ανιχνεύεται κατά την επιστροφή του στην επιφάνεια. Τις περισσότερες φορές ο ανιχνευτής αυτός τυλίγεται σε λεπτό χαρτί, στην συνέχεια τοποθετείται στο εσωτερικό του διατρητικού στελέχους καθώς δημιουργείται μια επαφή στο πυθμένα της γεώτρησης. Το χαρτί στη διάρκεια της πορείας του αποσυσσωματώνεται από τον ανιχνευτή και ο δεύτερος περνά μέσω του ακροφύσιου στο κοπτικό άκρο. Ο mudlogger ορίζει την έναρξη ενός χρονομέτρου όταν οι αντλίες ξεκινούν να λειτουργούν. Ο χρόνος που χρειάζεται ώστε ο ανιχνευτής να κυκλοφορήσει στο εσωτερικό της γεώτρησης και πάλι πίσω στην επιφάνεια υπολογίζεται έτσι ώστε ο mudlogger να είναι προετοιμασμένος για την άφιξή του. Το χρονόμετρο σταματάει όταν ο ανιχνευτής φτάσει στο κόσκινο. Γνωρίζοντας τον λόγο αντλίας (pump rate) και την εσωτερική διάμετρο του διατρητικού στελέχους, μπορεί να υπολογιστεί ο όγκος των ρευστών που περιέχονται στην αντλία μέχρι το TD. Έπειτα γνωρίζοντας την μετατόπιση της αντλίας, μπορεί να υπολογιστεί το πλήθος των χτυπημάτων που χρειάστηκαν για να τοποθετηθεί ο ανιχνευτής μέσα στη γεώτρηση. Στη συνέχεια αυτό το πλήθος μπορεί να μετατραπεί στο χρόνο που χρειάζεται ο ανιχνευτής για να ταξιδέψει από την επιφάνεια μέχρι το κοπτικό άκρο. Αφαιρώντας αυτό το χρόνο από το συνολικό χρόνο, επιτρέπεται ο υπολογισμός του χρόνου υστέρησης από το κοπτικό άκρο μέχρι την επιφάνεια⁶⁵.

▪ Η σύγχρονη μονάδα διαγραφιών πολφού

Για τις σύγχρονες μονάδες διαγραφιών πολφού απαιτούνται:

1. Ένας εύφλεκτος αναλυτής αερίων που να χρησιμοποιεί ένα καταλύτη καύσης ή ανιχνευτή ιοντισμού φλόγας.
2. Δειγματολήπτες αερίων, που επιτρέπουν τη διατήρηση της γραμμικής απόκρισης στις υψηλές συγκεντρώσεις αερίου ή έναν εφεδρικό ανιχνευτή θερμικής αγωγιμότητας.
3. Έναν αυτόματο περιοδικό χρωματογράφο ικανό να απομονώσει και να ανιχνεύσει μεθάνιο, αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο και ισοβουτάνιο ή έναν δεύτερο, χαμηλής τάσης, ανιχνευτή καταλυτικής καύσης που επιτρέπει τη διάκριση μεταξύ 'συνολικού αερίου' (total gas) και 'ατμών πετρελαίου' (petroleum vapors).
4. Έναν ξεχωριστό αναλυτή αερίου για τα θρύμματα, που επιτρέπει την ανάλυση αερίου από τα αναμειγνύοντα δείγματα θρυμμάτων.
5. Ένα μικροσκόπιο και ένα θάλαμο ελέγχου υπεριώδους φωτός για την ταυτοποίηση και περιγραφή της λιθολογίας και των υγρών υδρογονανθράκων.
6. Ένα μετρητή χτυπημάτων (rump stroke counter), ο οποίος σε συνδυασμό με τις δοκιμές απουσίας καρβιδίου του ασβεστίου (ιχνηθέτης) προσδιορίζει το βάθος από το οποίο προέρχονται τα θρύμματα.
7. Ένα μετρητή βάθους και χρόνου για τον προσδιορισμό του βάθους στο οποίο αντιστοιχεί το δείγμα καθώς και για τον υπολογισμό του ποσοστού διείδυσης, που αποτελεί ένα σημαντικό δείκτη για το πορώδες του πετρώματος.

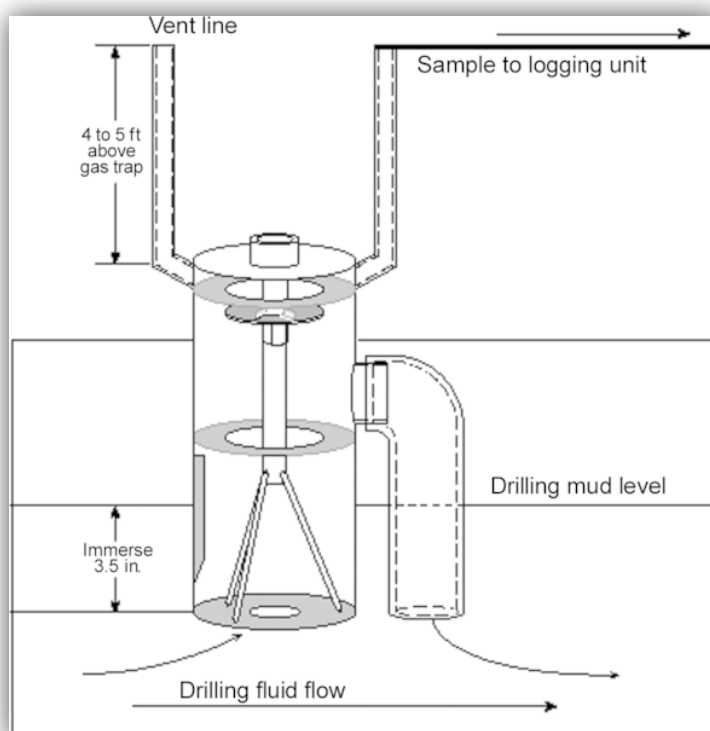


Πηγή: <http://www.chinamudlogging.com>

Εκτός από τις παραπάνω απαιτήσεις, η κάθε μονάδα πρέπει να διαθέτει κατάλληλο εξοπλισμό για ορισμένες βασικές δοκιμές της λάσπης, για παράδειγμα σύνεργα για δοκιμή άμμου, φιλτρόπρεσσα κ.α.. Απαιτούνται επίσης εργαστηριακά υαλικά και χημικά διαλύματα που είναι απαραίτητα για τις χημικές δοκιμές και την ογκομέτρηση των θρυμμάτων και των δειγμάτων διηθήματος λάσπης⁶⁶.

- Εκτίμηση σχηματισμού
- Μέθοδοι εξαγωγής αερίου

Η πιο σημαντική λειτουργία των διαγραφιών πολφού είναι αυτή της ανάλυσης των αερίων των υδρογονανθράκων. Πριν από την ανάλυση, πρέπει να ληφθεί δείγμα αερίου από τον πολφό της γεώτρησης το οποίο επιτυγχάνεται με μια παγίδα αερίου.



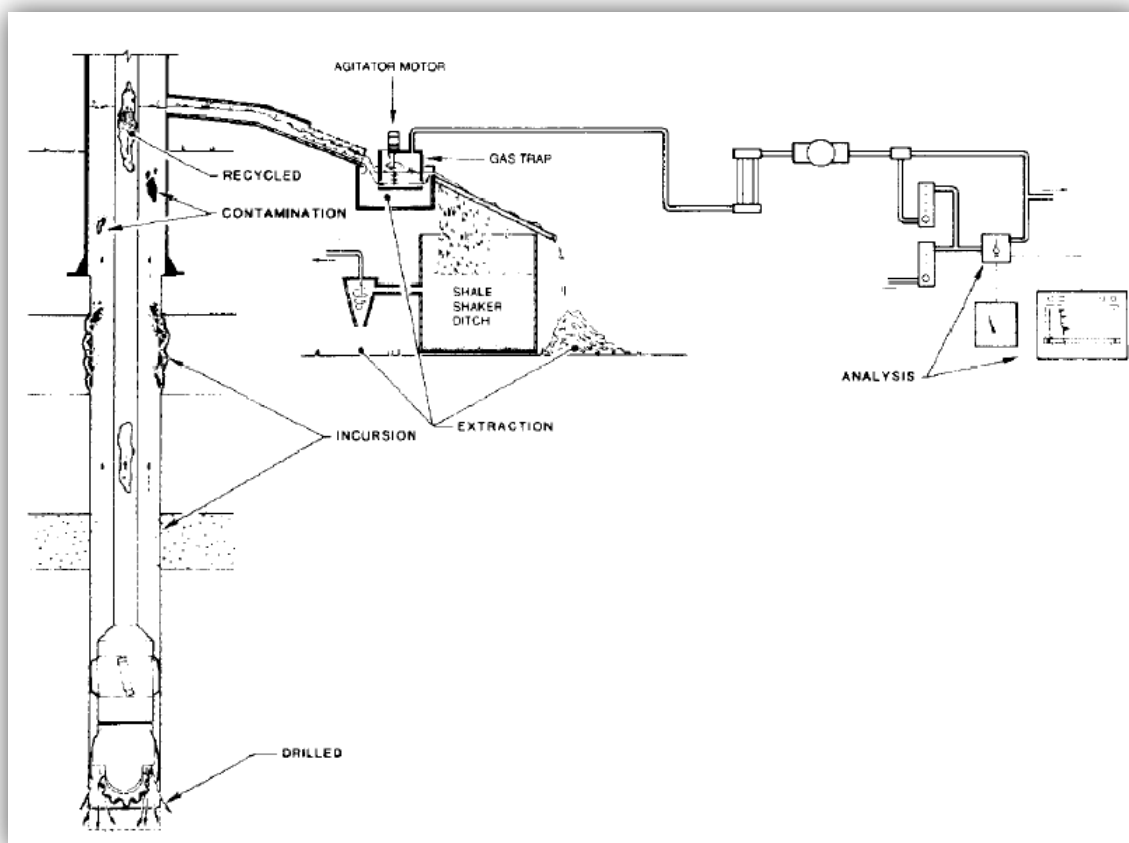
Σχηματική αναπαράσταση ενός απαγωγέα αερίου τύπου ‘παγίδας αερίου’

Πηγή: http://petrowiki.org/File%3AVol5_Page_0361_Image_0001.png

Πρόκειται δηλαδή για ένα τετράγωνο ή κυλινδρικό μεταλλικό κουτί βυθισμένο μέσα στο αυλάκι του κόσκινου καθαρισμού λάσπης και κατά προτίμηση σε περιοχή του μέγιστου ποσοστού ροής πολφού. Ορισμένα τμήματα στο κατώτερο μέρος της παγίδας επιτρέπουν την είσοδο και έξοδο της λάσπης. Ένα ηλεκτρικό ή πεπιεσμένου αέρα μοτέρ αναδευτήρα παρέχει τόσο άντληση όσο και

απαέρωση από τη λάσπη που περνά μέσω της παγίδας. Το αέριο που προκύπτει από τη λάσπη αναμειγνύεται στο ανώτερο τμήμα της παγίδας με τον ατμοσφαιρικό αέρα και αναρροφάται διαμέσου μιας γραμμής κενού για ανάλυση προς τη μονάδα διαγραφίας. Αυτή η συσκευή παρέχει μια σχετικά φθηνή και αξιόπιστη μέθοδο απόκτησης συνεχούς δειγματοληψίας.

Μια εναλλακτική μέθοδος εξαγωγής αερίου είναι ο ατμός, ή κενό mudstill. Σε αυτή τη συσκευή συλλέγεται στο αυλάκι ένα μικρό δείγμα από το πολφό της διάτρησης, το οποίο στη συνέχεια επιστρέφει στη μονάδα διαγραφίας και περνά από τη διαδικασία της απόσταξης στο κενό.



Σχηματική αναπαράσταση ενός απαγωγέα αερίου στο αυλάκι

Πηγή: Alun H. Whittaker, "Exploration Logging IX"

Η μέθοδος αυτή παρέχει μια σχετικά υψηλή και ομοιόμορφη εξαγωγή ικανή αποδοτική σε όλους τους υδρογονάνθρακες. Παρ' όλα αυτά απαιτεί αρκετό χρόνο, οι αναλύσεις της δεν είναι συνεχείς και μπορεί να υπάρξουν ανθρώπινα λάθη, για παράδειγμα οι ελαφριοί υδρογονάνθρακες μπορεί να εξατμιστούν όσο το δείγμα στέκεται πριν την ανάλυση⁶⁶.

- Ανάλυση υδρογονανθράκων

Η βασική μορφή ανάλυσης αερίου περιλαμβάνει την ανάλυση από καύση του όγκου του δείγματος. Πρόκειται για ανάλυση των ολικών εύφλεκτων αερίων που κυρίως ανιχνεύει τα χαμηλού μοριακού βάρους αλκάνια (παραφίνες) όπως το μεθάνιο, αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο και πεντάνιο (με μερικές συγκεντρώσεις εξανίου και επτανίου σε υψηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος)⁶⁶.

- Γεωλογική ανάλυση – Εκτίμηση θρυμμάτων

Μετά από την ανάλυση του αερίου, η πιο σημαντική λειτουργία των διαγραφιών πολφού είναι η δειγματοληψία και η εκτίμηση των θρυμμάτων των σχηματισμών.

Το δείγμα των θρυμμάτων ξεπλένεται και ξηραίνεται, έπειτα εξετάζεται κάτω από στερεομικροσκόπιο. Στην περίπτωση των σκληρών πετρωμάτων το πλύσιμο είναι πολύ εύκολο, καθώς το δείγμα τοποθετείται απλώς σε ένα δοχείο με νερό ώστε να απομακρυνθεί το φιλμ λάσπης. Παρ' όλα αυτά το πλύσιμο των θρυμμάτων που προέρχονται από διαφορετικής σκληρότητας περιοχές είναι πιο δύσκολο και απαιτεί διάφορα μέτρα ασφαλείας. Η άργιλος και οι σχίστες είναι συνήθως μαλακά υλικά και έχουν τέτοια πυκνότητα που σχηματίζουν λάσπη. Επομένως η πλύση πρέπει να γίνει με μεγάλη προσοχή έτσι ώστε να ξεπλυθεί όσο το δυνατόν λιγότερος σχίστης. Όταν προσδιοριστεί η σύσταση του δείγματος πρέπει να ληφθεί υπόψη το ποσοστό του σχίστη που διέφυγε από τη πλύση⁶⁶.

Μια γρήγορη εξέταση των δειγμάτων μπορεί να οδηγήσει στην παρατήρηση ποικίλων διαφορών που μπορεί να έχουν προκύψει από κάποιου είδους μόλυνση ή από διακύμανση της ποιότητας του υλικού. Γίνεται λοιπόν μια αναλυτική περιγραφή του εκάστοτε δείγματος ως προς τη λιθολογία, το χρώμα, το μέγεθος κόκκου, το σχήμα, τη ταξινόμηση, το πορώδες, την υφή και άλλα χαρακτηριστικά σχετικά με το συγκεκριμένο είδος πετρώματος. Ένα τυπικό παράδειγμα περιγραφής ακολουθεί παρακάτω:

Περιγραφή δείγματος θρυμμάτων	
1. Όνομα πετρώματος	
2. Χρώμα	
3. Σκληρότητα, Σχιστότητα	
4. Στοιχεία ή κόκκοι	
<u>Κλαστικά</u>	<u>Ανθρακικά</u>
i. Μέγεθος κόκκων	i. Ιδιότητα/χαρακτήρας 'κόκκων'
ii. Στρογγυλότητα	ii. Μέγεθος 'κόκκων'
iii. Σφαιρικότητα	
iv. Ταξινόμηση	
5. Συγκολλητική ουσία και matrix	
<u>Κλαστικά</u>	<u>Ανθρακικά</u>
i. Αφθονία	i. Αφθονία
ii. Ιδιότητα/χαρακτήρας (nature)	ii. Κρυσταλλικότητα
6. Απολιθώματα, άλλα εξτρά	
7. Οπτική εκτίμηση πορώδους	
8. Αναγνώριση υδρογονανθράκων	
i. Οπτική (κηλίδες και bleeding)	
ii. Απευθείας φθορισμός (μέγεθος, ένταση και χρώμα)	
iii. Φθορισμός κατά την κοπή του καρότου (ποσοστό, ένταση και χρώμα)	

Πολλές φορές, κατά τη διάρκεια της εξέτασης των δειγμάτων μπορεί να εντοπιστούν στερεά σώματα που δεν ανήκουν στον σχηματισμό που διατρήθηκε⁶⁵. Οι πιο συνηθισμένες περιπτώσεις είναι:

1. Καθιζήσεις από τα στρώματα που διατρήθηκαν σε μικρότερα βάθη. Αυτά μπορούν να αναγνωριστούν καθώς τα υλικά του σχηματισμού καταγράφηκαν νωρίτερα. Επίσης τα θρύμματα μπορεί να έχουν σχήμα που τα διαχωρίζει από τα θρύμματα του κοπτικού άκρου.
2. Ανακυκλωμένα θρύμματα. Συνήθως είναι μικρότερου μεγέθους, ανεξάρτητοι κόκκοι ή μικροαπολιθώματα.

3. Απώλεια υλικού κυκλοφορίας. Ξένες ουσίες, που έχουν τέτοιο μέγεθος ώστε να γεμίσουν τις χαμένες ζώνες κυκλοφορίας, προστίθενται στα ρευστά της γεώτρησης.
4. Θραύσματα τσιμέντου. Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην καταγραφή της γεώτρησης.
5. Πολφός γεώτρησης. Τα ξεπλυμένα δείγματα χρησιμοποιούν διαδικασίες και διαλυτικά μέσα που είναι κατάλληλα για το συγκεκριμένο σύστημα πολφού. Σε αυτή τη περίπτωση είναι πολύ σημαντική η υγεία και του logger καθώς και το περιβάλλον.
6. Pipe dope. Αυτή η πρόσμειξη μπορεί να φθορίζει, εμφανίζοντας ψευδή ένδειξη παρουσίας υδρογονανθράκων⁶⁷.

• Αντιπροσωπευτικά δείγματα θρυμμάτων

Για τα αντιπροσωπευτικά δείγματα θρυμμάτων δεν υπάρχουν θρύμματα αντικαταστάτες που να είναι συσχετιζόμενα με το βάθος από το οποίο προήλθαν. Τα θρύμματα αυτά αποτελούν τα υποστηρικτικά δεδομένα της εκτίμησης οποιονδήποτε διαγραφιών πολφού, γεωλογικών, γεωφυσικών και μηχανικών δεδομένων. Κάθε πλατφόρμα διαθέτει μια δονούμενη οθόνη για τον διαχωρισμό των θρυμμάτων από τη λάσπη, όταν αυτά φτάνουν στην επιφάνεια. Η οθόνη αυτή μπορεί να αποτελεί το ιδανικό ή όχι μέρος για τη λήψη δειγμάτων. Εάν χρησιμοποιείται για δειγματοληψία, τότε πρέπει να τοποθετηθεί στη βάση της οθόνης ένα ειδικό δοχείο για να συλλέγονται τα δείγματα. Αυτό είναι πολύ σημαντικό όπου η ταχύτητα διείσδυσης είναι πολύ χαμηλή, καθώς έτσι διαβεβαιώνεται ότι το δείγμα που έχει συλλεχθεί είναι αντιπροσωπευτικό του συνόλου που έχει διατηρηθεί και όχι των τελευταίων μόνο ιντσών⁶⁶.

Η καμπύλη ROP καταγράφει το χρόνο που απαιτείται ώστε το κοπτικό άκρο να διεισδύσει σε κάθε μέτρο ή πόδι, όπως ορίζεται από έναν ανιχνευτή πάνω στο βαρούλκο. Η καμπύλη αυτή μπορεί να αναπαρασταθεί σαν βήμα ενός γραφήματος ή σαν συνεχόμενη γραμμή, αυξανόμενη από τα δεξιά προς τα αριστερά. Όταν προβάλλεται με αυτό τον τρόπο, η καμπύλη ROP αντιστοιχεί σε αλλαγές του τύπου πετρώματος ή του πορώδους με περίπου ίδιο τρόπο με την καμπύλη ακτινοβολίας γ, επιτρέποντας έτσι την εύκολη συσχέτιση μεταξύ των δύο καμπυλών. Οι παράγοντες που επηρεάζουν αυτή τη καμπύλη είναι πολλοί μερικοί από τους οποίους είναι ο τύπος πετρώματος, το πορώδες, η ταχύτητας περιστροφής καθώς και ο τύπος του κοπτικού άκρου.

Η καμπύλη ROP ερμηνεύεται με τον ίδιο τρόπο που ερμηνεύεται και η καμπύλη ακτινοβολίας γ. Αποκλίσεις από αυτή την ROP γραμμή αναφοράς μπορεί να υποδεικνύει αλλαγή στη λιθολογία ή σε άλλες παραμέτρους της γεώτρησης. Για παράδειγμα ένα drilling break μπορεί να δηλώνει αλλαγή από σχίστη σε άμμο ή κάποια αύξηση στην πίεση του πυθμένα της γεώτρησης που

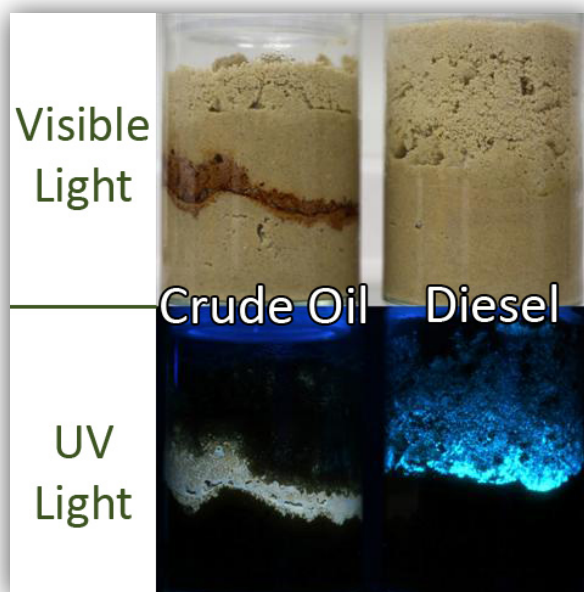
προέκυψε από ρήγμα. Η απότομη πτώση της καμπύλης, μπορεί να δηλώνει μετάβαση σε πέτρωμα μεγαλύτερης πυκνότητας ή να υποδεικνύει πρόβλημα στο κοπτικό άκρο.

Η λιθολογική στήλη βασίζεται στα lagged δείγματα θρυμμάτων, δηλαδή τα δείγματα για τα οποία γνωρίζω το βάθος προέλευσης. Γενικότερα, τα δείγματα συλλέγονται σε τακτά χρονικά διαστήματα, για παράδειγμα κάθε 3 μέτρα (10 ft). Λαμβάνονται επίσης, όταν η ROP ή οι καμπύλες αερίου εμφανίζουν σημαντική απόκλιση από τις καθιερωμένες τάσεις, δηλώνοντας αλλαγές στα χαρακτηριστικά του σχηματισμού⁶⁵.

- Φθορισμός

Η παρουσία υδρογονανθράκων μπορεί να μην είναι εμφανής, ακόμη και κάτω από το μικροσκόπιο. Γι' αυτό το λόγο γίνονται διάφορες δοκιμές στο δείγμα για τον εντοπισμό υδρογονανθράκων. Αρχικά, το δείγμα εξετάζεται κάτω από υπεριώδες φως (UV).

Ο φθορισμός αποτελεί μια εξαιρετικά ευαίσθητη δοκιμή που υποδεικνύει την παρουσία υδρογονανθράκων στη λάσπη, στα θρύμματα της διάτρησης και στα καρότα. Ο φθορισμός του δείγματος εκτιμάται με βάση το χρώμα (με εύρος από το καφέ μέχρι το πράσινο, χρυσό, μπλε, κίτρινο ή λευκό), την ένταση και την κατανομή. Το χρώμα φθορισμού δηλώνει το βάρος του πετρελαίου, με σκούρα χρώματα χαρακτηρίζεται το χαμηλής βαρύτητας βαρύ πετρέλαιο, ενώ με ανοιχτά χρώματα υποδηλώνεται το υψηλής βαρύτητας, ελαφρύ πετρέλαιο.



Πηγή: <http://www.dakotatechnologies.com/intro-to-lif/introtabs/overview>

Επειδή ο φθορισμός μπορεί να οφείλεται σε διάφορες αιτίες (π.χ. πετρέλαιο στο πέτρωμα, παρουσία συγκεκριμένων ορυκτών) , γίνεται διαχωρισμός των θρυμμάτων που παρουσιάζουν φθορισμό από το υπόλοιπο δείγμα. Στη συνέχεια γίνεται εξέταση των θρυμμάτων που έχουν απομακρυνθεί σε σχέση με τα διάφορα πρόσθετα της λάσπης για να αναγνωριστούν τα αποτελέσματα που έχει η επίδραση αυτών των προσθέτων. Ο φθορισμός των ορυκτών μπορεί να μοιάζει με αυτόν των υδρογονανθράκων, αλλά η διαφορά τους γίνεται ορατή όταν χρησιμοποιείται ειδικό διάλυμα. Με αυτό ο φθορισμός των ορυκτών θα παραμείνει ανεπηρέαστος ενώ των υδρογονανθράκων θα αρχίσει να ελαττώνεται. Εάν δημιουργηθεί γύρω από το δείγμα δακτύλιος φθορισμού, τότε οι υδρογονάνθρακες έχουν απομακρυνθεί από το διάλυμα.

Η αντίδραση σε οξύ μπορεί να αποτελέσει έναν δείκτη παρουσίας πετρελαίου σε δείγματα ανθρακικών πετρωμάτων, εφόσον τα ρευστά που έχουν ως βάση το πετρέλαιο ή οι υδρογονάνθρακες δεν προστέθηκαν στο σύστημα⁶⁵.

• Γεωχημική ανάλυση

Μια πιο εξεζητημένη μέθοδος ανάλυσης υδρογονανθράκων περιλαμβάνει την αρχή της πυρόλυσης. Πρόκειται για θερμική αποσύνθεση ενός δείγματος σε αδρανές περιβάλλον. Με τη μέθοδο αυτή πραγματοποιείται θέρμανση ενός δείγματος, που έχει προηγουμένως ζυγιστεί, μέσω ενός προγράμματος αυξανόμενης θερμοκρασίας και σε αδρανές ρεύμα ηλίου (He). Εφόσον δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί καύση, το He απομακρύνει τους υδρογονάνθρακες και το CO₂ από το δείγμα, που προκύπτουν από τη θερμική εξαέρωση του πετρελαίου και του υλικού βιολογικής προέλευσης στο πέτρωμα. Αυτά τα αέρια μπορούν να αναλυθούν με φλόγα ιοντισμού και ανιχνευτές θερμικής αγωγιμότητας.

Η ποσότητα του αερίου που εκφράζεται σε χιλιοστά του γραμμαρίου (milligrams) ανά γραμμάριο πετρώματος, το παραγόμενο αέριο, καθώς και η θερμοκρασία και ο χρόνος εξέλιξης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον χαρακτηρισμό της αφθονίας και του τύπου ενός ταμειυτήρα ή του μητρικού πετρώματος⁶⁶.

▪ Βασική παρακολούθηση πίεσεως

Ο εντοπισμός σχηματισμών που βρίσκονται υπό σημαντική πίεση είναι αρκετά σημαντική κατά τη διάρκεια της διατρητικής διαδικασίας και με αυτό τον τρόπο οι διαγραφίες λάσπης μπορούν να παίξουν σπουδαίο ρόλο στον έλεγχο της γεώτρησης. Χρησιμοποιώντας στην επιφάνεια ειδικά όργανα, είναι εφικτή η έγκυρη διάγνωση επικείμενων καταστάσεων κινδύνου. Εξετάζοντας τα θρύμματα και μετά από επιμελή παρακολούθηση της ROP, του αερίου, του βάρους της λάσπης, της

πυκνότητα του σχίστη και του όγκου της λάσπης στο λάκκο είναι συχνά εφικτή η αναγνώριση της μεταβολής των συνθηκών πίεσεως από κανονικές σε πιθανώς επικίνδυνες.

Καθώς το κοπτικό άκρο πλησιάζει τον υπό πίεση σχηματισμό, μπορεί να παρατηρηθεί αλλαγή στο πορώδες. Η πίεση του σχηματισμού μπορεί να φτάσει αυτή που επικρατεί στο πυθμένα της γεώτρησης. Όταν αυτή η διαφορά πίεσης ελαττωθεί, η καμπύλη ROP αυξάνεται⁶⁵.

3.3.2.4.2 Γεωφυσικές καταγραφές μέσα σε γεώτρηση- “Διαγραφίες” (Logging)

Οι γεωφυσικές διαγραφίες χρησιμοποιούνται για την λήψη πληροφοριών σχετικά με τα στρώματα που διατρύονται κατά τη διάνοξη μιας γεώτρησης. Συγκεκριμένα πρόκειται για μια καταγραφή μετρήσεων μέσα στην ασωλήνωτη γεώτρηση, χωρίς διακοπή, οι οποίες αντιστοιχούν στις μεταβολές των φυσικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων που διατρήθηκαν. Τέτοιες ιδιότητες είναι το πάχος των σχηματισμών, η λιθολογία, το πορώδες, η διαπερατότητα, ο βαθμός κορεσμού σε νερό ή και σε υδρογονάνθρακα, η κλίση των στρωμάτων, η θερμοκρασία καθώς και ο εντοπισμός πιθανών ρωγμών⁶⁶. Πολύ σημαντική πληροφορία αποτελεί το βάθος εκείνων των στρωμάτων που διαθέτουν ένα χαρακτηριστικό γεωφυσικό γνώρισμα. Γνωρίζοντας αυτή τη πληροφορία μπορεί να γίνει συσχετισμός της γεωλογικής πληροφορίας μεταξύ των γεωτρήσεων και να βγουν συμπεράσματα σχετικά με τις επί τόπου ιδιότητες των τοιχωμάτων της γεώτρησης. Επίσης, μέσω των loggings, δίνεται η δυνατότητα για διερεύνηση της φύσης των ρηγμάτων. Οι πιο διαδεδομένες και πλέον χρησιμοποιούμενες μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης είναι αυτή της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης, της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, της ακουστικής ή ηχητικής ταχύτητας, της φυσικής και τεχνητά εφαρμοζόμενης ραδιενέργειας, και της θερμοκρασίας^{68,69}.

Συγκεκριμένα, οι πιο βασικές φυσικές παράμετροι για την εκτίμηση του αποθηκευτικού πετρώματος είναι:

- το πορώδες,
- ο κορεσμός σε υδρογονάνθρακες,
- το πάχος του διαπερατού στρώματος και,
- η διαπερατότητα

Όλες αυτές οι παράμετροι υπολογίζονται από τις παρακάτω διαγραφίες, οι οποίες χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες¹:

1. Logs μετρήσεως του πορώδους

▪ Διαγραφία ακτινοβολίας γάμμα (γ)

Ακτινοβολία ονομάζεται η ενέργεια που μεταφέρεται από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Η ραδιενέργεια αποτελεί μια εξίσου σημαντική πηγή ακτινοβολίας.

Η ακτινοβολία γ είναι κύματα φωτονίων υψηλής ενέργειας και οι ακτίνες γάμμα είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη διεισδυτικότητα, καθώς το μήκος κύματος ξεκινά από τη περιοχή ακτίνων –χ και φτάνει σε πολύ μικρές τιμές^{70,71}.

Η μέθοδος ακτινοβολίας γ στηρίζεται στον υπολογισμό της ραδιενέργειας των πετρωμάτων γύρω από τη γεώτρηση. Το όργανο που ανιχνεύει τη ραδιενέργεια αποτελείται από έναν ανιχνευτή ακτινοβολίας γάμμα και έναν ενισχυτή. Τα στοιχεία που ενεργοποιούν αυτό τον ανιχνευτή είναι τα ραδιενεργά ⁴⁰K, ²⁵⁸U, ²³²Th και το βάθος στο οποίο διεισδύει η εκπεμπόμενη ακτινοβολία είναι 30 m, στους ιζηματογενείς σχηματισμούς^{34,69}. Οι συμπαγείς σχηματισμοί απορροφούν μεγάλο ποσοστό ακτίνων γάμμα, σε αντίθεση με τους σχηματισμούς χαμηλής πυκνότητας στους οποίους οι ρυθμοί καταγραφής εμφανίζονται υψηλοί⁶⁸. Η διάταξη αυτή βρίσκει εφαρμογή στον υπολογισμό του πορώδους, καθώς τα ρευστά μέσα στους πόρους μειώνουν την φαινόμενη πυκνότηταⁱⁱ(bulk density) του σχηματισμού⁷². Ακολουθούν κάποιες χαρακτηριστικές τιμές:

ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	K (%)	Th (ppm)	U (ppm)
Ψαμμίτης	0.8	1.2	0.6
Αργιλικός σχιστόλιθος	2.0	12.0	3.0
Ασβεστόλιθος	0.2	0.5	0.5
Άλατα Καλίου	Πολύ υψηλή τιμή		
Γρανίτης	4.0	10.0	4.0

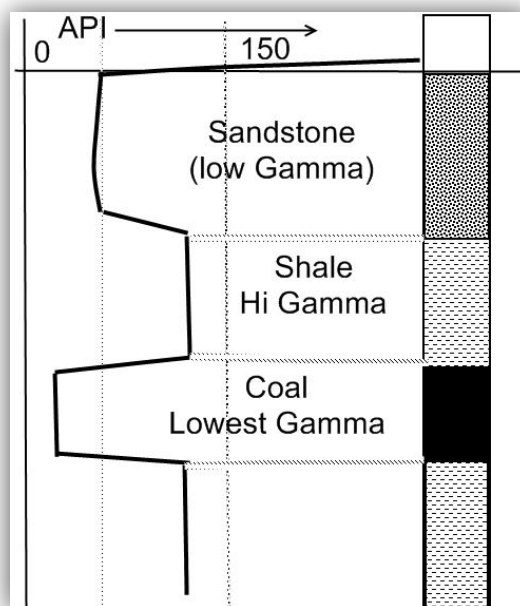
ⁱⁱ Ο λόγος της μάζας πετρώματος προς το φαινόμενο όγκο του, δηλαδή τον όγκο που περιλαμβάνει και τα κενά που υπάρχουν στην μάζα του πετρώματος.

ΟΡΥΚΤΑ	K (%)	Th (ppm)	U (ppm)
Αργιλικά	2.1	21.0	7.5
Χαλαζίας	-	0.6	0.3
Επίδοτο	-	200.0	40.0

Πηγή: Βαργεμέζης Γεώργιος & Παναγιώτης Τσούρλος, Ηλεκτρονικές σημειώσεις μαθήματος “*Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης*”, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη

Το ^{40}K , ^{258}U , ^{232}Th , είναι τα κυριότερα ραδιενεργά στοιχεία στα οποία οφείλεται η εκπομπή ακτινοβολίας γάμμα ενώ η μονάδα μέτρησης σε ppm εκφράζει τις κρούσεις/εκατομμύριο^{68, 69}.

Με τη διάταξη αυτή γίνεται καθορισμός των ορίων του υποβάθρου, υπολογισμός του ποσοστού της αργίλου στο γεωλογικό σχηματισμό, ανίχνευση ανθρακικών ορυκτών, προσδιορισμός λιγνίτη και διαχωρισμός μεταξύ άμμου και σχίστη. Η διάταξη της ακτινολοβίας γάμμα μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε σωληνωμένη όσο και σε ασωλήνωτη γεώτρηση⁶⁸.



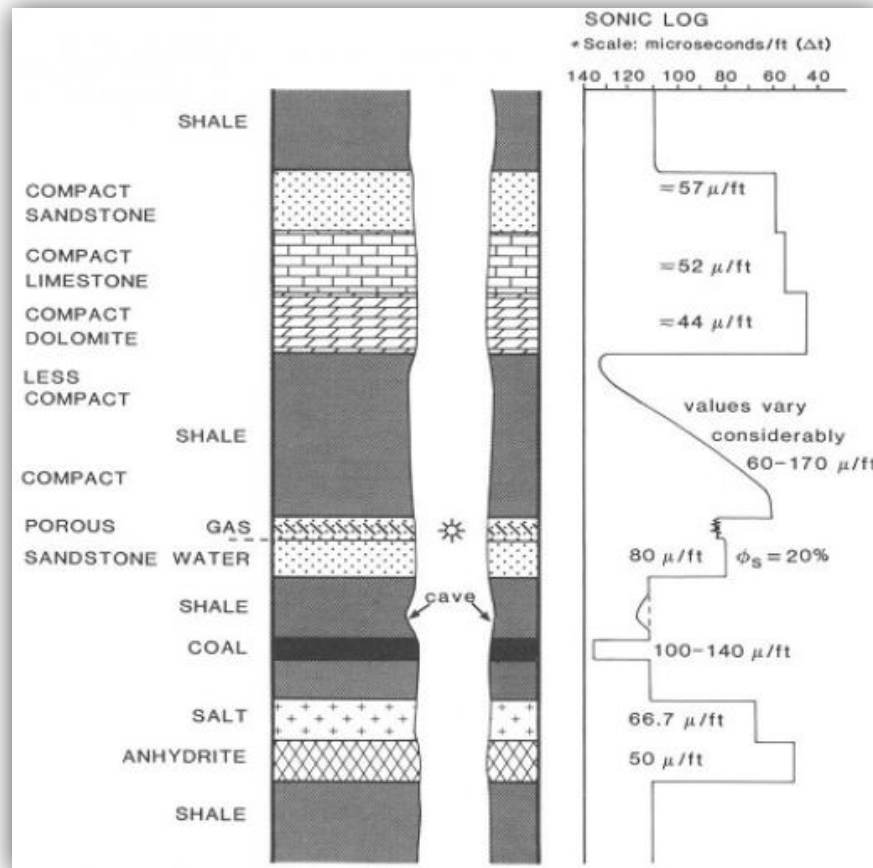
Ενδείξεις καταγραφών ακτινοβολίας γάμμα σε χαρακτηριστικούς σχηματισμούς.

Πηγή: www.coalgeology.com

▪ Ακουστικές διαγραφίες (Sonic loggings)

Μετράται ο χρόνος διάδοσης που απαιτείται ώστε ένα σεισμικό κύμα να φτάσει από ένα X σημείο του ενός τοιχώματος της γεώτρησης, στο σημείο Y του άλλου τοιχώματος της γεώτρησης. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από τη λιθολογία, το πορώδες και την παραμορφωσιμότητα του

σχηματισμού⁷³. Όταν ο σχηματισμός φιλοξενεί ποσότητα υδρογονανθράκων, τότε ο χρόνος αυξάνει. Καλύτερα αποτελέσματα παρατηρούνται όταν η μέθοδος εφαρμόζεται ταυτόχρονα με μια άλλη⁴⁷.



Ενδείξεις ακουστικών καταγραφών σε χαρακτηριστικούς σχηματισμούς.

Πηγή: <http://harshitpandey.hubpages.com/hub/Wireline-Logs-and-Interpretation#>

▪ Διαγραφίες πυκνότητας των σχηματισμών

Με τις διαγραφίες πυκνότητας γίνεται προσδιορισμός του πορώδους και της λιθολογίας καθώς επίσης ανιχνεύεται το αέριο και υπολογίζονται οι μηχανικές ιδιότητες των σχηματισμών (επιτυγχάνεται και με τις ακουστικές διαγραφίες). Οι καταγραφές πυκνότητας βασίζονται στην μέτρηση της εξασθενημένης ακτινοβολίας γάμμα που προκαλείται από την σκέδαση Comptonⁱⁱⁱ⁷⁴. Συγκεκριμένα, ένα μηχανήμα καταγραφής της πυκνότητας εκπέμπει ακτίνες γάμμα στον

ⁱⁱⁱ Το φαινόμενο σκέδασης Compton λαμβάνει χώρα όταν το φωτόνιο παρουσιάζει υψηλή ενέργεια. Αυτό το φωτόνιο φέρει μια αρχική ενέργεια E_0 . Όταν έρθει σε επαφή με κάποιο εξωτερικό ηλεκτρόνιο του δίνει τμήμα της ενέργειάς του και με αυτό τον τρόπο το ηλεκτρόνιο εγκαταλείπει το άτομο λόγω περίσσειας ενέργειας. Το φωτόνιο συνεχίζει την πορεία του αλλά με διαφορετική πλέον διεύθυνση (σκέδαση) και φυσικά με μειωμένη ενέργεια⁷⁵

σχηματισμό και στην συνέχεια ανιχνεύει τις ακτίνες που σκεδάστηκαν. Οι συνηθέστεροι ανιχνευτές χρησιμοποιούν πηγή καισίου-137 η οποία εκπέμπει ακτίνες γάμμα 0,66 MeV. Το φαινόμενο της σκέδασης επικρατεί σε μεγάλο βαθμό σε αυτά τα υψηλά ενεργειακά επίπεδα. Η μέση πυκνότητα των ηλεκτρονίων που ανιχνεύθηκε στον όγκο του σχηματισμού ελέγχει τα ποσοστά των σκεδαζόμενων ακτίνων στους ανιχνευτές. Ωστόσο, επειδή η ακτινοβολία γάμμα δεν έχει την δυνατότητα να διεισδύσει σε μεγάλα βάθη, δεν λαμβάνονται πολλά αποτελέσματα κατά την έρευνα. Σύμφωνα με την τυπική διαδικασία που ακολουθείται, ο αναλυτής προσδιορίζει το πορώδες απευθείας από το αρχείο καταγραφής της πυκνότητας⁷⁶.

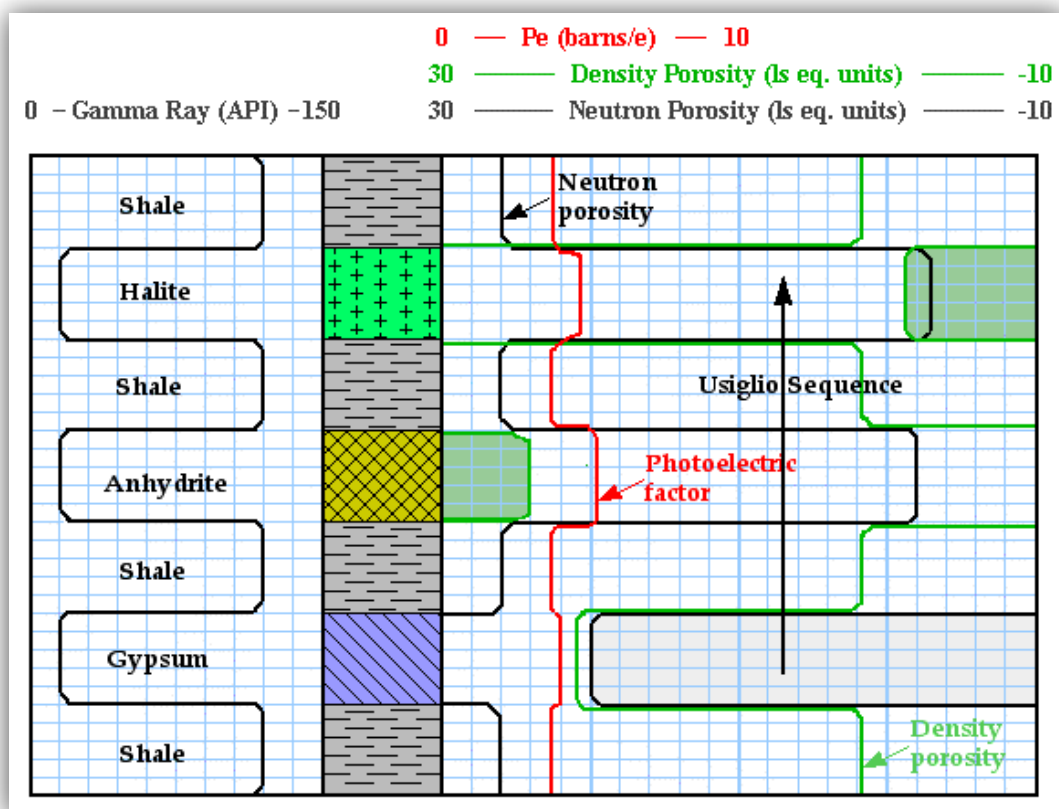
▪ Διαγραφίες Νετρονίων

Το πορώδες προσδιορίζεται μετά από μέτρηση της ποσότητας των ατόμων υδρογόνου (νετρόνια) στους πόρους. Το εργαλείο καταγραφής διαθέτει μια πηγή νετρονίων. Η πηγή εκπέμπει νετρόνια τα οποία συγκρούονται με μεγαλύτερους πυρήνες. Η απώλεια ενέργειας είναι μικρή ωστόσο είναι μεγαλύτερη κατά τη σύγκρουση με άτομα υδρογόνου, τα οποία εμφανίζουν περίπου την ίδια μάζα με τα νετρόνια. Τα υδρογόνα όταν απορροφήσουν ακτινοβολία γάμμα μετατρέπονται σε νετρόνια.

Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου καταγραφής είναι αποτελεσματική όταν στο πέτρωμα υπάρχει διαθέσιμο υδρογόνο, επομένως στα ρευστά ή στους υδρογονάνθρακες αλλά όχι στον σχίστη, ο οποίος σε κανονικές συνθήκες δεν επιτρέπει τη κίνηση του νερού στο εσωτερικό του⁷². Επομένως, γίνεται ταυτόχρονα και εντοπισμός πιθανών υδρογονανθράκων.

Το εργαλείο που χρησιμοποιείται βομβαρδίζει το σχηματισμό με υψηλής ενέργειας νετρόνια. Αυτά στην συνέχεια υφίστανται το φαινόμενο της σκέδασης, χάνουν μέρος της ενέργειά τους και παράγουν υψηλής ενέργειας ακτινοβολία γάμμα. Η σκέδαση είναι πιο αποτελεσματική με παρουσία ατόμων υδρογόνου. Τα νετρόνια χαμηλής ενέργειας ή η ακτινοβολία γάμμα μπορούν πλέον να ανιχνευθούν.

Ο βομβαρδισμός νετρονίων μεταβάλλει την ραδιενεργό ισορροπία των πετρωμάτων της γεώτρησης και προκαλεί μια δευτερεύουσα ένταση ακτινοβολίας γάμμα που είναι πολύ μεγαλύτερη από την φυσική ακτινοβολία γάμμα που εκπέμπουν τα πετρώματα αυτά. Με αυτό τον τρόπο προκύπτει η λεγόμενη ‘καμπύλη νετρονίων’ (neutron curve) η οποία σε γενικές γραμμές εμφανίζεται κατά παρόμοιο τρόπο με την καμπύλη αντίστασης των ηλεκτρικών διαγραφιών. Οι διαφορετικές τιμές νετρονίων, που οφείλονται στην παρουσία ρευστών, θα μεταβάλουν μελλοντικά αυτή την ομοιότητα⁷⁷.



Καταγραφή των ιδιοτήτων των εβαποριτών

Πηγή: <http://www.kgs.ku.edu/PRS/ReadRocks/HAG.html>

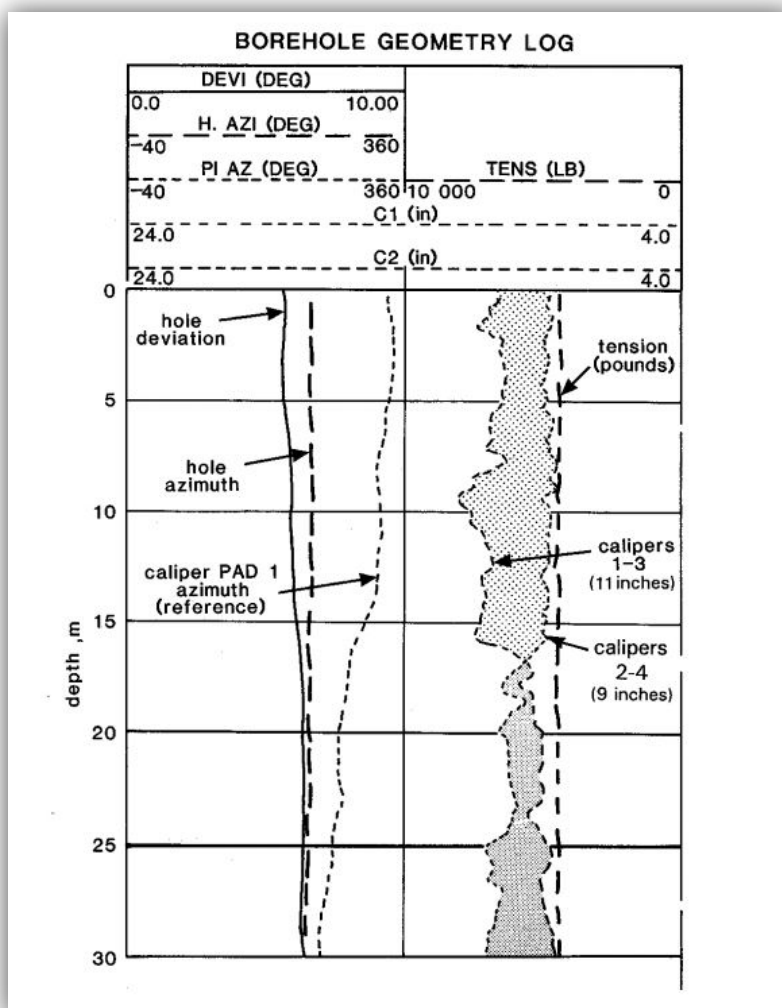
▪ Καταγραφή διαμέτρου της γεώτρησης (Caliper log)

Πρόκειται για το εργαλείο με το οποίο μετράται η διάμετρος και το σχήμα της γεώτρησης. Χρησιμοποιεί ένα εργαλείο με 2, 4 ή και παραπάνω επεκτεινόμενα τμήματα. Αυτά μπορούν να μετακινούνται μέσα και έξω καθώς το εργαλείο καταγραφής απομακρύνεται από την γεώτρηση ενώ η κίνηση τους μετατρέπεται με τη βοήθεια ενός ποτενσιόμετρου σε ηλεκτρικό σήμα. Η μέτρηση της διαμέτρου γίνεται στις θέσεις των δύο μετακινούμενων τμημάτων.

Στην περίπτωση των τεσσάρων μετακινούμενων τμημάτων, τα δύο αντίθετα ζεύγη δουλεύουν μαζί έτσι ώστε να αποδώσουν την διάμετρο της γεώτρησης σε κάθετες κατευθύνσεις. Το εργαλείο αυτό υπολογίζει και ενσωματώνει τον όγκο της γεώτρησης και περιλαμβάνει αισθητήρες που μετρούν την κατεύθυνση (αζιμούθιο) και την κλίση της γεώτρησης.

Όταν υπάρχουν 30 μετακινούμενα τμήματα, αυτά βρίσκονται τοποθετημένα γύρω από το εργαλείο και επιτρέπουν να μετρηθεί λεπτομερώς το σχήμα της γεώτρησης.

Με τις καταγραφές της διαμέτρου της γεώτρησης επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός της περατότητας και του πορώδους, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη μέσα στην γεώτρηση του mudcake καθώς και των διαγραφιών ακτινοβολίας γάμμα⁷⁸.



Παρουσίαση δεδομένων από καταγραφή με τέσσερα μετακινούμενα τμήματα

Πηγή: Glover Paul, Σημειώσεις μαθήματος “Petrophysics”, University of Leeds, May 2014 ”

▪ Πυρηνικός μαγνητικός διαχωρισμός (Nuclear Magnetic Resonance – NMR)

Ο Πυρηνικός μαγνητικός Συντονισμός (NMR) είναι μια μέθοδος με την οποία γίνεται διευκρίνιση της σύνταξης και γενικότερα μελέτης της δομής των οργανικών μορίων. Τα φάσματα πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού δημιουργούνται όταν πυρήνες ατόμων τοποθετούνται εντός ενός ομογενούς, στατικού μαγνητικού πεδίου και διεγείρονται από ένα δεύτερο ταλαντευόμενο μαγνητικό πεδίο. Οι συχνότητες της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που συνοδεύουν τις διεγέρσεις αυτές βρίσκονται στην περιοχή των βραχέων ραδιοκυμάτων^{79,80}.

Οι περισσότεροι από τους πυρήνες εμφανίζουν το φαινόμενο NMR, ενώ άλλοι όχι. Αυτό εξαρτάται από το αν οι πυρήνες έχουν μαγνητικές ιδιότητες, όπως αυτές αντανakλώνται στην ιδιότητα του spin.

“Spin ονομάζεται μια θεμελιώδης ιδιότητα της ύλης, όπως η μάζα ή το ηλεκτρικό φορτίο και αναφέρεται στην αυτοπεριστροφή γύρω από έναν φανταστικό άξονα υποατομικών, μεμονωμένων σωματιδίων (ηλεκτρονίων, πρωτονίων, νετρονίων) τα οποία χαρακτηρίζονται από μαγνητικό κβαντικό αριθμό $+1/2$ ή $-1/2$. Λόγω της περιστροφής το σωματίδιο εμφανίζει ιδιοστροφομή ή spin⁸⁰”.

Το εργαλείο αυτό δημιουργεί μαγνητικό πεδίο που πολώνει τα άτομα υδρογόνου των ρευστών. Ο ανιχνευτής που διαθέτει μετρά τη μείωση συντονισμού που παρατηρείται μετά την απελευθέρωση του πεδίου. Η διάταξη αυτή χρησιμεύει στον προσδιορισμό του μεγέθους των πόρων και της κινητικότητας των ρευστών (σε μικρότερους πόρους) και κατ' επέκταση στο πορώδες και την διαπερατότητα. Επιπλέον βοηθά στον προσδιορισμό του είδους του ρευστού που βρίσκεται στους πόρους. Τέλος, αποτελεί μια από τις πιο σύγχρονες μεθόδους καταγραφής και είναι η πιο ανεξάρτητη λιθολογικά⁷².

2. Logs ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης

▪ Συμβατικές διαγραφίες ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης

Όταν γίνεται χρήση των ηλεκτρικών διατάξεων, είναι φανερό πως γίνεται χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος. Για να υπάρξει ανταπόκριση των σχηματισμών σε αυτές τις μεθόδους πρέπει αυτά να είναι ηλεκτρικά αγωγίμα.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα, εκφράζει την ευκολία με την οποία ρέει το ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από κάποιο συγκεκριμένο υλικό και δείχνει την απόκριση του υλικού εάν εφαρμοστεί σε αυτό διαφορά δυναμικού. Όσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα του υλικού τόσο περισσότερο ηλεκτρικό ρεύμα θα περάσει μέσα από αυτό. Μονάδα μέτρησης, σύμφωνα με το Διεθνές σύστημα μονάδων (SI), είναι το Siemens (S). Ωστόσο, οι Αγγλοσάξονες συνηθίζουν να χρησιμοποιούν για την μέτρηση της αγωγιμότητας και την μονάδα Ohm.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα δίνεται από τον τύπο:

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{V}$$

όπου:

G= η αγωγιμότητα που εμφανίζει το υλικό (σε S)

R= η αντίσταση που εμφανίζει το υλικό (σε Ohm)

V= η διαφορά δυναμικού που εφαρμόζεται στα άκρα του υλικού (σε Volt)

I= η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το υλικό (σε Amperes)⁸¹.

Τα περισσότερα από τα ορυκτά των πετρωμάτων δεν αποτελούν καλούς αγωγούς του ηλεκτρισμού. Τα στεγνά πορώδη πετρώματα είναι κακοί αγωγοί καθώς τα ρευστά που υπάρχουν στα κενά των πόρων (αέρας) είναι επίσης κακοί αγωγοί του ηλεκτρισμού. Στο έδαφος από την άλλη μεριά, τα πορώδη πετρώματα περιέχουν νερό το οποίο περιέχει άλατα. Το νερό αυτό, σαν ηλεκτρολύτης, άγει το ρεύμα μέσω της κίνησης των φορτισμένων ιόντων. Τα ιόντα αυτά προκύπτουν από την διάσπαση των αλάτων μέσα σε διάλυμα νερού. Γενικότερα λοιπόν, όσο περισσότερο αλατούχο είναι το διάλυμα τόσο περισσότερη αγωγιμότητα και λιγότερη αντίσταση αυτό εμφανίζει.

Ως αντίσταση ενός υλικού ορίζεται η δυσκολία με την οποία ρέει το ηλεκτρικό ρεύμα μέσα σε αυτό το υλικό και αποτελεί το αντίστροφο μέγεθος της αγωγιμότητας⁸².

Η φαινόμενη ειδική αντίσταση εξαρτάται από τη κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος και από την κατανομή των ηλεκτροδίων. Υπολογίζοντας αυτού του είδους την αντίσταση μπορεί να καθοριστεί η τιμή της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης⁸³.

Η εξίσωση για τον υπολογισμό της φαινόμενης ειδικής αντίστασης ρ_a για κάθε διάταξη μέσα σε γεώτρηση είναι:

$$\rho_a = \frac{4\pi\Delta V}{I \left\{ \left(\frac{1}{C_1 P_1} - \frac{1}{C_2 P_1} \right) - \left(\frac{1}{C_1 P_2} - \frac{1}{C_2 P_2} \right) \right\}}$$

όπου C_1 (A), C_2 (B) είναι τα ηλεκτρόδια του ρεύματος, P_1 (M), P_2 (N) τα ηλεκτρόδια δυναμικού μεταξύ των οποίων υπάρχει διαφορά δυναμικού ΔV , I είναι το ρεύμα που διατρέχει στο κύκλωμα^{34,69}.

Για τη λήψη πληροφοριών σχετικά με τις διαφορετικές ζώνες γύρω από τη γεώτρηση χρησιμοποιούνται διαφορετικές διατάξεις ηλεκτροδίων και διακρίνονται σε αυτές που διαθέτουν ένα ηλεκτρόδιο και σε αυτές που διαθέτουν δύο ηλεκτρόδια. Στην πρώτη περίπτωση, παρά το χαμηλό κόστος και την ευκολία χρήσης, δεν είναι εφικτή η ανίχνευση πετρελαίου. Αναλυτικότερα:

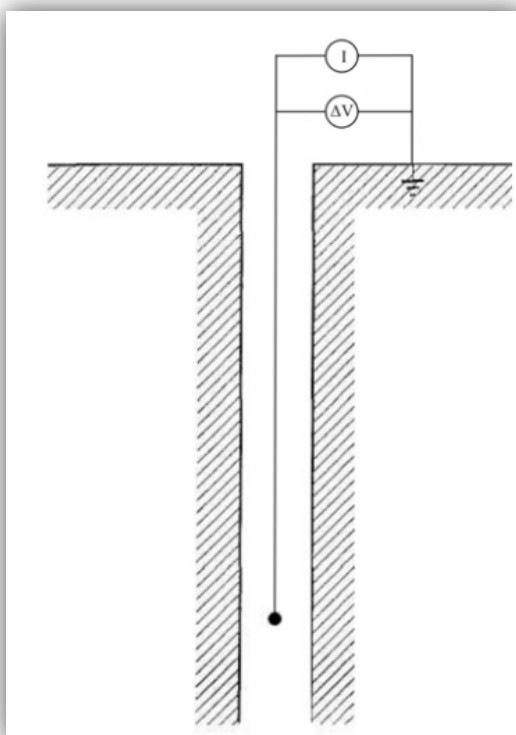
▪ Διάταξη ενός ηλεκτροδίου

Το ενεργό βάθος έρευνας είναι 5-10 φορές μεγαλύτερο από τη διάμετρο των ηλεκτροδίων.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της διάταξης είναι:

- a. Χαμηλό κόστος
- b. Εύκολη στη χρήση
- c. Χρήσιμη για συσχέτιση σχηματισμών
- d. Ανίχνευση νερού αλλά όχι πετρελαίου

Το μόνο μειονέκτημα είναι ότι αυτή η διάταξη επηρεάζεται από την αλατότητα του νερού και ότι οι φαινόμενες ειδικές αντιστάσεις που μετρούνται είναι διαφορετικές από τις πραγματικές τιμές τους^{34,69}.

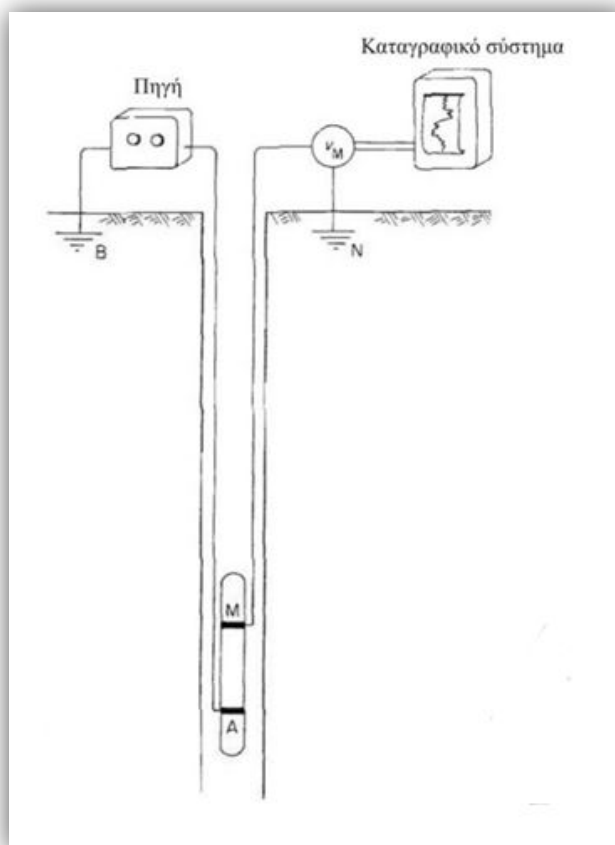


**Πηγή: Βαργεμέζης Γεώργιος & Παναγιώτης Τσούρλος, Ηλεκτρονικές σημειώσεις μαθήματος “
Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης”**

▪ Διάταξη δύο ηλεκτροδίων

Το σύστημα αποτελείται από τέσσερα ηλεκτρόδια. Τα δύο από αυτά βρίσκονται μέσα στη γεώτρηση και το κάθε ένα αντιστοιχεί σε ένα ηλεκτρόδιο δυναμικού και ένα ρεύματος. Τα άλλα δύο ηλεκτρόδια βρίσκονται σταθερά στο έδαφος. Η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων που βρίσκονται μέσα στη γεώτρηση είναι 16 ίντσες ή 64 ίντσες.

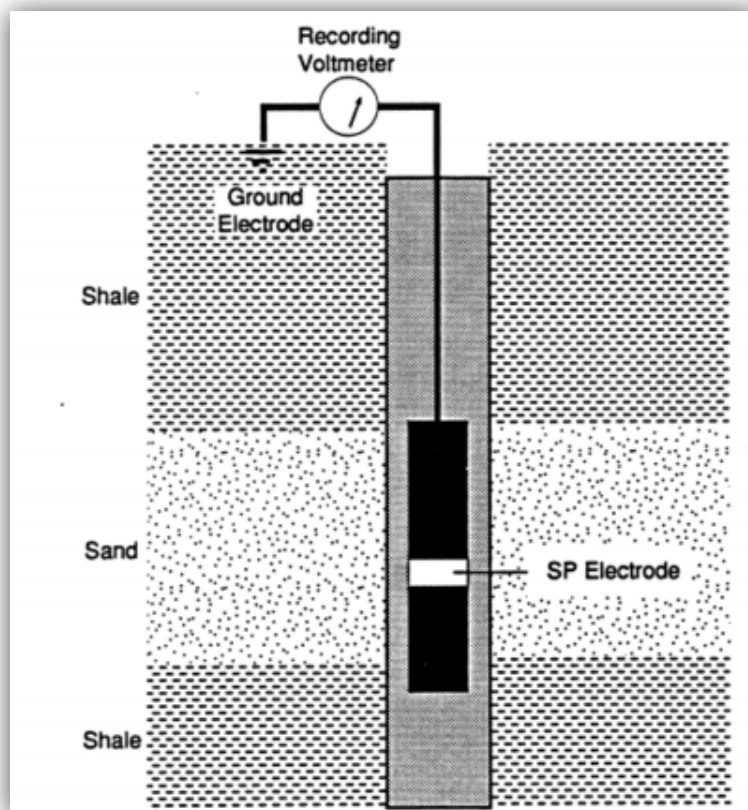
Η διάταξη αυτή βρίσκει εφαρμογή στην ταυτοποίηση της λιθολογίας των στρωμάτων. Όταν εισέρχεται υγρό μέσα στο στρώμα τότε μεταβάλλεται η αντίσταση του, μεταξύ 16 και 64, ενώ όταν δεν υπάρχει τα αναπτύγματα της διάταξης δίνουν τις ίδιες ειδικές αντιστάσεις. Η διάταξη αυτή εφαρμόζεται επίσης και για τον προσδιορισμό του πάχους στρώματος, ο οποίο εξαρτάται από την απόσταση AM των ηλεκτροδίων. Όταν η απόσταση αυτή είναι μικρή τότε το πάχος του στρώματος είναι μεγάλο (~ 5 AM), ενώ αν η απόσταση είναι μεγάλη το πάχος είναι μικρότερο (~ 1.5 AM). Τα στρώματα υψηλής ειδικής αντίστασης εμφανίζονται λεπτότερα από το πραγματικό τους πάχος ενώ τα αγωγιμα στρώματα εμφανίζονται με μεγαλύτερο πάχος^{34,68,69}.



Πηγή: Βαργεμέζης Γεώργιος & Παναγιώτης Τσούρλος, *Ηλεκτρονικές σημειώσεις μαθήματος “Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης”*

▪ Φυσικό Δυναμικό (SP)

Μετρά την τάση που δημιουργείται μεταξύ ενός κινητού ηλεκτροδίου που βρίσκεται στο τοίχωμα της γεώτρησης, και ενός σταθερού ηλεκτροδίου που βρίσκεται στην επιφάνεια. Η τάση αυξάνεται εξαιτίας της ανταλλαγής ιόντων μεταξύ των ρευστών των διαπερατών στρωμάτων και του ρευστού της διάτρησης, για παράδειγμα το Cl^- απομακρύνεται από το αλατούχο νερό που βρίσκεται μέσα στο σχηματισμό δίνοντας αρνητική ένδειξη φυσικού δυναμικού στα διαπερατά στρώματα. Αντίθετα, εάν το νερό είναι γλυκό, η ένδειξη του φυσικού δυναμικού είναι θετική (η πιο συνηθισμένη περίπτωση)⁷². Η εφαρμογή αυτή απαιτεί συνεχή μέτρηση του φυσικού ηλεκτρικού δυναμικού.



Σχηματική απεικόνιση της διάταξης SP

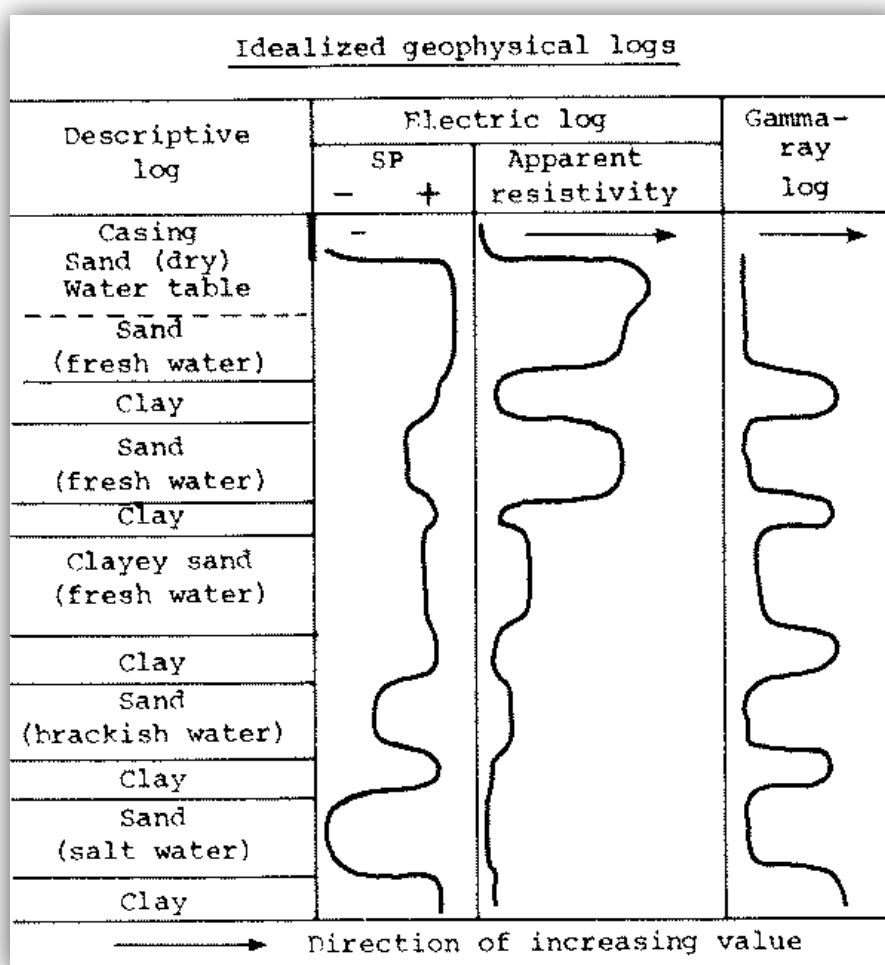
Πηγή: http://en.openei.org/wiki/Spontaneous_Potential_Well_Log

Επομένως, η διάταξη αυτή χρησιμοποιείται :

- για την ταυτοποίηση των διαπερατών στρωμάτων που περιλαμβάνουν και δυνητικούς εκμεταλλεύσιμους ταμιευτήρες υδρογονανθράκων,
- για τον υπολογισμό της αντίστασης του ρευστού, και κατά συνέπεια της αλατότητας του υπόγειου ρευστού,

- ως δείκτης που υποδεικνύει την ύπαρξη σχίστη και,
- για τον προσδιορισμό του πορώδους⁶⁸.

Η ανάγνωση των καμπυλών SP βασίζεται στις θετικές ή αρνητικές αποκλίσεις από μια βασική γραμμή (αυθαίρετη) που έχει οριστεί, και η οποία συνδέεται με ένα στεγανό σχηματισμό. Η μορφή της κάθε καμπύλης εξαρτάται από το λόγο αλατότητας ή αντίστασης του πολτού κυκλοφορίας προς εκείνη του νερού της γεώτρησης. Το δεξιό τμήμα της καταγραφής SP αντιστοιχεί σε αδιαπέρατους σχηματισμούς ενώ το αριστερό σε διαπερατούς⁴⁷.



Συγκριτική απεικόνιση καταγραφών SP, ακτινοβολίας γάμμα και ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, Β. Καρολίνα.

Πηγή: http://en.openet.org/wiki/Spontaneous_Potential_Well_Log

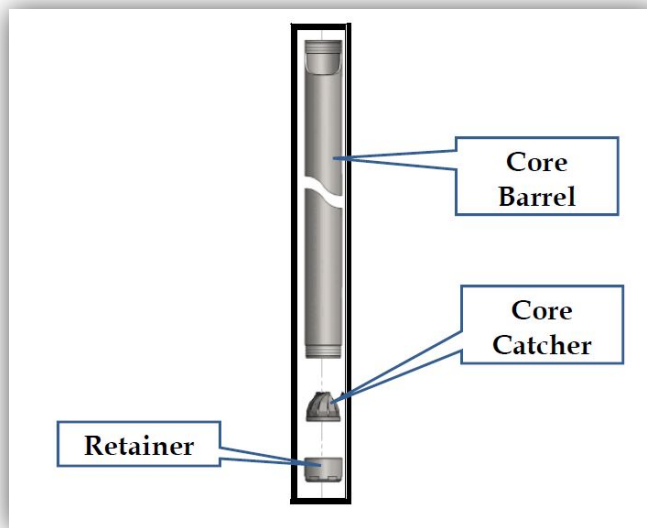
3.3.2.4.3 Πυρηνοληψία (coring)

Για τον ακριβή προσδιορισμό της λιθολογίας, των ορίων των γεωλογικών στρωμάτων καθώς και ορισμένων φυσικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων, χρησιμοποιείται η μέθοδος της πυρηνοληψίας, η οποία πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια των γεωτρητικών εργασιών.

Για να ληφθεί ένας πυρήνας μέσα σε ένα πέτρωμα-ταμιευτήρα, η διάτρηση θα πρέπει αρχικά να σταματήσει στο επάνω μέρος του ταμιευτήρα. Στην συνέχεια θα ανελκυθεί η διατρητική στήλη από το φρεάτιο της γεώτρησης, θα απομακρυνθεί το κοπτικό άκρο και θα αντικατασταθεί από ένα περιστρεφόμενο κοπτικό άκρο που θεωρείται κατάλληλο για τη διαδικασία της πυρηνοληψίας. Αυτό το κοπτικό άκρο, όπως και τα συμβατικά, κατασκευάζεται από συμπαγές μέταλλο με διαμάντια ή βολφράμιο. Η διαφορά με τα συμβατικά είναι ότι τα πυρηνοληπτικά είναι κοίλα στο κέντρο τους².

Η πυρηνοληψία αποτελεί μια αρκετά ακριβή μέθοδο έρευνας και τα δείγματα του υπεδάφους που λαμβάνονται οδηγούνται για εργαστηριακή εξέταση¹⁷. Στην πετρογραφική ανάλυση τους χρησιμοποιείται είτε συμβατικό οπτικό μικροσκόπιο ή ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, και μέσω αυτής λαμβάνονται πληροφορίες σχετικά με τη ποιότητα του ταμιευτήρα και τη διαγένεση⁵. Τα καρότα επίσης επιτρέπουν στον ερευνητή να περιγράψει με αρκετή λεπτομέρεια το περιβάλλον απόθεσης των στρωμάτων και τα χαρακτηριστικά των ιζηματογενών πετρωμάτων. Επιπλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της συμβατότητας των ρευστών εισπίεσης (injection fluids) με τον σχηματισμό, για πρόβλεψη της σταθερότητας του σχηματισμού κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες διάτρησης καθώς και για τον υπολογισμό της πιθανότητας ο σχηματισμός να αστοχήσει¹⁷. Λαμβάνοντας τις απαραίτητες πληροφορίες για το είδος του πετρώματος καθώς και για τις ιδιότητες των ρευστών μπορεί να δημιουργηθεί το μοντέλο του ταμιευτήρα⁵.

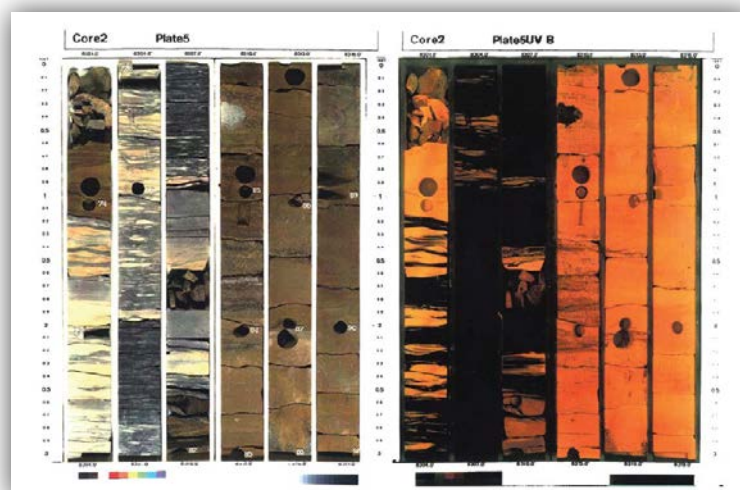
Από τους πυρήνες που έχουν ληφθεί είναι δυνατόν να εξαχθούν μικρά κυλινδρικά δείγματα διαμέτρου περίπου 1 ίντσας και μήκους 3 ιντσών. Τα δείγματα αυτά ονομάζονται plugs και χρησιμοποιούνται για περαιτέρω μετρήσεις². Κατά τη συνήθη πυρηνοληψία λαμβάνεται ένα κυλινδρικό τμήμα του ενδιαφέροντος σχηματισμού, κατά μήκος της γεώτρησης. Το **‘σωλήνα καροταρίας’** (core barrel) είναι ένας σωλήνας που φέρει ειδικό κοπτικό άκρο τοποθετημένο στο χαμηλότερο τμήμα του και χρησιμοποιείται στο άκρο της διατρητικής στήλης. Μέσα σε αυτό αποθηκεύεται το δείγμα του πυρήνα.



Πηγή: Γεωργακόπουλος Ανδρέας, Σημειώσεις μαθήματος “Κοιτασματολογία Πετρελαίου”, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2014

Εντός του core barrel υπάρχει το ‘core catcher’ το οποίο είναι κατασκευασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε ο πυρήνας να κινείται με μεγαλύτερη ευκολία στο εσωτερικό του πυρηνολήπτη ενώ ταυτόχρονα τον συγκρατεί και από πτώση μέσα στο φρεάτιο της γεώτρησης.

Τα καρότα περιβάλλονται από μια ταινία (αδιαπέρατη και πλαστική) καθώς και από ένα μεταλλικό περιτύλιγμα. Για τη μεταφορά τους στο εργαστήριο τοποθετούνται σε ειδικά ξύλινα κουτιά και φωτογραφίζονται υπό κανονικό και υπεριώδες φως (το UV φως θα αποκαλύψει την παρουσία υδρογονανθράκων οι οποίοι δεν εντοπίστηκαν κάτω από το κανονικό φως)^{2,17}.



Φωτογράφιση των πυρήνων. Αριστερά= υπό κανονικό φως, Δεξιά= υπό υπεριώδες φως (UV).

Πηγή: Jahn Frank, Cook Mark & Graham Mark, “Hydrocarbons exploration and production”, Elsevier, 2nd edition, Amsterdam, 2008

Η πλευρική πυρηνοληψία περιλαμβάνει την λήψη κυλίνδρων από πετρώματα που βρίσκονται στην εξωτερική πλευρά της γεώτρησης. Όταν η διαδικασία ολοκληρωθεί, το καρότο ανεβαίνει στην επιφάνεια⁵. Η διάμετρος των καρότων ποικίλει από 3 μέχρι 7 ίντσες και σε μάκρος φτάνουν συνήθως τα 90 πόδια, ενώ ανάλογα με τις απαιτήσεις είναι δυνατόν να ληφθούν και με μεγαλύτερες διαστάσεις¹⁷.

Υπάρχουν δύο μέθοδοι πλευρικής πυρηνοληψίας:

- i. η περιστροφική (rotary sidewall coring), όπου για τη λήψη πυρήνα χρησιμοποιείται ένα μικρό ρομποτικό πυρηνοληπτικό κοπτικό άκρο. Ο πυρήνας αυτός αποθηκεύεται μέσα σε έναν κεντρικό πυρηνολήπτη, το εργαλείο μετακινείται σε άλλη θέση μέσα στη γεώτρηση, και το κοπτικό άκρο ενεργοποιείται και πάλι λαμβάνοντας ένα νέο πυρήνα. Η μέθοδος αυτή θεωρείται ότι δίνει πυρήνες που είναι σχεδόν τόσο καλοί όσο και οι συμβατικοί, με διαφορά στο μέγεθος (μικρότερο).
- ii. η κρουστική μέθοδος (percussion sidewall coring), όπου χρησιμοποιείται εκρηκτική γόμωση η οποία θα προκαλέσει μεγάλης ταχύτητας ώθηση του μικρού πυρηνολήπτη (core barrel) μέσα στο σχηματισμό. Με αυτό τον τρόπο ο πυρηνολήπτης θα καρφωθεί μέσα στο σχηματισμό και στη συνέχεια θα απελευθερωθεί με τη βοήθεια ενός ισχυρού σύρματος. Έτσι λαμβάνεται κυλινδρικό δείγμα (plug) το οποίο καθώς απομακρύνεται προς τα έξω παραμένει μέσα στο σύρμα. Η μέθοδος αυτή είναι πολύ γρήγορη και αποτελεί τον πιο φθηνό τρόπο ανάκτηση πυρήνα. Ωστόσο, η μεγάλη δύναμη που απαιτείται ώστε να διεισδύσει μέσα στο πέτρωμα μπορεί να οδηγήσει σε βλάβη της δομής του πετρώματος².

Η πλευρική πυρηνοληψία είναι πολύ χρήσιμη στην ανάκτηση απευθείας ενδείξεων παρουσίας υδρογονανθράκων (με χρήση υπεριώδους φωτός) καθώς και στη διάκριση μεταξύ πετρελαίου και αερίου¹⁷.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η πυρηνοληψία γίνεται στις ζώνες ενδιαφέροντος και κατά τη διάρκεια λήψης καρότου δεν λαμβάνονται θρύμματα, παρά μόνο αδιατάρακτο υλικό. Πρακτικά δηλαδή γίνεται είτε λήψη καρότου, είτε θρυμμάτων, ποτέ και των δυο μαζί.

▪ Συμβατική ανάλυση πυρήνων (conventional core analysis)

Η ανάλυση των πυρήνων παρέχει μετρήσεις σπουδαίας σημασίας για την περιγραφή του ταμειυτήρα. Με τον όρο 'συμβατική ανάλυση πυρήνα' εννοείται η διαδικασία ανάλυσης που αφορά τις ιδιότητες του πορώδους, της διαπερατότητας και του κορεσμού σε πετρέλαιο. Η 'ειδική ανάλυση πυρήνα (special core analysis)' αποτελείται από αναλυτικές διαδικασίες, όπως η σχετική

διαπερατότητα, η τομογραφία του πυρήνα, η τριχοειδής πίεση και η μέτρηση της σχετικής εμβρεξιμότητας (wettability measurement). Οι τεχνικές σε αυτού του είδους την ανάλυση χρησιμοποιούνται σε περιστασιακή βάση και όχι σε κάθε καρότο που λαμβάνεται.

Η μέτρηση του πορώδους και της διαπερατότητας συνήθως γίνονται σε μικρά κυλινδρικά δείγματα (διαμέτρου 2.5-5.0 cm και μήκους 5-10 cm) που έχουν ληφθεί από το εκάστοτε καρότο, ωστόσο μπορούν να γίνουν και σε δείγματα πετρώματος που έχουν ληφθεί από πλευρικού τύπου πυρηνοληψία. Οι κύλινδροι αυτοί, συνήθως, κόβονται κάθετα προς τον πυρήνα ή παράλληλα προς αυτό.

Για να πραγματοποιηθούν οι περισσότερες από τις μεθόδους μέτρησης των δύο παραπάνω ιδιοτήτων πρέπει το καρότο προς μελέτη να είναι καθαρό. Εξαιρέση αποτελούν οι μέθοδοι των ρευστών, όπου χρησιμοποιείται φρέσκο δείγμα. Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί για την πλύση εξαρτάται από το βαθμό που το δείγμα εμφανίζει σκληρότητα, για παράδειγμα τα καλά τσιμεντωμένα και χαμηλού πορώδους πετρώματα ταμιευτήρα υπόκεινται σε υψηλής ενέργειας πλύση (π.χ. με CO₂ τολουολίου, με φυγόκεντρο δύναμη και απόσταξη υπό κενό), ενώ χαμηλής ενέργειας διαδικασίες πλύσης χρησιμοποιούνται σε λιγότερα συμπαγή πετρώματα (π.χ. Soxhlet Dean-Stark extraction). Οι διαλύτες που θα χρησιμοποιηθούν για την πλύση, επίσης ποικίλουν. Το τολουόλιο είναι το πιο συνηθισμένο, ωστόσο στην περίπτωση που είναι γνωστό ότι τα δείγματα είναι ευαίσθητα στην θερμότητα θα χρησιμοποιηθεί διαλύτης με χαμηλότερο σημείο βρασμού. Η μεθανόλη χρησιμοποιείται συνήθως για την απομάκρυνση του άλατος που έχει καθιζήσει εξαιτίας του νερού του σχηματισμού.

Απαραίτητη ενέργεια μετά την πλύση του δείγματος, είναι αυτή της ξήρανσης. Για πετρώματα καλής συνεκτικότητας που φέρουν υψηλής αντοχής ορυκτά, μπορεί να γίνει μια απλή μεταφορά του δείγματος σε ειδικό φούρνο. Το θερμοκρασιακό εύρος για την διαδικασία της ξήρανσης κυμαίνεται συνήθως μεταξύ των 82°C και των 115 °C.

Προκειμένου να καθοριστεί το πορώδες, απαιτούνται δεδομένα σχετικά με τον συντελεστή όγκου δείγματος (bulk volume) (V_b), τον όγκο των πόρων (V_p) και τον όγκο των κόκκων (V_g)⁵. Ο υπολογισμός του όγκου V_b είναι πολύ σημαντικός όταν ο όγκος των πόρων υπολογίζεται από την διαφορά μεταξύ του συντελεστή όγκου του δείγματος και του όγκου των κόκκων⁸⁴. Μια πολύ καλή τεχνική υπολογισμού του bulk volume χρησιμοποιεί την “Αρχή του Αρχιμήδη” για την μετατόπιση του υδραργύρου. Ο υδράργυρος είναι αδιάβροχος και δεν μπορεί να εισέλθει μέσα από τους περισσότερους πόρους, μέσω της επιφάνειας του δείγματος. Παρ’ όλα αυτά, εάν η επιφάνεια εμφανίζει μεγάλους και ακανόνιστους σχήματος πόρους, όπως στα ανθρακικά πετρώματα, η μέθοδος της μετατόπισης του υδραργύρου δεν μπορεί να εφαρμοστεί καθώς ο υδράργυρος

σταδιακά θα πληρώσει τα κενά των πόρων και η μέτρηση του συντελεστή πορώδους θα είναι πολύ μικρή. Σε αυτή τη περίπτωση για τον προσδιορισμό του συντελεστή όγκου δείγματος χρησιμοποιείται το μήκος και η διάμετρος της βάσης του πυρήνα.

Για τον υπολογισμό του V_p χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο δύο μέθοδοι. Στην πρώτη, απαιτείται ξηρό, ζυγισμένο δείγμα το οποίο υφίσταται κορεσμό από υγρό γνωστής πυκνότητας⁵. Το δείγμα στην συνέχεια βυθίζεται στο υγρό, λόγω του οποίου βρίσκεται στην κατάσταση κορεσμού, και υπολογίζεται το βάρος που υποβυθίστηκε. Ο συντελεστής όγκου του δείγματος θα ισούται με την διαφορά μεταξύ των δύο βαρών, διαιρεμένα από την πυκνότητα του ρευστού με το οποίο ο πυρήνας είναι κορεσμένος και μέσα στο οποίο έχει βυθιστεί. Η δεύτερη μέθοδος απαιτεί και πάλι δείγμα κορεσμένο σε νερό ή άλλο ρευστό. Συνήθως χρησιμοποιείται νερό καθώς αυτό μπορεί εύκολα να εξατμιστεί από τον πυρήνα μετά την λήξη των διαφόρων δοκιμών. Αφού λοιπόν το δείγμα έχει κορεστεί, βυθίζεται μέσα σε ειδικό σκεύος με νερό και έτσι λαμβάνονται δύο βάρη: το βάρος του σκεύους και του νερού πριν τη βύθιση του πυρήνα και το βάρος του σκεύους, του νερού και το δείγματος μετά την βύθιση. Η διαφορά του βάρους ισούται με το βάρος του νερού που εκτοπίστηκε από το δείγμα του πυρήνα. Επειδή η πυκνότητα του νερού είναι 1.0 g/cm^3 , αυτή η διαφορά σε γραμμάρια είναι αριθμητικά ίση με το συντελεστή όγκου του δείγματος του πυρήνα σε κυβικά εκατοστά.

Ο όγκους V_g υπολογίζεται εύκολα χρησιμοποιώντας το νόμου του Boyle. Σε αυτή τη περίπτωση ένα ξηρό δείγμα τοποθετείται σε θάλαμο γνωστού όγκου ο οποίος είναι απομονωμένος από τον θάλαμο πίεσης που βρίσκεται στα ανάντη, και ο οποίος είναι επίσης γνωστού όγκου⁸⁴. Το ήλιο, μέσα από ένα κελί αναφοράς γνωστής πίεσης, διογκώνεται μέσα στο θάλαμο του δείγματος με αποτέλεσμα να πέφτει η αρχική πίεση αναφοράς. Έτσι:

$$P_1 V_r = P_2 (V_r + V_c + V_L - V_g)$$

Όπου:

P_1 : αρχική πίεση στο κελί αναφοράς

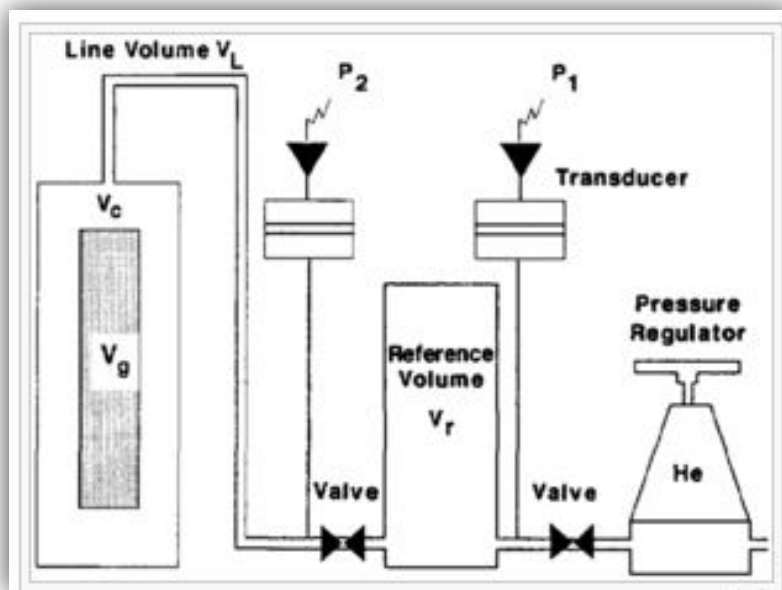
P_2 : τελική πίεση συστήματος

V_r : όγκος του κελιού αναφοράς

V_c : όγκος του κελιού του δείγματος

V_L : όγκος των σωληνώσεων

V_g : όγκος κόκκων του δείγματος⁸⁵

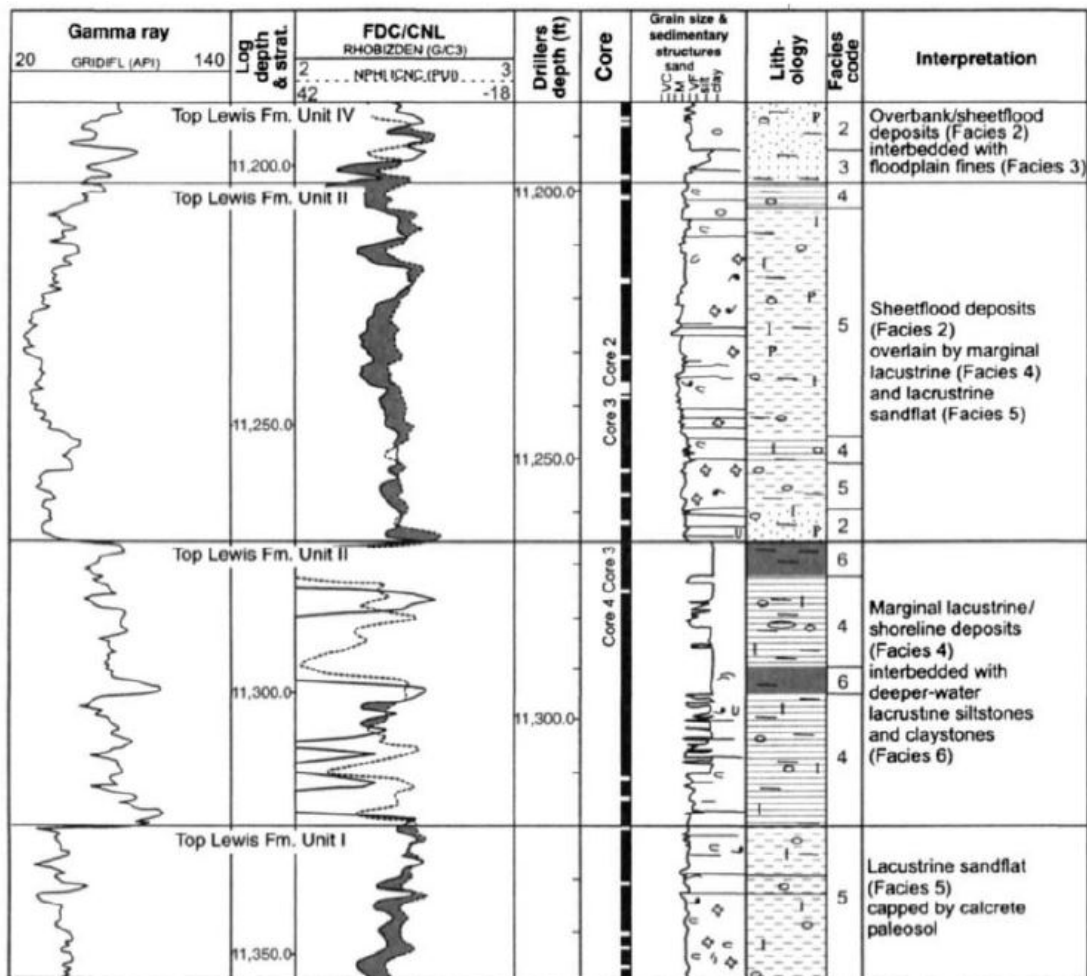


Πηγή: http://wiki.aapg.org/Porosity#Grain_volume_measurement

▪ Logging πυρήνων

Για την περιγραφή του πετρώματος-ταμιευτήρα είναι απαραίτητη η ερμηνεία των περιβαλλόντων απόθεσης (λιθολογία και ιζηματογενείς δομές). Οι περισσότερες από τις πληροφορίες που μπορούν να ληφθούν από τους πυρήνες δεν γίνεται να ανακτηθούν μέσω διαγραφιών, μέσω θρυμμάτων ή από τα δεδομένα των σεισμικών μεθόδων. Η περιγραφή του πυρήνα συνήθως περιλαμβάνει μια γραφική απεικόνιση του πυρήνα, με συμπληρωματικές σημειώσεις⁵.

Αυτή η γραφική απεικόνιση περιλαμβάνει ένα προφίλ με τα μεγέθη των κόκκων, λιθολογικούς δείκτες, εικόνες που αντιπροσωπεύουν τις ιζηματογενείς και βιογενείς δομές στο πέτρωμα καθώς και ένα παρόμοιο σύνολο εικονιδίων που αντιπροσωπεύουν τα εμφανή συσσωματώματα ορυκτών μέσα στο πέτρωμα στο οποίο αυτά βρίσκονται (όπως πυριτόλιθος). Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται κατά μήκος των δεδομένων των διαγραφιών. Στο ίδιο διάγραμμα εμφανίζεται και η ερμηνεία του γεωλόγου σχετικά με τα περιβάλλοντα απόθεσης για κάθε λιθολογία ξεχωριστά ή οι λιθοφάσεις. Ο όρος 'λιθοφάση' χρησιμοποιείται για την περιγραφή ενός πετρώματος, χρησιμοποιώντας τις έννοιες της λιθολογίας και των ιζηματογενών δομών⁵.



Μια log πυρήνα Τριαδικών ταμιευτήρων στα πλαίσια του BerylField, Μεγάλη Βρετανία, Βόρεια Θάλασσα. Η γραφική απεικόνιση της λιθολογίας και των ιζηματογενών δομών έχει χαραχθεί με τα logστης γεώτρησης και τα δεδομένα του πυρήνα

Πηγή: Gluyas Jon and Swarbrick Richard, “Petroleum Geoscience”, Blackwell Publishing, Australia, 2004

▪ Πετρογραφία

Οι πληροφορίες σχετικά με την πετρογραφία συνήθως παρέχουν σημαντικά στοιχεία σχετικά με το πέτρωμα-ταμιευτήρα και την περιγραφή του. Βοηθούν στον προσδιορισμό της προέλευσης, του περιβάλλοντος απόθεσης και της ποιότητας του ταμιευτήρα. Το βασικό εργαλείο για την πετρογραφική μελέτη είναι το οπτικό μικροσκόπιο, όπου τοποθετούνται λεπτές τομές προς παρατήρηση.

Όσον αφορά τα προβλήματα προέλευσης, χρησιμοποιούνται τεχνικές μέθοδοι που παρέχουν επιπλέον πετρογραφικά δεδομένα για τη διερεύνηση του προβλήματος. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος είναι αυτή της ανάλυσης βαρέων ορυκτών (heavy dense mineral analysis), στην οποία

ορυκτά όπως γρανάτης, απατίτης, ρουτίλιο, τουρμαλίνη, ζirkόνια και άλλα πολλά χρησιμοποιούνται για την ταυτοποίηση της πηγής των ιζημάτων.

Σχετικά με το περιβάλλον απόθεσης ενός ταμιευτήρα, αυτό συνήθως προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας το άθροισμα των ιζηματογενών δομών σε συνδυασμό με τις διαθέσιμες παλαιοντολογικές πληροφορίες. Η πετρογραφία, σε αυτή τη περίπτωση, μπορεί να παρέχει πολύ χρήσιμες πληροφορίες, και στην περίπτωση των ανθρακικών πετρωμάτων μπορεί να παρέχει μεγάλο τμήμα των πληροφοριών που απαιτούνται για τον προσδιορισμό του περιβάλλοντος απόθεσης.

Το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο χρησιμοποιεί ως βασικό εργαλείο, για την εκτίμηση της ποιότητας του ταμιευτήρα, το συμβατικό οπτικό μικροσκόπιο. Το οπτικό μικροσκόπιο είναι πολύ χρήσιμο στην παρατήρηση των κόκκων και του συγκολλητικού υλικούμεγάλου όγκου, που βρίσκονται μέσα στο πέτρωμα. Ωστόσο, οι λεπτοκρυσταλλικές άργιλοι και οι μικροσκοπικοί πόροι παρατηρούνται πιο εύκολα σε σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και συγκεκριμένα στις ρωγμές του πετρώματος⁵.

▪ Γεωχημεία

Η γεωχημική ανάλυση του πετρελαίου και των μητρικών πετρωμάτων είναι εξαιρετικά σημαντική για την κατανόηση της απόθεσης και της ωρίμανσης των μητρικών πετρωμάτων, καθώς και της μετανάστευσης και της παγίδευσης του πετρελαίου. Δείγματα ρευστών μπορούν να εξαχθούν από τους πυρήνες καθώς και από τα ίδια τα πετρώματα που αναλύθηκαν. Τα δείγματα ρευστών υδρογονανθράκων μπορούν να εξαχθούν από τα φρεάτια των γεωτρήσεων, ενώ δείγματα από ενδεχόμενα μητρικά πετρώματα μπορούν να ληφθούν από τυχόν προεξοχές-εμφανίσεις του πετρώματος. Γεωχημική ανάλυση των ορυκτών συστατικών του πυρήνα καθώς και των υδατικών ρευστών της γεώτρησης ή του πυρήνα, μπορεί επίσης να επιτευχθεί. Η γεωχημική ανάλυση του πετρώματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον ίδιο λόγο που χρησιμοποιούνται οι πετρογραφικές πληροφορίες, δηλαδή για τον προσδιορισμό της προέλευσης, την διαγενετική ιστορία και για τη συσχέτιση⁵.

▪ Βιοστρωματογραφία

Η βιοστρωματογραφική ανάλυση των ορυκτών υλών που παρήχθησαν από τον πυρήνα και τα θρύμματα, δίνουν πληροφορίες σχετικά με την ηλικία των ιζημάτων, τις συσχετισμένες επιφάνειες μεταξύ των πηγαδιών καθώς και το περιβάλλον απόθεσης. Τέτοιου είδους δεδομένα

χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση της στρωματογραφίας της λεκάνης, έτσι ώστε να υπάρχει σύνδεση με τη στρωματογραφία της γειτονικής περιοχής.

Σήμερα, σχεδόν όλη η βιοστρωματογραφική ανάλυση βασίζεται στη χρήση μικρο-απολιθωμάτων φυτικής ή ζωικής προέλευσης. Η προετοιμασία του δείγματος εξαρτάται από το πέτρωμα και το είδος του απολιθώματος. Στα πρώτα στάδια της αναζήτησης, συνήθως, γίνεται προσπάθεια να εφαρμοστούν σε ένα νέο φρεάτιο πολλές βιοστρωματογραφικές μέθοδοι, λαμβάνοντας δείγματα τόσο από τους πυρήνες όσο και από τα θρύμματα⁵.

3.3.2.4.4 Δείγματα ρευστών (fluid samples)

Η σύσταση και η φάση στην οποία βρίσκεται το πετρέλαιο, αέριο και νερό μέσα στη περιοχή όπου υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση υδρογονανθράκων, φέρει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με: τον τρόπο που προέκυψε αυτή η συσσώρευση ουσιών, το βαθμό κατακερματισμού της περιοχής καθώς και την ετερογένεια που εμφανίζει το πετρέλαιο. Τέτοια δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην βαθμονόμηση των διαγραφιών, κατά τη διάρκεια σχεδιασμού του συστήματος ανάπτυξης για το πεδίο, καθώς και στον σχεδιασμό του συγκροτήματος παραγωγής. Το κόστος των κατασκευών που θα χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή είναι πολύ μεγάλο και αυτό επηρεάζεται σημαντικά από παρουσία ή μη του πετρελαίου. Διότι εάν για παράδειγμα η παράκτια κατασκευή τοποθετηθεί σε θέση όπου τα ρευστά παρουσιάζονται μολυσμένα, τότε το κόστος της αποκατάστασης θα είναι απαγορευτικό. Αξίζει να σημειωθεί ότι η σύσταση του πετρελαίου είναι αυτή που θα ορίσει την εμπορική του αξία.

Με στόχο να οριστούν οι παραπάνω παράγοντες, λαμβάνονται δείγματα των ρευστών, τα οποία στην συνέχεια αναλύονται με κατάλληλες μεθόδους⁵.

▪ Δειγματοληψία

Η λήψη των ρευστών δειγμάτων μπορεί να επιτευχθεί μέσα από τη γεώτρηση και μέσα από τους πυρήνες. Σε κάθε μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί για λήψη νερού ή πετρελαίου, παρουσιάζονται προβλήματα μόλυνσης καθώς και αλλαγής της φάσης και της σύστασης των ρευστών. Τα προβλήματα αυτά προκύπτουν εξαιτίας της διαφορετικής πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν στην περιοχή συγκέντρωσης των υδρογονανθράκων και στην θέση της δειγματοληψίας. Τα πιο αξιόπιστα δεδομένα προέρχονται από τα ρευστά που έχουν ληφθεί κατά τη διάρκεια των

test παραγωγής καθώς και από τα δείγματα που λήφθηκαν υπό ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία ταμιευτήρα⁵.

Η συλλογή αντιπροσωπευτικών ρευστών από τον ταμιευτήρα μπορεί να χρησιμεύσει και στον καθορισμό των P-V-T (πίεση-όγκος-θερμοκρασία) συνθηκών καθώς και των φυσικών ιδιοτήτων (σύσταση-πυκνότητα-ιξώδες)¹⁷. Έτσι δημιουργούνται εξισώσεις που δίνουν την δυνατότητα πρόβλεψης της συμπεριφοράς κάτω από διαφορετικά παραγωγικά καθεστώτα. Κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας το πετρέλαιο ή το νερό ρέει διαμέσου ενός θαλάμου. Όταν ο θάλαμος σφραγιστεί το δείγμα μερικών λίτρων μεταφέρεται στην επιφάνεια. Αφού προσδιοριστούν οι φυσικές του ιδιότητες, το δείγμα μεταφέρεται για χημική ανάλυση.

Το πετρέλαιο και το νερό μπορούν να εξαχθούν και μέσα από τους πυρήνες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας οργανικούς διαλύτες, για την φάση του πετρελαίου, πλένοντας με αποσταγμένο νερό τα υδατικά συστατικά ή χρησιμοποιώντας την διαδικασία της φυγοκέντρωσης είτε για το πετρέλαιο είτε για το νερό. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι η δειγματοληψία είναι αποτελεσματικότερη σε σχέση με ένα test γεώτρησης ή δείγμα μέσα από τη γεώτρηση. Από παλιούς πυρήνες, δεν θα εξατμιστούν οι πολύπλοκοι και μεγάλης αλυσίδας υδρογονάνθρακες (παρ' ότι μπορεί λίγο να οξειδωθούν) ενώ το νερό θα εξατμιστεί αλλά θα παραμείνουν υπολείμματα αλάτων (χρήσιμα για την κατηγοριοποίηση του ταμιευτήρα). Ωστόσο το μειονέκτημα που εμφανίζει είναι ότι κατά τη δειγματοληψία δεν είναι εφικτός ο προσδιορισμός των φυσικών ιδιοτήτων των ρευστών και έτσι η μέθοδος καθίσταται ακατάλληλη για δειγματοληψία πτητικών συστατικών και αερίων⁵.

▪ Χαρακτηρισμός πετρελαίου

Για τον χαρακτηρισμό του πετρελαίου χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες μέθοδοι, μερικές από τις οποίες αναφέρονται παρακάτω:

- *Ισοτοπική μέτρηση (isotope measurements)*: είναι εφικτό, σε όλα τα είδη και κλάσματα του πετρελαίου, να μετρηθεί ο λόγος μεταξύ του ¹³C και του ¹²C. Ο λόγος αυτός, συνήθως, είναι χαρακτηριστικός της οικογένειας των πετρελαίων. Συγκεκριμένα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον χαρακτηρισμό του πετρελαίου που παράγεται από ένα μητρικό πέτρωμα υψηλής ωριμότητας, στο οποίο τα πολύπλοκα μόρια που χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό έχουν καταστραφεί.

- *Ταξινόμηση αερίου (gas classification)*: τα αέρια αντιπροσωπεύουν απλά μόρια. Έτσι, και σε αυτά παρατηρείται απώλεια των βιοδεικτών^{iv} που συνήθως χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση και ταυτοποίηση του μητρικού πετρώματος. Σε αντίθεση με την ισοτοπική μέτρηση, στην ταξινόμηση αερίου είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ο λόγος του μεθανίου προς τα ανώτερα ομόλογα (όπως αιθάνιο, προπάνιο, και βουτάνιο), σε συνδυασμό με την ισοτοπική σύνθεση κάθε ομολόγου. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται ο χαρακτηρισμός του αερίου και η ταυτοποίηση του μητρικού πετρώματος⁵.

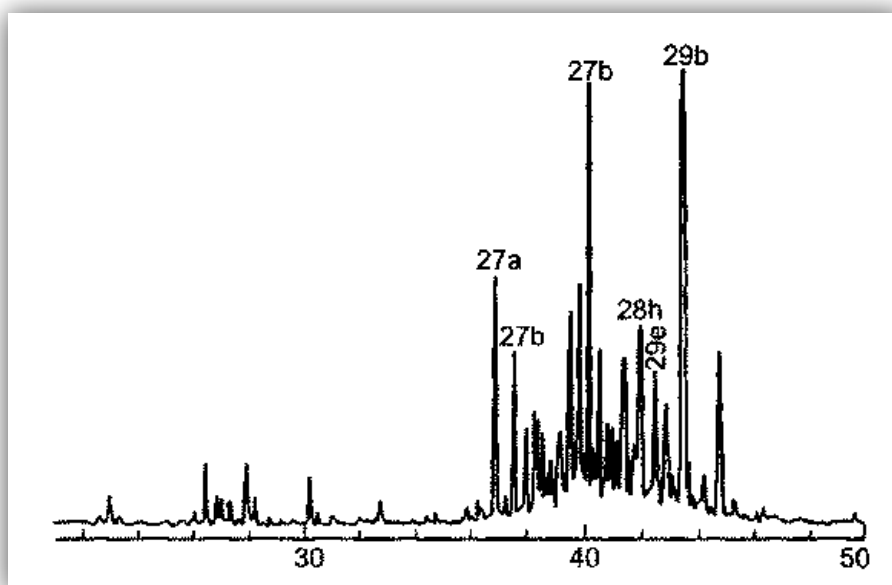
▪ Gas chromatography and gas chromatography (GC) fingerprinting

Στην αέριος χρωματογραφία τα μόρια του πετρελαίου, σε ένα μείγμα, κατανέμονται μεταξύ μιας σταθερής, υψηλού μοριακού βάρους υγρής φάσης και μιας μετακινούμενης αέριας φάσης⁵. Η χρωματογραφική διεργασία πραγματοποιείται σαν αποτέλεσμα επαναλαμβανόμενων προσροφήσεων/εκροφήσεων κατά τη διάρκεια της κίνησης αναλυτών, κατά μήκος της σταθερής φάσης. Ο διαχωρισμός οφείλεται στις διαφορές των συντελεστών κατανομής των μεμονωμένων συστατικών στο μείγμα. Η εφαρμογή της μεθόδου GC είναι περιορισμένη στα συστατικά που εμφανίζουν έντονη μεταβλητότητα και θερμική σταθερότητα⁸⁶.

Συγκεκριμένα, το πετρέλαιο εγχέεται μέσα σε κινούμενο ρεύμα αδρανούς αερίου, όπως ήλιο ή άζωτο. Το συμπαρασυρόμενο, με το πετρέλαιο, αέριο ρέει μέσα από έναν τριχοειδή σωλήνα ο οποίος επικαλύπτεται από το υγρό υψηλού μοριακού βάρους. Ο σωλήνας κυμαίνεται από 0.3μ μέχρι 9μ μέτρος. Κάθε μόριο υδρογονάνθρακα εντός του πετρελαίου κινείται στην υγρή φάση με διαφορετικό ρυθμό. Ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ του σημείου έγχυσης και τη στιγμή που το μόριο φτάνει στον ανιχνευτή ονομάζεται 'χρόνος κατακράτησης' (retain time). Έτσι τα δεδομένα που λαμβάνονται από την αέριο χρωματογραφική ανάλυση αναπαριστώνται γραφικά έναντι του χρόνου κατακράτησης, όπου τα διαφορετικά μόρια εμφανίζονται στο χρωματογράφημα ως κορυφές.

Χρησιμοποιώντας ένα πρότυπο αναφοράς και ελεγχόμενα και επαναλαμβανόμενα πειράματα, είναι εφικτό οι κορυφές στο διάγραμμα να αναγνωριστούν ως ειδικά μόρια⁵.

^{iv}Βιοδείκτες ονομάζονται τα μόρια των υδρογονανθράκων που διατηρούν το βασικό ανθρακικό σκελετό των βαθειά θαμμένων οργανισμών, τα οποία υπέστησαν φυσικοχημικό μετασχηματισμό (μεταγένεση, διαγένεση και ωρίμανση) κατά τη διάρκεια της γεωλογικής ιστορίας της ιζηματογενούς λεκάνης. Φέρουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τις πηγές της βιολογικής ύλης που μετατράπηκαν σε πετρέλαιο και άλλα ορυκτά καύσιμα⁸⁶



Χρωματογραφική εικόνα. Ο x άξονας αντιπροσωπεύει τον χρόνο ανάκτησης σε λεπτά και το ύψος της κορυφής είναι μια συνάρτηση αφθονίας. Ενώσεις που εμφανίζουν περισσότερα άτομα άνθρακα εμφανίζονται περισσότερο προς τα δεξιά του χρωματογραφήματος. Ο αριθμητικός κωδικός που εμφανίζουν οι κορυφές ισούται με τον αριθμό των ατόμων άνθρακα σε κάθε μόριο.

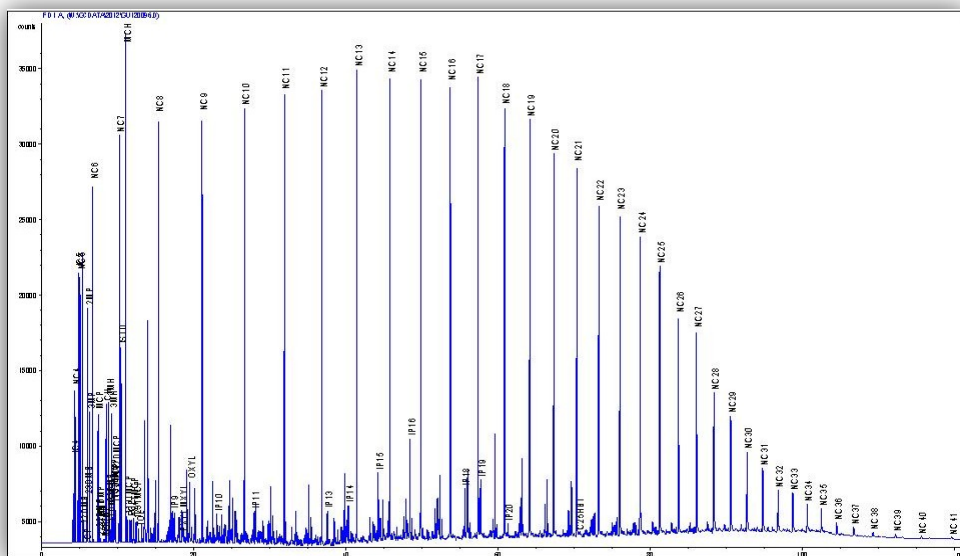
Πηγή: Gluyas Jon and Swarbrick Richard, "Petroleum Geoscience", Blackwell Publishing, Australia, 2004

Η μέθοδος GC fingerprinting είναι πολύ χρήσιμη σε έρευνες για την μόλυνση του υπεδάφους και των υπόγειων υδάτων. Χρησιμοποιείται για τη λήψη πληροφοριών από δείγματα υγρών υδρογονανθράκων για τον προσδιορισμό της σύστασής τους.

Η επεξεργασία με την GC fingerprinting ξεκινάει εκχέοντας μικρή ποσότητα του δείγματος μέσα στην αέριο χρωματογράφο. Αφού γίνει η εισπίεση το προϊόν θερμαίνεται, εξατμίζεται και μεταφέρεται με ροή αδρανούς αερίου σε μια τριχοειδή στήλη. Μετά την εισπίεση παρατηρείται στην στήλη αύξηση της θερμοκρασίας και κίνηση των ενώσεων μέσα σε αυτή. Σε γενικές γραμμές όσο πιο ευμετάβλητες και χαμηλού σημείου ζέσεως είναι οι ενώσεις, τόσο πιο νωρίς αρχίζουν να κινούνται. Ένας ανιχνευτής ιονίζουσας φλόγας που είναι συνδεδεμένος με το άκρο της στήλης, ανιχνεύει τα συστατικά του προϊόντος, καθώς αυτά εκλύονται από τη στήλη. Ο χρόνος που απαιτείται για το κάθε συστατικό να περάσει μέσα από τη στήλη εξαρτάται από τη θερμοκρασία, το μήκος και τα χαρακτηριστικά της στήλης, καθώς και το χαρακτήρα του ίδιου του συστατικού⁸⁷.

Στην GC fingerprinting, δεν αναγνωρίζονται οι μεμονωμένες κορυφές, ωστόσο υπολογίζονται οι αναλογίες μεταξύ των υψών των κορυφών έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα δακτυλικό αποτύπωμα για κάθε δείγμα πετρελαίου. Επιπλέον, είναι πολύ σύνηθες να επιλέγονται οι μικρές κορυφές που

βρίσκονται μεταξύ της μεγαλύτερης κορυφής του κανονικού αλκανίου. Αυτά τα μόρια είναι που ποικίλουν περισσότερο μεταξύ των πετρελαίων⁵.



Χρωματογραφήματα διαφορετικών πετρελαίων θα υποδείξουν διαφορετικά συστατικά, επιτρέποντας τη δημιουργία αποτυπωμάτων.

Πηγή: http://stratochem.com/?page_id=38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Στάδιο Επιβεβαίωσης Υδρογονανθράκων (Appraisal stage)

4.1 Στάδιο Επιβεβαίωσης

Μετά το στάδιο της αναζήτησης και εφόσον έχουν εντοπιστεί περιοχές με υδρογονάνθρακες, πρέπει να γίνει μια τυπική αξιολόγηση του πεδίου. Έτσι θα προσδιοριστεί η ποσότητα του πετρελαίου που βρίσκεται στη λεκάνη, το πόσο εύκολα ή όχι θα μπορεί να ανακτηθεί αυτό καθώς επίσης θα αποφασιστεί εάν οι εργασίες θα προχωρήσουν προς παραγωγή του πεδίου⁵. Η αξία αυτών των πληροφοριών πρέπει πάντα να υπερβαίνει το κόστος απόκτησής τους. Για αυτό το λόγο, συνήθως, λαμβάνονται επιπλέον σεισμικά δεδομένα καθώς επίσης διατρύονται επιπλέον επιβεβαιωτικά φρεάτια περιμετρικά της αρχικής ερευνητικής γεώτρησης. Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα προσδιορίζονται βάση ενός υπολογιστικού μοντέλου προσομοίωσης του. Στην συνέχεια κατατάσσονται βάση του πόσο επηρεάζουν ή όχι το μελλοντικό σχέδιο ανάπτυξης (development stage)⁸⁸.

Αναλυτικότερα λοιπόν, το στάδιο της επιβεβαίωσης περιλαμβάνει την οριοθέτηση του μεγέθους και του σχήματος του πεδίου καθώς και την θέση της επαφής των ρευστών μεταξύ τους (αέριο/νερό, πετρέλαιο/νερό, και πιθανώς αέριο/πετρέλαιο). Παράλληλα λαμβάνονται δεδομένα για τον προσδιορισμό της σύστασης του πετρελαίου.

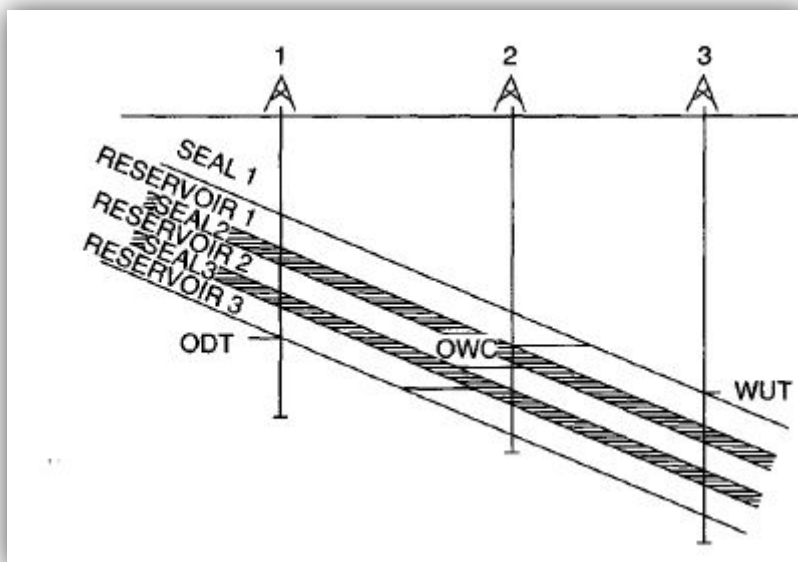
Η ποιότητα και το μέγεθος της επιπλέον σεισμικής έρευνας που πραγματοποιείται καθορίζονται από διάφορους παράγοντες, οι οποίοι περιλαμβάνουν την στρωματογραφική και τεκτονική πολυπλοκότητα, το εκτιμώμενο μέγεθος του πεδίου, το περιβάλλον (οι θαλάσσιες έρευνες είναι λιγότερο ακριβές από αυτές στη ξηρά), τη τοποθεσία καθώς και από τα σχετικά κόστη των γεωτρήσεων σε σχέση με τα σεισμικά⁵.

Οι αναλύσεις που πραγματοποιούνται είναι γεωχημικές και πετροφυσικές και δίνουν πληροφορίες σχετικά με το είδος (ιζώδες, χημισμός, API, κ.α.) των υδρογονανθράκων καθώς και με τη φύση του ταμιευτήρα (πορώδες, διαπερατότητα, κ.α.)⁸⁹. Επίσης πραγματοποιούνται loggings,

δειγματοληψίες ρευστών και πυρηνοληψίες για την απόκτηση περισσότερων δεδομένων⁹⁰. Τέτοια δεδομένα χρησιμοποιούνται για το σχηματισμό ενός μοντέλου για τον ταμιευτήρα

Στο στάδιο αυτό γίνεται προσεκτικότερη μελέτη των υπεδάφινων χαρτών που χρησιμοποιήθηκαν και στο στάδιο της αναζήτησης.

Οι επιβεβαιωτικές γεωτρήσεις είναι δυνατόν να διεισδύσουν σε τμήματα με πετρέλαιο και νερό, που βρίσκονται σε διαφορετικούς ταμιευτήρες και διαχωρίζονται από μονάδες που δεν ανήκουν στους ταμιευτήρες. Κατά αυτό τον τρόπο είναι εφικτό να οριστεί το όριο κάτω ή πάνω από το οποίο υπάρχει πετρέλαιο και νερό καθώς και οι διακυμάνσεις τους. Οι διακυμάνσεις αυτές είναι γνωστές ως ‘η βαθύτερη γνωστή στάθμη πετρελαίου’ και η ‘υψηλότερη γνωστή στάθμη νερού’. Η εξήγηση που δίνεται για αυτές τις περιπτώσεις είναι ότι το όριο πετρελαίου/νερού απλώνεται μεταξύ του ανώτερου νερού και του κατώτερου πετρελαίου.



Πηγή: Gluyas Jon and Swarbrick Richard, “Petroleum Geoscience”, Blackwell Publishing, Australia, 2004

Η δυσκολία που συναντάται σε αυτό το στάδιο είναι κατά το συσχετισμός των υπεδάφινων στρωμάτων. Ουσιαστικά, πρέπει να υπάρξει συσχετισμός μεταξύ της των γεωτρήσεων στον ταμιευτήρα, οι οποίες απέχουν μόλις λίγα χιλιόμετρα. Η συσχέτιση αυτή θα ελέγχει τη γεωμετρική διάταξη των μονάδων του ταμιευτήρα, που χρησιμοποιούνται στον προσομοιωτή του. Γενικότερα, εάν ο χρησιμοποιούμενος στον προσομοιωτή συσχετισμός μεταξύ των γεωτρήσεων είναι ακατάλληλος, τότε ο ταμιευτήρας δεν θα συμπεριφέρεται με τον τρόπο που προβλέπει η προσομοίωση. Σε αυτή τη περίπτωση, οι διαφορές που θα εμφανίζει το μοντέλο σε σχέση με τη πραγματικότητα θα είναι μικρές, αλλά μπορεί και αρκετά μεγάλες⁵.

Η διαδικασία της επιβεβαίωσης θεωρείται επιτυχημένη όταν η εταιρεία αποφασίσει ότι το πεδίο υδρογονανθράκων είναι κατάλληλο προς παραγωγή. Ένας από τους κινδύνους που γενικότερα αντιμετωπίζει μια εταιρεία είναι ότι ακόμη και εάν στο στάδιο της επιβεβαίωσης έχει ξοδέψει πολλά χρήματα και πολύ χρόνο, μπορεί να μην βρει τρόπο για την ασφαλή, κερδοφόρα και υπεύθυνη ανάπτυξη του πεδίου (για την κοινωνία και το περιβάλλον)⁹¹.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Στάδιο Ανάπτυξης και Παραγωγής Υδρογονανθράκων (Development & Production stage)

5.1 Στάδιο Ανάπτυξης

Εφόσον λοιπόν έχει προσδιοριστεί με ακρίβεια η έκταση του πεδίου υδρογονανθράκων, ακολουθούν ορισμένες γεωτρήσεις, οι οποίες ονομάζονται ‘παραγωγικές γεωτρήσεις’⁹². Ο αριθμός των γεωτρήσεων που απαιτούνται, η θέση στην οποία θα πραγματοποιηθούν καθώς και οι εγκαταστάσεις που πρέπει να κατασκευαστούν, ορίζονται από το ‘σχέδιο ανάπτυξης’.

Ο πυρήνας του σχεδίου ανάπτυξης αποτελεί το μοντέλο του ταμιευτήρα το οποίο χρησιμοποιείται για τη προσομοίωση της παραγωγής υδρογονανθράκων, με χρήση ειδικών υπολογιστικών πακέτων μοντελοποίησης. Τα μοντέλα αυτά στηρίζονται σε στατικά δεδομένα, όπως για παράδειγμα η γεωλογική περιγραφή της μορφής της παγίδας, οι πετροφυσικές ιδιότητες κ.α. Εξαρτώνται επίσης από οποιαδήποτε διαθέσιμα δυναμικά δεδομένα, όπως τα αποτελέσματα από τις δοκιμές ροής στην γεώτρηση. Με το μοντέλο αυτό υπολογίζεται η ποσότητα του πετρελαίου/φυσικού αερίου και του νερού που μπορεί να ανακτηθεί καθώς και οι απαιτούμενες γεωτρήσεις. Αυτές οι πληροφορίες είναι ιδιαίτερα σημαντικές, διότι σε αυτές θα στηριχτούν τα σχέδια των εγκαταστάσεων παραγωγής. Η ποσότητα πετρελαίου που έχει υπολογιστεί ότι θα παραχθεί θα ορίσει το μέγεθος της εγκατάστασης εξαγωγής του. Από την άλλη μεριά, η εκτιμώμενη παραγωγική ποσότητα αερίου θα καθορίσει εάν απαιτείται ξεχωριστή εγκατάσταση εξαγωγής του φυσικού αερίου⁵.

Βάση λοιπόν του σχεδίου ανάπτυξης, ένας μικρός ταμιευτήρας μπορεί να εκμεταλλευθεί χρησιμοποιώντας μία ή και περισσότερες επιβεβαιωτικές γεωτρήσεις, ωστόσο ένας μεγαλύτερος σε έκταση θα χρειαστεί επιπλέον φρεάτια. Για παράδειγμα, τα πολύ μεγάλα σε έκταση πεδία μπορεί να απαιτούν εκατοντάδες γεωτρήσεις ενώ τα μικρότερα, μπορεί και μόνο δέκα. Συνήθως οι γεωτρήσεις πραγματοποιούνται σε ένα συγκεκριμένο χωρικό μπλοκ, έτσι ώστε να μην υπάρχουν πολλές εδαφικές απαιτήσεις αλλά και για να μειωθεί το μεγάλο κόστος υποδομών. Η διαδικασία διάτρησης είναι η ίδια με αυτή που ακολουθείται στο στάδιο αναζήτησης, με τη διαφορά ότι σε αυτό το στάδιο οι απαιτήσεις (διαμονή προσωπικού, παροχή νερού, διαχείριση αποβλήτων κ.α.)

είναι μεγαλύτερες μιας και ο χρόνος παραμονής και δραστηριότητας είναι εμφανώς μεγαλύτερος⁹². Ιδιαίτερη προσοχή στην τοποθέτηση των γεωτρήσεων δίδεται για τους ταμιευτήρες πετρελαίου οι οποίοι καλύπτονται από αέριο. Σε αυτή τη περίπτωση, και αν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι αρκετά μικρός, ο ταμιευτήρας μπορεί να αξιοποιηθεί τοποθετώντας τα παραγωγικά φρεάτια χαμηλά στην στήλη πετρελαίου ή ακόμη και στην κορυφή του υποκείμενου χώρου ο οποίος κατακλύζεται από νερό. Στην περίπτωση που ο υδροφόρος ορίζοντας είναι μεγάλος, οι γεωτρήσεις θα πρέπει να διανοιχτούν στο χαμηλότερο τμήμα της στήλης. Σε αυτή τη περίπτωση, η διαχείριση της καθοδικής μετανάστευσης της επαφής αερίου/πετρελαίου γίνεται πιο εύκολα μετά από εισπίεση αερίου μέσα στο κάλυμμα που περιβάλλει τον ταμιευτήρα.

Οι γεωτρήσεις παραγωγής πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της κατασκευής των εγκαταστάσεων παραγωγής και δεν διαφέρουν κατά πολύ από αυτές της αναζήτησης⁵. Η διαφορά που υπάρχει είναι ότι σε αυτό το στάδιο το μεγάλο βάρους διατρητικό στέλεχος αντικαθίσταται από ένα ελαφρύτερο σωλήνα. Συνήθως μια γεώτρηση μπορεί να φέρει δύο ή τρεις στήλες σωλήνα, που ο καθένας παράγει από διαφορετικό στρώμα του υπεδάφιου ταμιευτήρα. Σε αυτό το σημείο, το σύστημα αντiekρηκτικού μηχανισμού (blowout preventer) αντικαθίσταται από μια βαλβίδα ελέγχου που ονομάζεται 'Christmas tree' (χριστουγεννιάτικο δέντρο)⁹².

5.2 Στάδιο Παραγωγής

Στη σύγχρονη βιομηχανία οι περισσότερες γεωτρήσεις είναι ελεύθερης ροής, δηλαδή η υπεδάφια πίεση που επικρατεί οδηγεί τα ρευστά και το αέριο από τον πυθμένα προς την επιφάνεια. Ο ρυθμός ροής εξαρτάται από ορισμένους παράγοντες οι οποίοι δεν είναι σταθεροί κατά τη διάρκεια της εκμετάλλευσης της γεώτρησης. Τέτοιοι παράγοντες είναι: οι ιδιότητες του ταμιευτήρα, οι πιέσεις που επικρατούν στο βάθος, το ιξώδες που παρουσιάζει το πετρέλαιο, καθώς και ο λόγος πετρελαίου/αερίου.

Κατά τις πρώτες δραστηριότητες στο πεδίο, και με στόχο την διατήρηση της πίεσης, τη βελτιστοποίηση του ρυθμού παραγωγής καθώς και των τελικών δυνατοτήτων ανάκτησης του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, είναι πολύ συχνό φαινόμενο η εισπίεση αερίου, ή αέρα⁹².

Κατά το στάδιο της παραγωγής απομακρύνονται οι υδρογονάνθρακες από το πεδίο πετρελαίου ή αερίου καθώς επίσης σημειώνονται και τα πρώτα έσοδα από την πώληση τους. Μετά από πολλά χρόνια τα έσοδα αυτά θα ξεπεράσουν το κεφάλαιο που στην αρχή επένδυσε η εταιρεία, και έτσι η τελευταία θα εμφανίσει κέρδος.

Η παραγωγή μπορεί να διαρκέσει αρκετά χρόνια, μέχρι και 40 ή και παραπάνω. Η διάρκεια αυτή εξαρτάται από το μέγεθος του προς εκμετάλλευση πεδίου υδρογονανθράκων καθώς επίσης και από το κόστος διατήρησης και συντήρησης των γεωτρήσεων και των εγκαταστάσεων παραγωγής⁹³.

Όταν οι υδρογονάνθρακες φτάσουν στην επιφάνεια, οδηγούνται στις κεντρικές εγκαταστάσεις πετρελαίου. Εκεί πραγματοποιείται διαχωρισμός των παραγόμενων ρευστών (αέριο, πετρέλαιο και νερό). Το πετρέλαιο, πριν εξαχθεί, πρέπει να έχει απαλλαχθεί από το αέριο που μπορεί να περιέχει. Το μέγεθος αυτής της εγκατάστασης εξαρτάται από τη φύση του ταμιευτήρα, τον όγκο και τη φύση των παραγόμενων ρευστών, καθώς και την μέθοδο εξαγωγής που έχει επιλεγεί⁹².

Με την έναρξη της παραγωγικής διαδικασίας, προκύπτουν δυναμικά δεδομένα, τα οποία περιλαμβάνουν μεταβολές της πίεσης του ταμιευτήρα καθώς και τους σχετικούς και απόλυτους ρυθμούς παραγωγής πετρελαίου και νερού. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να φανούν πολύ χρήσιμα για τη βελτίωση της περιγραφής του ταμιευτήρα, που κατ' επέκταση θα επηρεάσει θετικά τη ποσότητα του πετρελαίου που θα παραχθεί. Κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας είναι πιθανό, το μοντέλο του ταμιευτήρα που είχε προηγουμένως κατασκευαστεί, να υποστεί αναθεωρήσεις και βελτιώσεις.

Αφού λοιπόν έχει ξεκινήσει η παραγωγική διαδικασία, και μετά από κάποιο ικανοποιητικό χρονικό διάστημα, θα είναι πλέον ξεκάθαρο το πόσο καλά παραγωγικά αποτελέσματα επιφέρει η κάθε γεώτρηση. Σε αυτό το σημείο είναι πλέον φανερό η επιτυχημένη ή όχι πρόβλεψη της συμπεριφοράς του πεδίου από το μοντέλο⁵.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, οι ενεργειακές απαιτήσεις της σύγχρονης κοινωνίας έχουν παρουσιάσει μια ανοδική πορεία σε σχέση με αυτές που παρατηρούνταν παλαιότερα. Η ζήτηση των συμβατικών υδρογονανθράκων έχει αυξηθεί αισθητά, με αποτέλεσμα όλο και περισσότερες έρευνες να πραγματοποιούνται σε περιοχές που πιθανότατα να φιλοξενούν κερδοφόρα κοιτάσματα.

Η παρούσα εργασία έχει εκπονηθεί με σκοπό να παρουσιαστούν αναλυτικά όλες οι τεχνικές αναζήτησης και παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου. Στόχος είναι η διερεύνηση και κατανόηση των μεθόδων που χρησιμοποιούνται κατά τον εντοπισμό ενός κοιτάσματος, κατά τις εργασίες εκτίμησης του κέρδους που πιθανότατα αυτό θα αποφέρει, καθώς και στο στάδιο εκείνο που το κοίτασμα θα χαρακτηριστεί ως παραγωγικό και άρα θα υποστεί τις τεχνικές εκμετάλλευσης. Η εργασία περιορίζεται στα στάδια της αναζήτησης και παραγωγής, εξαιτίας της απαραίτητης και κρίσιμης συνεισφοράς των γεωλόγων.

Πιο συγκεκριμένα, στην παρούσα εργασία γίνεται εκτενής αναφορά στα βασικά στοιχεία από τα οποία πρέπει να αποτελείται μια δομή ώστε να χαρακτηριστεί ως κοίτασμα πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Μέσα από αυτά, γίνονται κατανοητές οι περίπλοκες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο υπέδαφος και οι οποίες οδηγούν σε πιθανή διαφυγή ή συσσώρευση των υδρογονανθράκων. Επιπλέον, μελετούνται οι διάφορες μέθοδοι αναζήτησης υδρογονανθράκων, οι οποίες κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες: στις μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης και στις μεθόδους αναζήτησης κατά τη διάρκεια της διάτρησης. Και στις δύο περιπτώσεις αναφέρονται αναλυτικά όλες οι τεχνικές και ο απαραίτητος εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στο ύπαιθρο, καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους. Τέλος, γίνεται περιγραφή των σταδίων Επιβεβαίωσης, Ανάπτυξης και Παραγωγής των συμβατικών υδρογονανθράκων με στόχο τη σφαιρική κατανόησή τους.

Αξίζει να σημειωθεί ότι μεγάλο μέρος του κείμενου έχει βασιστεί σε μεταφράσεις ξένης βιβλιογραφίας. Πιο συγκεκριμένα, πολλά τμήματα της εργασίας αποτελούν μεταφράσεις του βιβλίου “*Hydrocarbons exploration and production*” (Cook Mark, Graham Mark & Jahn Frank) αλλά κατά κύριο λόγο του “*Petroleum Geoscience*” (Gluyas Jon and Swarbrick Richard).

Abstract

In recent years, the energy needs of modern society have shown an upward trend, in comparison with those in the past. The demand for conventional hydrocarbons has considerably increased, and as a result more and more surveys are carried out in areas where possible profitable deposits may exist.

My thesis has been prepared in order to present in detail all the techniques that are used for the exploration and production of petroleum and natural gas. It aims to explore and comprehend the methods used for the detection of deposits, those that are used during the work for the prediction of the profit that the deposit may bring, and also during that stage that the deposit will be characterised as productive and hence the exploitation techniques will take place. This extensive report is confined to these stages, due to the essential and critical presence of the geologists.

More specifically, a detailed report was made for the basic characteristics of which a structure must be composed of, in order to be qualified as an oil or natural gas deposit. By understanding these characteristics it is easy to comprehend the complex processes that take place at the subsurface and that lead to possible leakage or to accumulation of hydrocarbons. Furthermore, the various exploration methods of hydrocarbons were studied, and then they were classified into two categories: the geophysical methods and the methods that take place during drilling. In both cases, all the techniques and the necessary equipment used are mentioned in details, as well as their advantages and disadvantages. Finally, the Appraisal, Development and Production stages have been studied in order to clearly understand what these stages stand for.

It is worth to mention that the main text of this thesis has been based on foreign literature translations. Many parts of it, are translations of the book “*Hydrocarbons exploration and production*” (Cook Mark, Graham Mark & Jahn Frank) but primarily of the “*Petroleum Geoscience*” (Gluyas Jon and Swarbrick Richard) book.

Βιβλιογραφία

1. Γεωργακόπουλος Ανδρέας, Σημειώσεις μαθήματος “*Κοιτασματολογία Πετρελαίου*”, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2004
2. Γεωργακόπουλος Ανδρέας, Σημειώσεις μαθήματος “*Κοιτασματολογία Πετρελαίου*”, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2014
3. Γεωργακόπουλος Ανδρέας, Ηλεκτρονικές Σημειώσεις μαθήματος “*Κοιτασματολογία Πετρελαίου*” (Οργανική Χημεία), Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2004
4. <http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Petroleum>
5. Gluyas Jon and Swarbrick Richard, “*Petroleum Geoscience*”, Blackwell Publishing, Australia, 2004
6. <http://el.wikipedia.org/wiki/Πετρέλαιο>
7. http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Natural_gas
8. http://el.wikipedia.org/wiki/Φυσικό_αέριο
9. <http://glossary.oilfield.slb.com/en/Terms.aspx?LookIn=term%20name&filter=source+rock>
10. <http://glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/r/reservoir.aspx>
11. <http://el.wikipedia.org/wiki/Άνωση>
12. <http://glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/s/seal.aspx>
13. <http://glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/t/trap.aspx>

14. Beaumont A. Edward, Foster A. Norman, “*Exploring for Oil and Gas Traps*”, American Association of Petroleum Geologists, AAPG Treatise Handbook, Volume 3, 1999
15. <https://catalog.data.gov/dataset/national-assessment-of-oil-and-gas-project-uinta-piceance-province-020-pods-of-mature-source-r>
16. Ζεληλίδης Αβραάμ, Σημειώσεις μαθήματος “*Γεωλογία Πετρελαίων*”, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πάτρας, Πάτρα.
17. Cook Mark, Graham Mark & Jahn Frank, “*Hydrocarbons exploration and production*”, Elsevier, 2nd edition, Amsterdam, 2008
18. Brian Horsfield, Jurgen Rullkotter, “*M60: The Petroleum System--From Source to Trap*”, Article/Chapter: Diagenesis, Catagenesis, and Metagenesis of Organic Matter: Chapter 10: Part III. Processes, Memoir, 1994
19. <http://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms.aspx?LookIn=term%20name&filter=vitrinite%20reflectance>
20. <http://glossary.oilfield.slb.com/en/Terms.aspx?LookIn=term%20name&filter=kerogen>
21. <http://www.learner.org/courses/envsci/unit/text.php?unit=10&secNum=4>
22. Borthwick Ian & Associates, “*Environmental management in oil and gas exploration and production*”, Joint E&P Forum & UNEP IE, Words and Publications, Oxford, United Kingdom.
23. <http://www.kau.edu.sa/Files/0054337/Subjects/types%20of%20oil%20traps.pdf>
24. Maggon, L. B, and W. G. Dow, “*The petroleum system-from source to trap: AAPG Memoir 60*”, 1994
25. <http://www.carbonet.net/bjarne/Stoupakova%20et%20al%202006.swf>

26. <http://tectono.blogspot.gr/2011/12/diapiric-structures-origin-and.html>
27. <http://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms.aspx?LookIn=term%20name&filter=stratigraphic%20trap>
28. <http://dnr.louisiana.gov/assets/TAD/education/BGBB/4/traps.html>
29. Caldwell Jack, Chowdhury Abu, Engelmark Folke, Neidell Norman, Sonneland Lars, Van Bommel Peter, Zydeco Energy, Inc., “*Exploring for Stratigraphic Traps*”, Oilfield review, Winter 1997, Schlumberger, 1997
30. Παπαζάχος Βασίλης, “*Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική*”, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 1996.
31. Γεωργακόπουλος Ανδρέας, Ηλεκτρονικές Σημειώσεις μαθήματος “*Κοιτασματολογία Πετρελαίου*” (Geophysical Exploration), Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2004
32. Τσόκας Γρηγόριος, Σημειώσεις μαθήματος “*Βαρυτικές και Μαγνητικές Μέθοδοι Γεωφυσικής Διασκόπησης*”, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
33. Χριστοφίδης Γεώργιος, Σημειώσεις μαθήματος “*Ορυκτολογία*”, Τμήμα Γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
34. Αποστολόπουλος Γεώργιος, Σημειώσεις μαθήματος “*Εφαρμοσμένη Γεωφυσική*”, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2013
35. http://www.cgg.com/popup_page.aspx?cid=5447
36. Drijkoningen Guy, Σημειώσεις μαθήματος “*Seismic Data Acquisition*”, Department of Applied Geophysics & Petrophysics, Delft University of Technology, Delft, August 2013

37. http://www.geol.lsu.edu/jlorenzo/ReflectSeismol03/Geophones_files/geophones.htm.
38. <http://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms.aspx?LookIn=term%20name&filter=hydrophone>
39. http://www.ea.gr/biblio/E/E_AMHXOS.PDF
40. Βαφείδης Αντώνης, “*Η συμβολή της Σεισμικής Ανάκλασης στην Αναζήτηση Κοιτασμάτων Υδρογονανθράκων*”, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
41. Morozov Igor, Εργαστηριακές σημειώσεις “*Seismology and GPR methods*”, Department of Geological Sciences, University of Saskatchewan, Canada
42. http://www.bairdpetro.com/pdf_files/p58-62.pdf
43. Juan Lorenzo, Σημειώσεις μαθήματος “*Reflection Seismology*”, Louisiana State University, College of Sciences, Louisiana
44. Κολοβός Νέστορας, Σημειώσεις μαθήματος “*Τεχνική Γεωτρήσεων*”, Τμήμα Γεωτεχνολογίας και Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη.
45. Σταματάκη Σοφία, Σημειώσεις μαθήματος “*Τεχνολογία Γεωτρήσεων*”, Σχολή Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
46. Αναγνωστάκης Θεόδωρος, “*Κατολίσθηση Βελβετσίου Πατρών-Γεωτεχνικές Συνθήκες*”, Πτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, Οκτώβριος 2010
47. Βουδούρης Κώστας, Μαρίνος Βασίλης, Ηλεκτρονικές Σημειώσεις μαθήματος “*Τεχνική Γεωτρήσεων*”, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2011
48. Κορώνης Δ., Λόης Ε., & Σημειώσεις μαθήματος “*Τεχνολογία Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου*”, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
49. http://en.wikipedia.org/wiki/Drilling_rig

50. Versan KOK Mustafa, Σημειώσεις μαθήματος “*Drilling Engineering*”, Department of Petroleum & Natural Gas Engineering, Middle East Technical University.
51. <http://petrofed.winwinhosting.net/upload/PRESENTATION%205>.
52. http://ocw.utm.my/file.php/12/Chapter_4-OCW.pdf
53. Φυτίκας Μιχάλης, Σημειώσεις μαθήματος “*Τεχνική Γεωτρήσεων*”, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1998
54. Devold Håvard, “*Oil and gas production handbook. An introduction to oil and gas production*”, Edition 3.0, ABB Oil and Gas, Oslo, August 2013, 2006 – 2013
55. Σκουρολιάκου Κατερίνα, Σημειώσεις μαθήματος “*Φυσική*”, Τμήμα Φυσικής Χημείας & Τ/Υ, TEI Αθήνας, Αθήνα
56. <http://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms.aspx?LookIn=term%20name&filter=blowout%20preventer>
57. Fertl Walter, Chapman Richard & Hotz Rod, “*Studies in Abnormal Pressures*”, 1st Edition, Elsevier, Netherlands, 1994
58. http://www.slb.com/services/drilling/mwd_lwd/mwd.aspx
59. Stefan Mrozewski, “*Logging While Drilling*”, Marine Geophysics Seminar, Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University, 2008
60. Βουδούρης Κώστας, “*Τεχνική Υδρογεωλογία - Υπόγεια νερά*”, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2013
61. Βουδούρης Κώστας, Σημειώσεις μαθήματος “*Θέματα Υδρογεωλογίας Περιβάλλοντος*”, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

62. http://www.gg.uwyo.edu/content/laboratory/petroleum/economics/oil_reserves/shrinkage.asp?callNumber=14276&SubcallNumber=0&unit=saudi

63. http://www.fekete.com/SAN/TheoryAndEquations/WellTestTheoryEquations/Oil_Formation_Volume_Factor.htm

64. Βλασσόπουλος Δημήτρης, Σημειώσεις μαθήματος “ Φαινόμενα Μεταφοράς στην Επιστήμη Υλικών ”, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Ηράκλειο.

65. Peter Ablard, Chris Bell, David Cook, Ivan Fornasier, Jean-Pierre Poyet, Sachin Sharma, Kevin Fielding, Laura Lawton, George Haines, Mark A. Herkommer, Kevin McCarthy, Maja Radakovic, Lawrence Umar, “The *Expanding Role of Mud Logging*”, No. 1, Oilfield review, Schlumberger, 2012

66. <http://naclbooks.com/signup/?k=52%20-%20Mud%20Logging>”

67. http://petrowiki.org/Cuttings_analysis_during_mud_logging

68. Βαργεμέζης Γεώργιος, Παναγιώτης Τσούρλος, Ηλεκτρονικές σημειώσεις μαθήματος “Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης”, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη

69. Αλεξόπουλος Ιωάννης, Σημειώσεις μαθήματος “Εισαγωγή στη Γεωφυσική”, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα 2018

70. Μπεθάνης Κώστας, Σημειώσεις μαθήματος “*H/M Κύματα, Κυματική οπτική, Οπτική Fourier*”, Τμήμα Βιοτεχνολογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα

71. <http://home.web.cern.ch/>

72. Bruce Railsback,, Σημειώσεις μαθήματος “*Petroleum geology*”, Department of Geology, University of Georgia, Athens, Georgia, USA

73. <http://seismo.geology.upatras.gr/greek/Notes04enc.pdf>

74. Thomas W. Engler, Σημειώσεις μαθήματος “*Formation Evaluation*”, Department of Petroleum and Natural Gas Engineering, The New Mexico Institute of Mining and Technology, New Mexico Tech, Spring 2011

75. http://eeae.gr/docs/edu/info_ekpaideytiko%20yliko_june2011.pdf

76. http://petrowiki.org/Density_logging

77. <http://harshitpandey.hubpages.com/hub/Wireline-Logs-and-Interpretation#>

78. Glover Paul, Σημειώσεις μαθήματος “*Petrophysics*”, School of Earth and Environment, University of Leeds, May 2014

79. Ιορδανίδης Ανδρέας, “*Οργανική γεωχημεία και πετρολογία του Λιγνιτικού Κοιτάσματος Αμόνταιου*”, Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2002

80. Νταής Φώτης, Σημειώσεις μαθήματος “*Φασματοσκοπία NMR*”, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Κρήτη

81. http://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρική_αγωγιμότητα

82. Chapman E. Richard, “*Developments in Petroleum Science*”, Vol 16, 1983

83. Μιχαλάκης Ιωάννης, “*Συμβολή της ηλεκτρικής τομογραφίας στην παρακολούθηση της υφαλμύρινσης πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τη δοκιμή άντλησης στον οικισμό Φαράγγι Αποκορώνου*”, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2007

84. <http://petroleumcrudeoil.blogspot.gr/2008/11/coring-and-core-analysis-porosity.html>

85. http://wiki.aapg.org/Porosity#Grain_volume_measurement
86. Wilfried Niessen, “*Current Practice of Gas Chromatography – Mass Spectrometry*”, Volume 86, Marcel Dekker Inc
87. Wigger John & Torkelson Bruce, “*Petroleum Hydrocarbon Fingerprinting – Numerical Interpretation Developments*”, Tulsa, Oklahoma
88. <http://www.slideshare.net/fidan/oil-gas-disciplines>
89. http://en.wikipedia.org/wiki/Petroleum_geology#Appraisal_stage
90. <http://www.slideshare.net/joeyswj/the-life-of-an-oil-and-gas-field?related=2>
91. http://www.bp.com/content/dam/bp-country/en_au/environment-society/education/oil-gas-exploration-production/m3-learning-experience-2.1.doc
92. <http://www.ogp.org.uk/pubs/254.pdf>
93. Γεωργακόπουλος Ανδρέας, Ηλεκτρονικές σημειώσεις μαθήματος “*Ανίχνευση, Όρυξη και Παραγωγή υδρογονανθράκων*”, Πρόγραμμα Διά Βίου Μάθησης “Σύγχρονες εξελίξεις στις θαλάσσιες κατασκευές, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2014