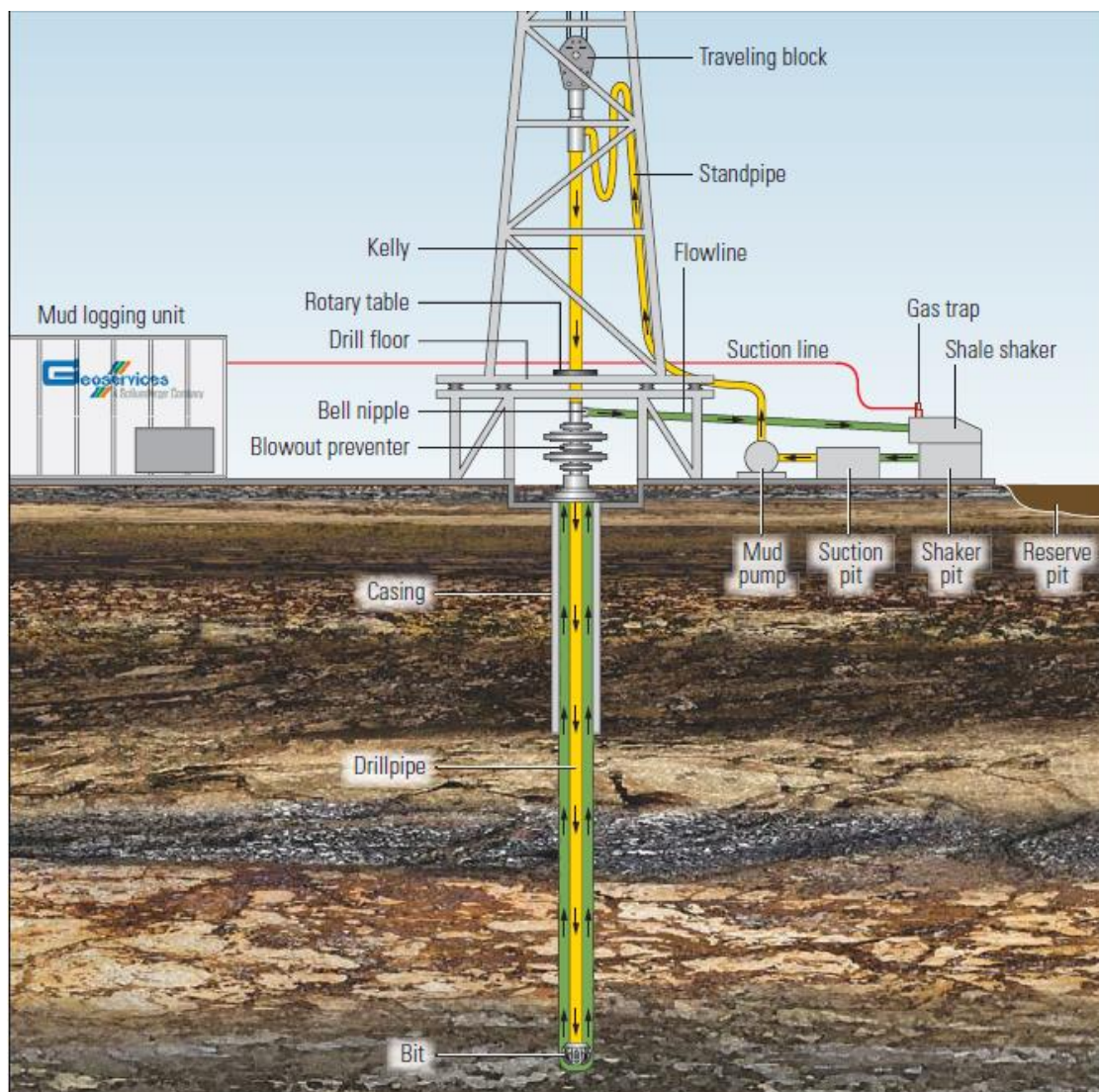


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ – ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΑΓΡΑΦΙΕΣ ΠΟΛΦΟΥ- MUD LOGGING

ΣΟΦΙΑ ΚΟΥΒΟΥΚΛΙΑΝΟΥ- ΥΨΗΛΑΝΤΗ



Επιβλέπων Καθηγητής : Α. Γεωργακόπουλος, καθηγητής
Θεσσαλονίκη 2016

Περιεχόμενα

1. Πρόλογος	5
2. Διαγραφίες πολφού (mud logging).....	6
2.1 Mud logging unit	6
2.1.1 Χρησιμότητα του mud logging unit:	7
2.2 The drilling mud (λάσπη της γεώτρησης)	8
3. Η κυκλοφορία της λάσπης και η συλλογή των θρυμμάτων	10
3.1 Περιγραφή δειγμάτων	15
3.2 Διαδικασίες και κριτήρια για την πετροφυσική και ορυκτολογική ταυτοποίηση των δειγμάτων	32
4. Ανάλυση των υδρογονανθράκων κατά την εκτέλεση του mud logging.....	34
4.1 Μόλυνση των θρυμμάτων	39
5. Αξιολόγηση των σχηματισμών κατά την διάρκεια του mud logging	39
5.1 Ο τύπος των ρευστών	40
5.2 Ιδιότητες των ρευστών	42
5.3 Το πορώδες των σχηματισμών	43
5.4 Η διαπερατότητα των σχηματισμών	43
5.5 Γεωλογικές και πετροφυσικές πληροφορίες.....	44
6. Μηχανική των γεωτρήσεων και διαδικασίες	45
6.1 Βάρος στο κοπτικό άκρο και ταχύτητα διείδυσης (ROP)	45
6.2 Η στάθμη της λάσπης στη δεξαμενή (mud pit level).....	46
6.3 Περιεκτικότητα της λάσπης σε χλώριο	47
6.4 Λιθολογία και ορυκτολογία	47
6.5 Ολικό αέριο (Total Gas) και Γεωθερμική βαθμίδα (normal geothermal gradient)	47
6.6 Έλεγχος της ταχύτητας- ρυθμού επιστροφής των θρυμμάτων	49
7. Mud Logging Theory and Lag Time	49
7.1 Εξισώσεις - ισοδυναμίες που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του lag time:	51
7.2 Υπολογισμός του Lag Time με την προσθήκη ιχνηθέτη (tracer).....	53
7.3 Διόρθωση του Lag Time	54
8. Η ασφάλεια και τα περιβαλλοντικά ζητήματα	55
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	57

Περίληψη

Το mud logging στην συμβατική του μορφή περιλαμβάνει την παρακολούθηση λειτουργίας της γεώτρησης και την αξιολόγηση των πληροφοριών που ανέρχονται στην επιφάνεια κατά την γεώτρηση, με εξαίρεση τις πληροφορίες που ανακτούνται από τους διάφορους αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι στην οπή της γεώτρησης. Γενικά οι στόχοι του mud logging επικεντρώνονται στο να εντοπίζει δυνητικά παραγωγικούς σχηματισμούς που φέρουν υδρογονάνθρακες, στο να συσχετίσει γεωλογικούς σχηματισμούς, στο να παρέχει στοιχεία στον γεωτρυπανιστή για την καλύτερη και ασφαλέστερη λειτουργία της γεώτρησης και τέλος στο να συμβάλλει στον οικονομικότερο σχεδιασμό, λειτουργία και εκμεταλλεύση της γεώτρησης.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας και των λογισμικών συστημάτων με αποτέλεσμα την ταυτόχρονη μέτρηση (MWD) και καταγραφή (LWD) των δεδομένων ενώ πραγματοποιείται η γεώτρηση, αναβάθμισε τις υπηρεσίες του mud logging. Μια από τις σπουδαιότερες υπηρεσίες του mud logging είναι ο έλεγχος στην περιεκτικότητα του επιστρεφόμενου γεωτρητικού ρευστού (της λάσπης) σε πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Για την πραγματοποίηση αυτού του ελέγχου είναι απαραίτητη η παρακολούθηση για ενδείξεις πετρελαίου στην επιστρεφόμενη λάσπη, αναγκαίος είναι ο έλεγχος των αερίων που εκπέμπονται από την λάσπη καθώς αυτή αποσυμπιέζεται στην επιφάνεια και τέλος η εξέταση των θρυμμάτων που έχουν ανέλθει στην επιφάνεια ώστε να καθοριστεί ο τύπος του πετρώματος που διατρήεται καθώς και ο εντοπισμός ενδείξεων για την ύπαρξη υδρογονανθράκων. Για τον έλεγχο των αερίων χρησιμοποιείται ο Total Gas Analyzer ή ο Total Hydrocarbon Analyzer. Για τις αναλύσεις και τις μετρήσεις της μοριακής συγκέντρωσης και σύστασης των υγρών που ανέρχονται χρησιμοποιούνται τεχνικές όπως η αεριοχρωματογραφία (Gas Chromatograph), η φασματομετρία μάζας (Mass Spectrometry) και η φασματοσκοπία υπέρυθρου (Infrared Spectrometry) κ.α.. Για να πραγματοποιηθεί η εξέταση των θρυμμάτων πρέπει πρώτα να γίνει η απαερίωση των δειγμάτων μέσω του gas trap και στη συνέχεια το πλύσιμο τους για την απομάκρυνση της λάσπης. Στη συνέχεια εξετάζονται με την βοήθεια ενός στερεομικροσκοπίου και περιγράφονται με μια τυποποιημένη σειρά. Η αξιολόγηση των διατρηόμενων σχηματισμών περιλαμβάνει την περιγραφή τους, τις ιδιότητες των υγρών που περιέχονται σε αυτούς, τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των σχηματισμών ώστε να υπολογιστεί ο εκμεταλλεύσιμος όγκος των υδρογονανθράκων και τέλος περιλαμβάνει τον σχεδιασμό της γεώτρησης στο χώρο για την παραγωγή των υδρογονανθράκων. Επομένως αναγκαία είναι η γνώση του τύπου των

ρευστών, των ιδιοτήτων των ρευστών, του πορώδους των σχηματισμών, της διαπερατότητας των σχηματισμών, της πίεσης των πόρων, των γεωλογικών και πετροφυσικών πληροφοριών των σχηματισμών.

Για την καλύτερη λειτουργία της γεώτρησης μια σειρά από παραμέτρους (η πίεση πόρων, τα αέρια των σχηματισμών, η ταχύτητα διάτρησης της λάσπης, η πυκνότητα της λάσπης, στο βάρος στο κοπτικό άκρο κ.α.) πρέπει να είναι υπό συνεχή έλεγχο για αυτό τον σκοπό χρησιμοποιείται ο δείκτης d_e – exponent σε μόνιμη βάση. Η λάσπη αποτελεί τον μεταφορέα όλων των πληροφοριών όποτε πρέπει να δίνεται σημασία στις ιδιότητες της, στην συστασή της, στην ταχύτητα της και σε τυχόν μολύνσεις. Στην κυκλοφορία της λάσπης βασίζεται κυρίως η θεωρία του mud logging, σε αυτήν βασικό ρόλο αποτελεί το Lag Time, δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για να ανέλθουν τα θρύμματα στην επιφάνεια από ένα συγκεκριμένο βάθος, ο οποίος είναι ίσος με τον χρόνο που χρειάζεται για την άντληση του συνολικού όγκου της λάσπης που βρίσκεται μέσα σε αυτό το βάθος και μετράται σε λεπτά ή σε χτύπους (lag strokes). Το Lag Time εξαρτάται από την ταχύτητα της λάσπης τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οπής και τις διαστάσεις των διατρητικών στελεχών του γεωτρύπανου. Για τον υπολογισμό του Lag Time βρίσκουν εφαρμογή δυο μέθοδοι, ο ένας με εφαρμοσμένους τύπους και ο άλλος με την χρήση ιχνηθέτη.

Τέλος, η ασφάλεια των εργαζομένων αλλά και η προστασία του περιβάλλοντος κατά την διαδικασία της γεώτρησης αποτελεί τμήμα των υπηρεσιών του mud logging.

1. Πρόλογος

Γενικά οι γεωτρήσεις αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι στην έρευνα του γεωλόγου καθώς μπορούν να δώσουν πολλές και σημαντικές πληροφορίες τόσο για την στρωματογραφία μιας περιοχής, για την ύπαρξη ή μη νερού, πετρελαίου, φυσικού αερίου, όσο και πληροφορίες αντοχής των πετρωμάτων (ποιοτικές και ποσοτικές) και περατότητας. Οι γεωτρήσεις είναι ένα πολύπλοκο σύστημα αποτελούμενο από ανθρώπινο δυναμικό και μηχανήματα, τα οποία πρέπει να λειτουργήσουν με ασφάλεια κάτω από ακραίες πολλές φορές συνθήκες. Οι γεωτρήσεις ανάλογα με τον χώρο εκτέλεση τους χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες στις χερσαίες και στις θαλάσσιες.

Στη συγκεκριμένη εργασία θα αναλύσω την λειτουργία των διαγραφιών πολφού (mud loggings) οι οποίες εφαρμόζονται στις γεωτρήσεις για την αναζήτηση και εξόρυξη υδρογονανθράκων και φυσικού αερίου. Οι γεωτρήσεις αυτές συνήθως ανήκουν σε κάποιο ιδιωτικό πρόσωπο ή σε κάποια εταιρεία γνωστή και ως ανάδοχος της γεώτρησης. Οι εταιρίες είναι υπεύθυνες στο να βρουν, να παράξουν, ή ακόμα και να διυλίσουν τους υδρογονάνθρακες, συνήθως έχουν στην κατοχή τους ή μισθώνουν τα πηγάδια παραγωγής. Οι εταιρίες που μισθώνονται για τα πηγάδια παραγωγής ονομάζονται διαχειριστές, ο εκπρόσωπος αυτών λέγεται επιβλέπων γεώτρησης.

Στη βιομηχανία του πετρελαίου, η συνήθης μονάδα μέτρησης είναι το πόδι, σε πολλά μέρη του κόσμου βέβαια χρησιμοποιούν το μέτρο το οποίο ισούται με 3.281 πόδια. Το πόδι είναι πιο βολική μονάδα μέτρησης με την οποία μετράς την παραγωγή της γεώτρησης και πληρώνεται και ο ανάδοχος της γεώτρησης σύμφωνα με αυτό. Τέλος όσο πιο βαθιά είναι η γεώτρηση τόσο μεγαλύτερο και το κόστος του κάθε ποδιού που διατρίεται.

Για την απόκτηση όσο το δυνατόν πληρέστερης εικόνας για την συνθήκες του υπεδάφους κατά την διάρκεια των γεωτρήσεων χρησιμοποιούνται μια σειρά από διαγραφίες (loggings) οι οποίες μεταφέρουν πληροφορίες και δεδομένα στο αρμόδιο προσωπικό κάθε φορά. Μια από τις πιο σημαντικές διαγραφίες που χρησιμοποιούνται ήδη από το 1939 είναι οι διαγραφίες πολφού. Αυτές ξεκίνησαν ως μια κινητή μονάδα η οποία μετέφερε ένα μικροσκόπιο για την ανάλυση των θρυμμάτων (cuttings) των σχηματισμών και ένα σύρμα που λειτουργούσε σαν αισθητήρας για τον εντοπισμό αέριων υδρογονανθράκων κατά την διάρκεια της γεώτρησης. Η εξέλιξη της τεχνολογίας στη βιομηχανία του πετρελαίου αλλά και ειδικότερα των συστημάτων ανάλυσης ανέδειξε τις διαγραφίες πολφού ως πολύτιμο εργαλείο εμπλουτίζοντας τις με περισσότερους αισθητήρες, με κέντρα ελέγχου και παρακολούθησης της διαδικασίας της

γεώτρησης και με πιο εξελιγμένα συστήματα ανάλυσης των θρυμμάτων που ανέρχονται στην επιφάνεια. [14](#), [16](#)

2. Διαγραφίες πολφού (mud logging)

Σήμερα, το mud logging είναι μια υπηρεσία η οποία ποιοτικά και ποσοτικά αποκτά δεδομένα παρατηρώντας τους διατρημένους σχηματισμούς, τα διατρητικά υγρά που προκύπτουν αλλά και όλες τις παραμέτρους της γεώτρησης, με σκοπό να διατυπώσει και να αξιολογήσει σύμφωνα με την επί τόπου παρατήρηση στο αν αξίζει κυρίως οικονομικά η εξόρυξη και η εκμετάλευση των υδρογονανθράκων που εντοπίστηκαν μέσα από τις διεργασίες του mud logging. Το σύνολο του εξοπλισμού του mud logging βρίσκεται συγκεντρωμένο στη mud logging unit η οποία εδρεύει κοντά στην εξέδρα της γεώτρησης για να μπορεί να εξυπηρετεί τις ανάγκες που προκύπτουν κατά την γεώτρηση αλλά και να βοηθά στην αναζήτηση των υδρογονανθράκων. [17](#)

2.1 Mud logging unit

Τα mud logging units ανάλογα με την μέθοδο απόκτησης δεδομένων και επεξεργασίας χωρίζονται σε δυο κύριες κατηγορίες:

- **Mud logging off- line service features** (χωρίς σύνδεση οι υπηρεσίες): το οποίο περιλαμβάνει πολλά ξεχωριστά πάνελ, τα οποία δεν έχουν καμία επικοινωνία μεταξύ τους και το κάθε ένα δουλεύει ανεξάρτητα μετρώντας μια συγκεκριμένη παράμετρο. Εδώ όλες οι μετρήσεις γίνονται χειρωνακτικά χωρίς κανέναν αυτόματο υπολογισμό και καμία αποθήκευση δεδομένων.
- **Mud logging on-line service features** (με σύνδεση οι υπηρεσίες): το οποίο περιλαμβάνει την όσο το δυνατόν ελάχιστη παρέμβαση του ανθρώπου, είναι πλήρως εξοπλισμένο από υπολογιστές που διαθέτουν πανίσχυρο λογισμικό, μηχανήματα τελευταίας τεχνολογίας, από αισθητήρες και γενικά είναι εφοδιασμένη με όλα τα απαραίτητα εργαλεία, και όλα αυτά με εγγυημένη ασφάλεια. [17](#)



Σχ. 2.1 Το εσωτερικό μια on-line mud logging unit

Πηγή: Sperry – Sun (2013), Drilling Services, Basic Mud Logging

2.1.1 Χρησιμότητα του mud logging unit:

Από το mud logging unit επεκτείνεται ένας μεγάλος αριθμός καλωδίων σε ένα αριθμό από αισθητήρες οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι σε διαφορετικές τοποθεσίες μέσα στη γεώτρηση. Οι αισθητήρες αυτοί μετρούν σημαντικές και ποικίλες παραμέτρους για την λειτουργία της γεώτρησης.

Οι στόχοι του mud logging unit είναι:

- 1) Η συλλογή θρυμμάτων των σχηματισμών, τα οποία περιγράφονται γεωλογικά και πετροφυσικά και εξετάζονται για τυχόν παρουσία υδρογονανθράκων, στη συνέχεια πακετάρονται ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εταιρείας.
- 2) Ο έλεγχος ύπαρξης αέριων υδρογονανθράκων κατά την γεώτρηση. Τα αέρια αυτά ανιχνεύονται μαζικά και στη συνέχεια αναλύονται στα συστατικά τους.
- 3) Ο εντοπισμός υδρόθειου (H_2S) αερίου κατά την διάρκεια της γεώτρησης γιατί είναι πολύ επικίνδυνο αν δεν ανιχνευτεί εγκαίρως.
- 4) Ο έλεγχος του όγκου των υγρών της γεώτρησης ανά δευτερόλεπτο.

- 5) Η αξιολόγηση των δυνατοτήτων παραγωγής των σχηματισμών που φέρουν τους υδρογονάνθρακες.
- 6) Η παραγωγή των mud logs, τα οποία είναι γραφήματα και συντελούν στην ολοκλήρωση της τελικής έκθεσης αναφοράς.
- 7) Η επιβεβαίωση ύπαρξης ή μη κάποιου σπασίματος στο διατρητικό μηχανισμό κατά την γεώτρηση, ταυτόχρονη παρακολούθηση και συντήρηση του μηχανισμού με στόχο την ασφάλεια και την όσο το δυνατόν καλύτερη λειτουργία του μηχανισμού.
- 8) Ο εντοπισμός και η αξιολόγηση της πίεσης των σχηματισμών, για την βελτιστοποίηση των υδραυλικών συστημάτων και του ελέγχου του πηγαδιού. [14](#), [17](#)

Τα παραδοσιακά προϊόντα που παράγει η υπηρεσία του mud logging είναι γεωλογική αξιολόγηση, πετροφυσική αξιολόγηση των σχηματισμών που φέρουν υδρογονάνθρακες, αξιολόγηση των υδρογονανθράκων που εντοπίστηκαν και τέλος υποστήριξη σε όλον τον διατρητικό εξοπλισμό.

2.2 The drilling mud (λάσπη της γεώτρησης)

Όπως είναι λογικό από το όνομα και μόνο, οι διαγραφίες πολφού στηρίζονται στην κυκλοφορία της λάσπης μέσα στην γεώτρηση με σκοπό να μεταφέρουν τα δεδομένα στην επιφάνεια. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να δίνεται μεγάλη βαρύτητα στη σύσταση και στις ιδιότητες της (η ταχύτητα, το ιξώδες, η πυκνότητα κ.α.) διότι από αυτές εξαρτάται η σωστή λειτουργία της γεώτρησης.

Ανάλογα με την σύσταση της διακρίνονται τέσσερις τύποι λάσπης:

- Λάσπη με βάση το νερό
- Λάσπη με ασβεστιούχο επεξεργασμένο νερό
- Λάσπη κορεσμένη σε άλατα
- Λάσπη με βάση το πετρέλαιο [17](#)

Οι ιδιότητες της λάσπης

- Πυκνότητα: ορίζεται ως το πηλίκο του βάρους προς τον όγκο του υγρού της γεώτρησης και χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της υδροστατικής πίεσης που ασκείται από το υγρό. Οι τρόποι μέτρησης που χρησιμοποιούνται είναι λίρες ανά γαλόνια, λίρες ανά κυβικό πόδι και το ειδικό βάρος. Τα αποτελέσματα της πυκνότητας είναι η υδροστατική πίεση, η διαφορική πίεση στους σχηματισμούς, στη

ταχύτητα διάτρησης, στην υδραυλική πίεση, στην πίεση της κυκλοφορίας, στην ανυψωτική ικανότητα, στον καθαρισμό της οπής και στην σταθερότητα των σχηματισμών υπό πίεση.

- Ιξώδες: περιλαμβάνει όλα τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν τις ιδιότητες ροής και πήξης του υγρού της γεώτρησης.
- Χωνί ιξώδους: είναι μια μέτρηση ρουτίνας που γίνεται για τον υπολογισμό του ιξώδους του υγρού της γεώτρησης με την βοήθεια ενός χωνιού (marsh funnel).
- Πλαστικό ιξώδες: εκφράζει την τριβή της λάσπης και εξαρτάται από την παρουσία, το μέγεθος και το σχήμα των στερεών θρυμμάτων.
- Σημείο διαρροής: είναι μια μέτρηση υπό συνθήκες ροής των δυνάμεων στη λάσπη για να προκληθεί δομή σαν τζελ, όταν η λάσπη βρίσκεται σε ηρεμία.
- Gel strength: είναι μια ιδιότητα ροής του υγρού διάτρησης σε ηρεμία.
- pH: χρησιμοποιείται σαν ένδειξη για το αν χρειάζεται χημικό έλεγχο η λάσπη όπως δείχνει η παρουσία διάφορων συστατικών όπως τσιμέντου, γύψου που θεωρούνται ως μόλυνση της λάσπης.
- Διήθηση: η ιδιότητα διήθησης της λάσπης είναι ένα μέτρο της ικανότητας των στερεών συστατικών της λάσπης και εξαρτάται από την ποσότητα και τη φυσική κατάσταση των κολλοειδών που υπάρχουν στη λάσπη.
- Υψηλή πίεση/υψηλή θερμοκρασία: είναι μέθοδος απόκτησης της ιδιότητας της διήθησης με σκοπό την προσομοίωση των συνθηκών στον πάτο της τρύπας της γεώτρησης.
- Αλκαλικότητα: χρησιμοποιούνται υδατοδιαλυτές χημικές ουσίες που μπορούν να εξουδετερώσουν οξέα. Υπάρχουν τρεις δοκιμές αλκαλικότητας η p_m , η p_f και η m_f .
- Περιεκτικότητα σε χλώριο: είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε την περιεκτικότητα σε άλατα της λάσπης για τον υπολογισμό ορισμένων πτυχών κατά την εκτέλεση της γεώτρησης όπως η διήθηση, η αιώρηση, το ιξώδες επηρεάζονται δυσμενώς από την παρουσία αλάτων, εκτός αν η λάσπη είναι σχεδιασμένη στο να αντέχει την μόλυνση από άλατα.
- Περιεκτικότητα σε ασβέστιο: πρέπει να γίνεται γνωστή για τον έλεγχο και την συντήρηση της λάσπης διάτρησης.¹⁷

Χρησιμότητα της λάσπης

- Καθαρίζει τον πυθμένα της γεώτρησης

- Ψύχει το κοπτικό άκρο του γεωτρήπανου και λιπαίνει τα διατρητικά στελέχη
- Μεταφέρει τα θρύμματα στην επιφάνεια
- Δημιουργεί μια στήριξη στα τοιχώματα της γεώτρησης
- Αποτρέπει την είσοδο υγρών από τους σχηματισμούς στο πηγάδι της γεώτρησης
- Μεταφέρει τις συνθήκες που επικρατούν στον πυθμένα της γεώτρησης στην επιφάνεια.¹⁴

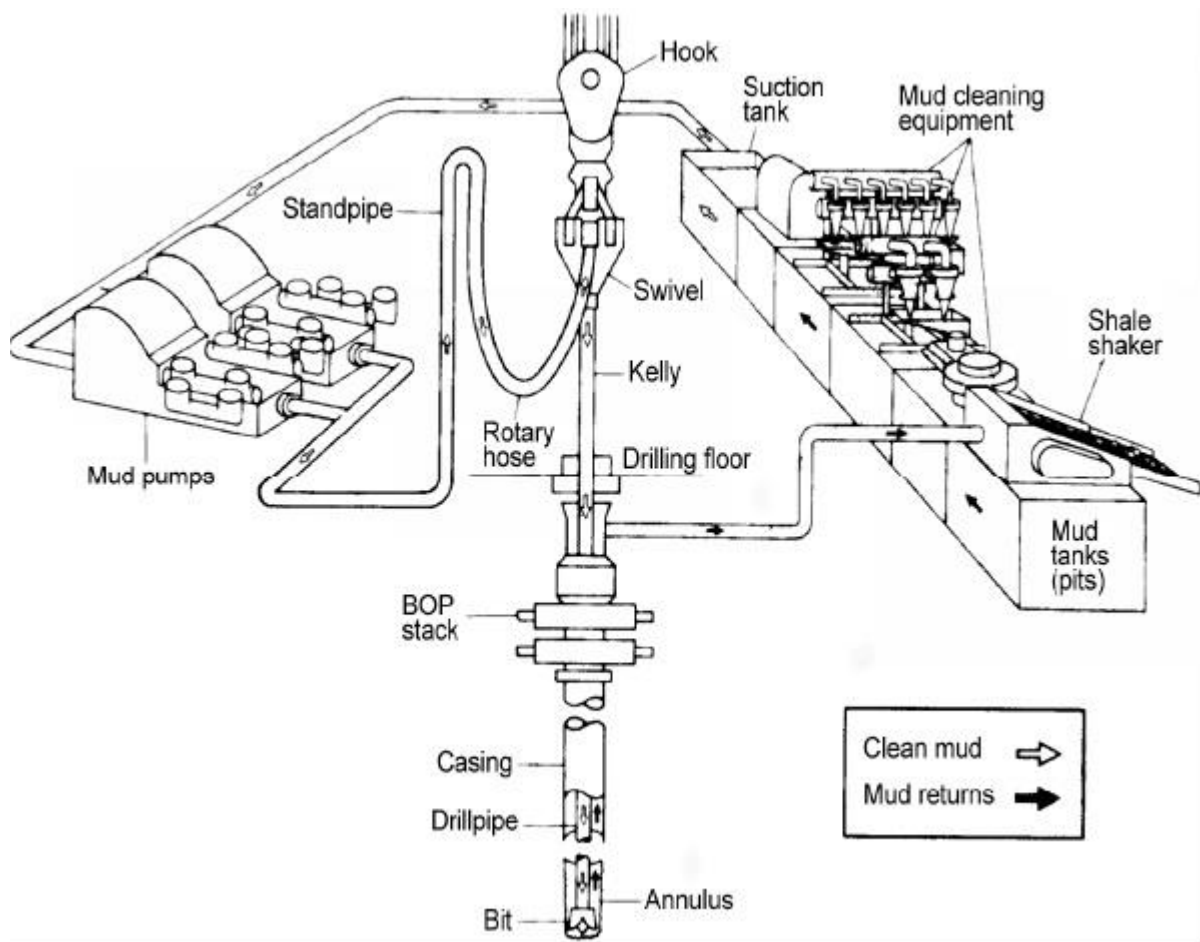
3. Η κυκλοφορία της λάσπης και η συλλογή των θρυμμάτων

Η λάσπη, δηλαδή το υγρό της γεώτρησης το οποίο είναι αποθηκευμένο στον λάκκο (mud pit) αναρροφάται εντός των αντλιών (mud pumps) και διοχετεύεται στο εσωτερικό των διατρητικών στελεχών μέσω του **Swivel** και του **Kelly**. Η λάσπη ταξιδεύει στην γεώτρηση μέσω των εργαλείων **MWD** (Measurement While Drilling-μέτρηση κατά την διάρκεια της γεώτρησης) και των κινητήρων της γεώτρησης και μέσω του στομίου του κοπτικού άκρου φτάνει μέχρι τον πυθμένα όπου λιπαίνει και ψύχει παράλληλα. Σε αυτό το σημείο η λάσπη μεταφέρει τα θραύσματα των διατρηόμενων σχηματισμών μαζί με κάθε υγρό (νερό, πετρέλαιο, αέριο) που απελευθερώθηκε λόγω της διάτρησης. Στη συνέχεια η λάσπη ανεβαίνει στην επιφάνεια από το δακτυλιοειδές διάστημα (**annulus**) και του **BOP** (Blow Out Preventer) μεταξύ των διατρητικών στελεχών ή των παρειών της γεώτρησης ή της σωλήνωσης μεταφέροντας τα θρύμματα και τα ρευστά που παρέσυρε.

Τα αέρια που παρέσυρε η λάσπη βρίσκονται διαλυμένα μέσα σε αυτή. Στο επάνω μέρος του BOP βρίσκεται το bell nipple στο οποίο συνδέεται μια κεκλιμένη μεταλλική σωλήνα (mud return line ή flowline) η οποία οδηγεί την λάσπη με την βοήθεια της βαρύτητας στα δονούμενα κόσκινα (**shale shakers**). Η κεκλιμένη μεταλλική σωλήνα καταλήγει στο πίσω μέρος από τα κόσκινα που λέγεται **back tank** ή **possum belly**, εκείνο είναι το σημείο όπου τοποθετείται η παγίδα αερίων (**gas trap**). Μόλις φτάσει η λάσπη στο δονούμενα κόσκινα ξεκινάει ο διαχωρισμός της λάσπης από τα θρύμματα, η λάσπη που απομακρύνεται μέσα από το πλέγμα λόγω των δονήσεων επιστρέφει μετά από κάποιες διαδικασίες καθαρισμού στους λάκκους για να χρησιμοποιηθεί ξανά. Οι διαδικασίες αυτές είναι η απαερίωση, η αφαλάτωση, η απομάκρυνση παρασυρόμενων κόκκων που δεν συγκρατήθηκαν στο πλέγμα από τα κόσκινα. Η απαερίωση γίνεται από μια μηχανική παγίδα το **gas trap** που είναι τοποθετημένο στα κόσκινα και «ρουφάει» την λάσπη μέσω της φυγόκεντρης δύναμης ενός αναδευτήρα (**stirrer**). Η δράση του αναδευτήρα μαζί με το κενό που υπάρχει στην κεφαλή της παγίδας επιτρέπει τον

διαχωρισμό σε υγρή και αέρια φάση. Το αέριο που είναι παγιδευμένο στην κεφαλή τραβιέται μέσω ενός σωλήνα στο mud logging unit και στους αναλυτές αερίων. Άλλες μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτό τον σκοπό είναι οι **thermomechanical slip-stream extractors** και οι **απαγωγείς τύπου μεμβράνης**.

Στα δονούμενα κόσκινα τοποθετείται στο τέλος ένα κουτί (board box) από το οποίο συλλέγονται τα θρύμματα μόλις ολοκληρωθεί ένα συγκεκριμένο διάστημα που έχει διατηρηθεί π.χ. 10 πόδια, 30 πόδια, αυτό συμβαίνει για να είναι όσο πιο αντιπροσωπευτικό γίνεται το δείγμα που θα υποστεί την περεταίρω εξέταση. Ο mud logger που είναι υπεύθυνος για την συλλογή των θρυμμάτων πρέπει να είναι εξαιρετικά προσεχτικός ώστε να αντιστοιχεί σωστά τα δείγματα που συλλέγει με το βάθος από το οποίο προέρχονται με στόχο τον σωστό σχεδιασμό των εκθέσεων αναφοράς (mud logs).



Σχ. 3.1 Η διαδρομή που ακολουθεί η λάσπη κατά την διάρκεια της γεώτρησης

Πηγή: http://petrowiki.org/images/5/5c/Vol5_Page_0359_Image_0001.png

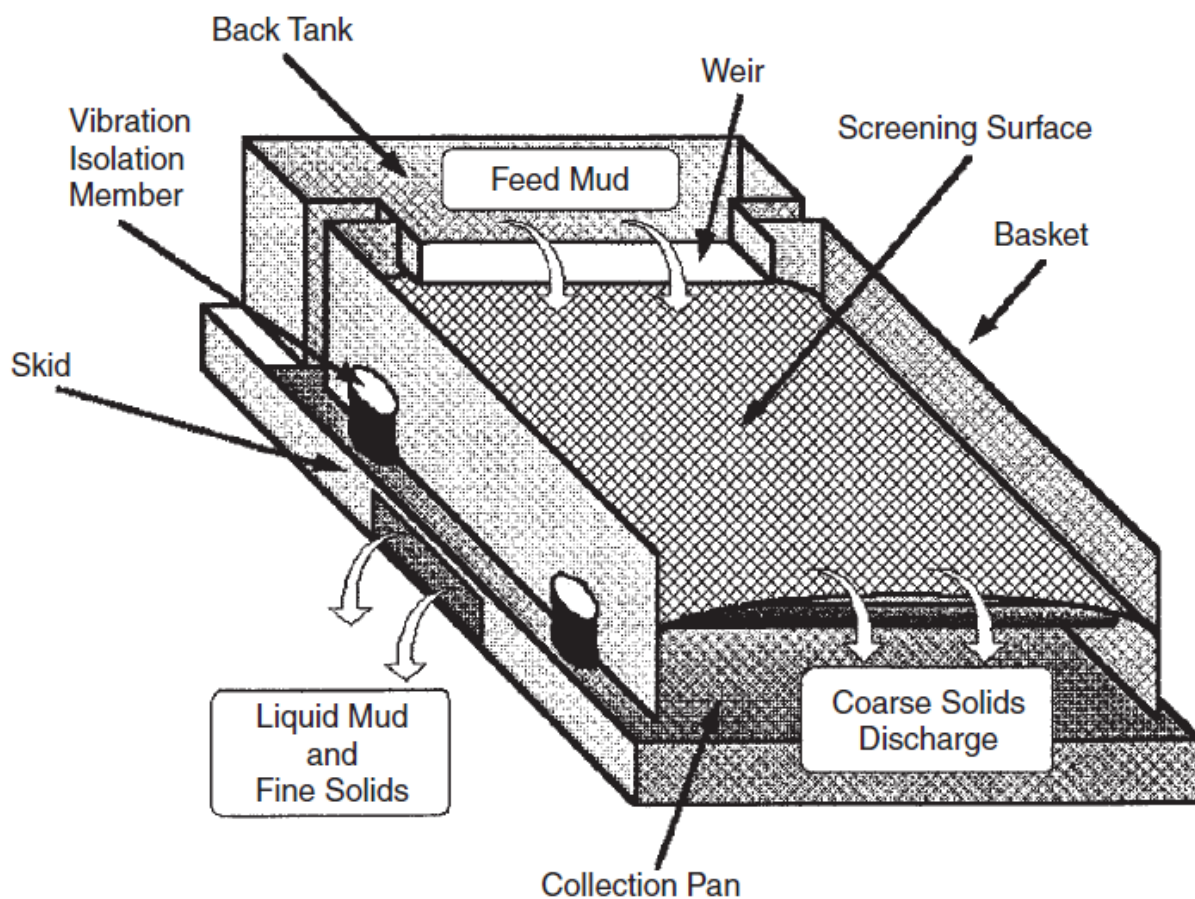
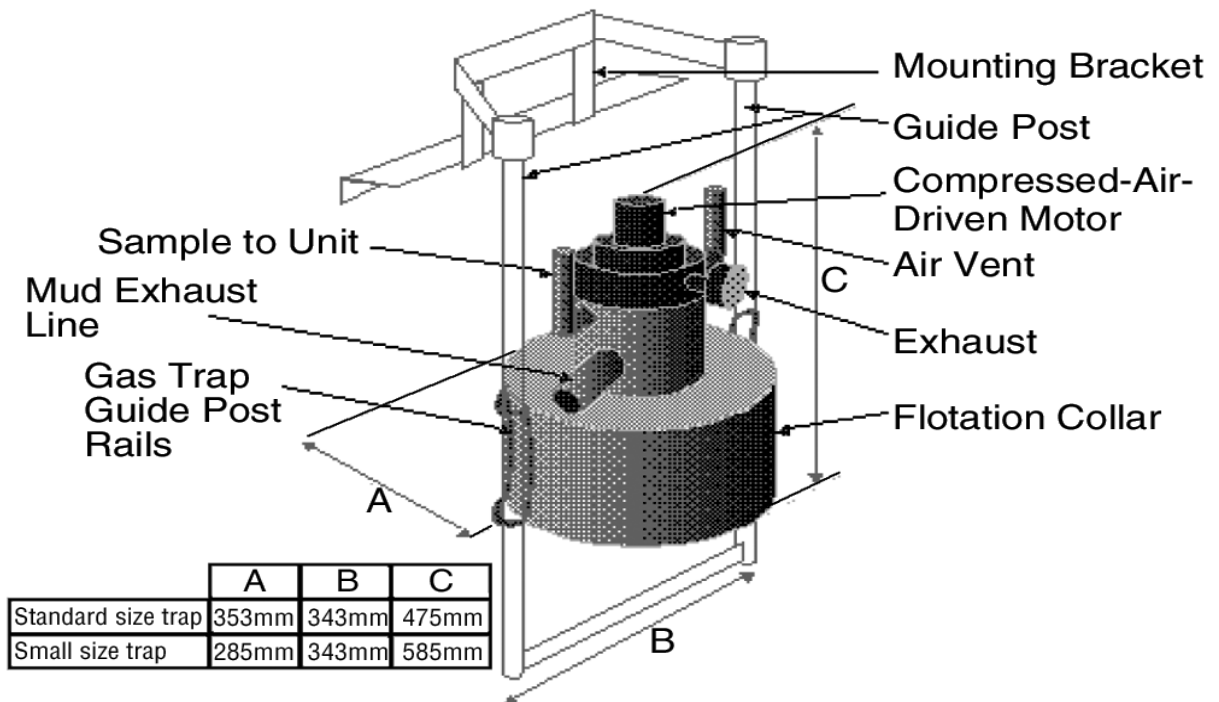


Figure 7.3. Shaker with back tank.

Σχ. 3.2 Δονούμενο κόσκινο με δεξαμενή από πίσω (bank tank)

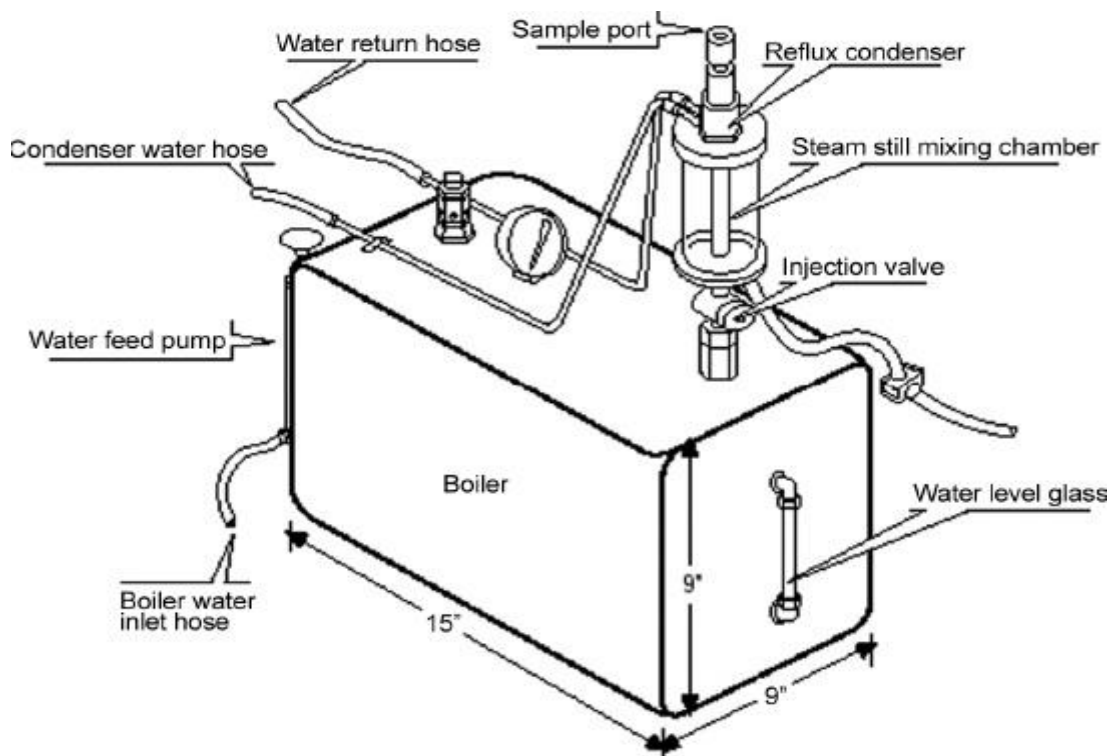
Πηγή: <http://drillingfluid.org/>

The following diagram shows a schematic of the floating gas trap.



Σχ. 3.3 Σχηματική αναπαράσταση ενός gas-trap τύπου gas extractor

Πηγή: http://petrowiki.org/Surface_data_sensors_during_drilling



Σχ. 3.4 Σχηματική αναπαράσταση ενός steam still - gas extractor

Πηγή: http://petrowiki.org/Surface_data_sensors_during_drilling

Πριν την συλλογή των δειγμάτων που έχουν υποστεί πλύση, συλλέγονται τα άπλυτα δείγματα για παλαιοντολογικές και πετρολογικές εξετάσεις στα ειδικά εργαστήρια της εκάστοτε εταιρείας, στη συνέχεια πακετάρονται σε σάκους ή σε κιβώτια. Η διαδικασία της πλύσης εξαρτάται από το είδος της λάσπης. Αν η λάσπη έχει ως βάση το νερό και η περιοχή αποτελείται από σκληρά πετρώματα τότε αρκεί ένα απλό πλύσιμο με νερό υψηλής πίεσης, σε περίπτωση που η περιοχή αποτελείται από πρόσφατης ηλικίας σχηματισμούς τότε η διαδικασία της πλύσης είναι λίγο πιο περίπλοκη. Ο mud logger χρειάζεται να μπορεί να υπολογίσει με πόση πίεση νερού θα πρέπει να πλυθούν τα θρύμματα αυτά με σκοπό να αποφευχθεί η αποφολίδωση ορισμένων τμημάτων του δείγματος. Στη συνέχεια αφού έχουν πλυθεί θα πρέπει να πλυθούν μέσω ενός κόσκινου διαμέτρου 5 mm για την απομάκρυνση του επιφανειακού μέρους και ύστερα σε κόσκινο των 20 mesh και μετά σε κόσκινο των 80 mesh. Είναι γενικά αποδεκτό ότι τα θρύμματα θα περάσουν από τα κόσκινα των 5mm, αυτά που δεν θα περάσουν συνήθως δεν προέρχονται από τη δράση του γεωτρήπανου. Στην υπευθυνότητα του mud logger είναι να παρατηρεί τις όποιες αλλαγές στον όγκο και στην ποσότητα των θρυμμάτων γιατί συνήθως αποτελούν ενδείξεις για αλλαγή των συνθηκών στον πυθμένα και πιθανόν προβλήματα στην γεώτρηση. Μετά το κοσκίνισμα ένα μέρος από το πλυμένο δείγμα τοποθετείται σε δίσκους για την απομάκρυνση της λάσπης που προβλέπεται για μικροσκοπική ανάλυση και στραγγίζεται πριν από την χρήση. Ένα μεγαλύτερο μέρος από το δείγμα τοποθετείται σε άλλους δίσκους για να αποξηραθούν μέσα σε φούρνο προτού πακεταριστούν για να αναλυθούν από την πετρελαϊκή εταιρεία, ο mud logger πρέπει να προσέξει στον να μην υποστούν υπερβολική θέρμανση διότι μπορεί να χάσουν κάποια από τα αρχικά τους πετρολογικά χαρακτηριστικά. Στην περίπτωση που η λάσπη έχει ως βάση το πετρέλαιο τα θρύμματα είναι αρκετά αντιπροσωπευτικά των σχηματισμών καθώς αυτός ο τύπος λάσπης αποτρέπει την αποφολίδωση αλλά την ίδια στιγμή δημιουργεί πρόβλημα στο πλύσιμο και στο χειρισμό των δειγμάτων. Το πλύσιμο με νερό δεν αρκεί, οπότε είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί ένα απορρυπαντικό για να καθαριστούν, για αυτό το σκοπό υπάρχουν αρκετά υγρά απορρυπαντικά. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι: ρυθμίζονται δυο δοχεία χωρητικότητας όπως δυο μισά ενός τυμπάνου 25 γαλονιών. Στο ένα περιέχεται ένας μη φθορίζοντας διαλύτης και χρησιμοποιείται για την πρώτη πλύση του εξωτερικού περιβλήματος από το πετρέλαιο και την λάσπη. Το άλλο δοχείο περιέχει ένα μείγμα που αποτελείται από ένα όγδοο του γαλονιού απορρυπαντικό διαλυμένο σε πέντε γαλόνια νερό. Έπειτα πλένονται τα θρύμματα στο διάλυμα του απορρυπαντικού για την απομάκρυνση του διαλύτη και στη συνέχεια πλένονται κανονικά με νερό. [4](#), [14](#), [17](#)

3.1 Περιγραφή δειγμάτων

Η ποιότητα της έκθεσης αναφοράς (mud log) είναι άμεση συνέπεια της ποιότητας των δειγμάτων που έχουν συλλεγεί. Συνήθως όμως η ποιότητα ποικίλει και ο mud logger πέρα από την ερμηνεία των ποικίλων αυτών δειγμάτων πρέπει να ξεχωρίζει και να απομακρύνει τα θραύσματα και τις διάφορες μολύνσεις.

Η διαδικασία που ακολουθείται συνήθως είναι η εξής :

- Τα δείγματα ορίζονται σε έναν σωρό από πέντε κελία-δίσκους με τα αντίστοιχα βάθη να είναι σημειωμένα επάνω στους δίσκους.
- Τα θρύμματα πρέπει να καλύπτουν το κατώτατο μέρος των δίσκων.
- Είναι επιθυμητό να διαχωρίζονται τα φανερά θραύσματα είτε με κοσκίνισμα είτε με dry panning.
- Γενικά προσοχή πρέπει να δίνεται στα μικρότερα θρύμματα με γωνιακό σχήμα και πιο φρέσκια εμφάνιση. [14](#), [17](#)

Στη συνέχεια συνήθως τα δείγματα εξετάζονται εξονυχιστικά για περισσότερες λεπτομέρειες πριν οδηγηθούν για την διαδικασία του logging. Αυτό βοηθά τον mud logger να μπορεί να εντοπίζει διάφορες λιθολογικές αλλαγές, να καθορίζει το πορώδες, ο εντοπισμός των ορίων των γεωλογικών στρωμάτων και την ανίχνευση των σχηματισμών που φέρουν υδρογονάνθρακες. Το αναγκαίο εργαλείο που χρησιμοποιεί ο mud logger για την εκτέλεση των παραπάνω εργασιών είναι το στερεομικροσκόπιο (x10 – x50). Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της λεπτομερούς εξέτασης αυτής είναι ότι δίνει την ευκαιρία στον mud logger να παρατηρήσει και να ερμηνεύσει την σειρά απόθεσης. Όταν τα ανά διαστήματα δείγματα απλώνονται στην επιφάνεια σε σειρά, ελαφρές αλλαγές στην υφή, στην ορυκτολογική σύσταση, στο χρώμα γίνονται συχνά φανερές πριν ακόμα και από την μικροσκοπική εξέταση.



Σχ. 3.5 Εξέταση των θρυμμάτων στο στερεομικροσκόπιο

Πηγή: <http://www.petrosystems-mls.com/en/services.php>

Η διαδικασία της εξέτασης διέπεται από μια τυποποιημένη σειρά στον τρόπο με τον οποίο περιγράφονται τα δείγματα. Αυτό μειώνει την πιθανότητα να παραλειφθεί στην καταγραφή κάποια ιδιότητα, αυξάνει την ομοιομορφία της περιγραφής και τέλος εξοικονομεί χρόνο για την λήψη συγκεκριμένων πληροφοριών από τις περιγραφές.

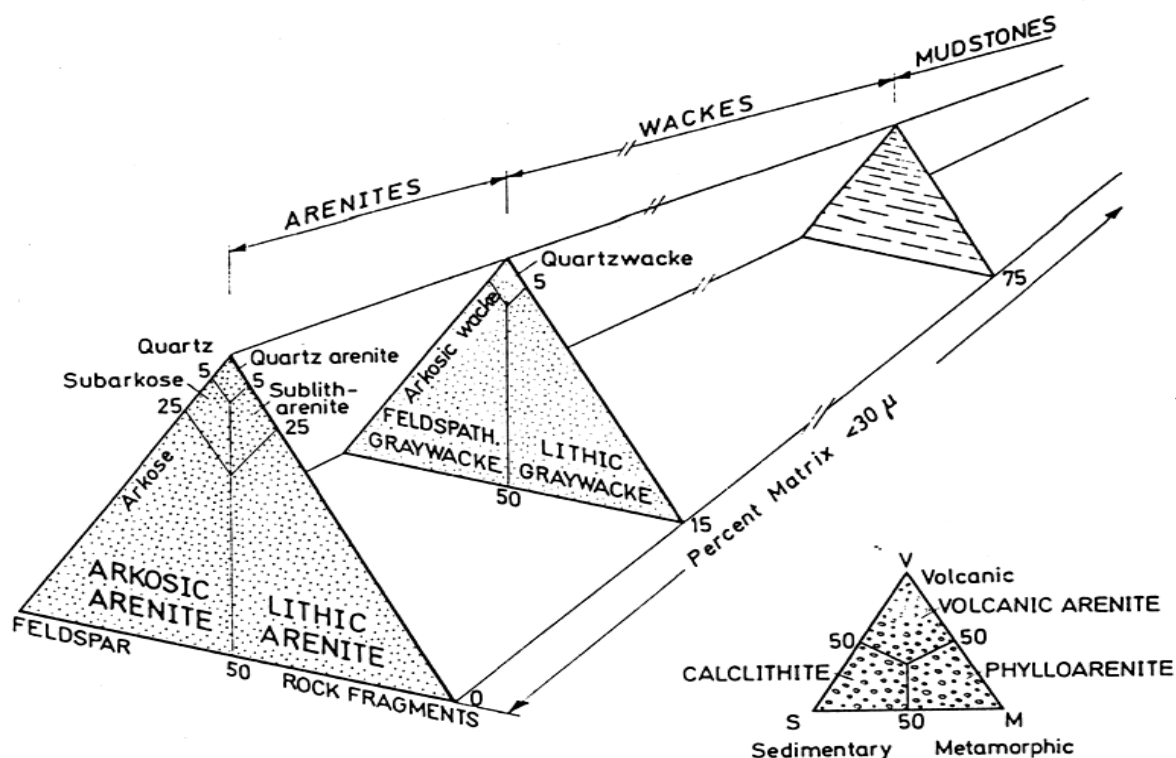
Η σειρά περιγραφής που ακολουθείται είναι η εξής:

1. Τύπος πετρώματος- που ακολουθείται από την ταξινόμηση
2. Χρώμα
3. Σκληρότητα
4. Υφή-Ιστός περιλαμβανομένου του μεγέθους των κόκκων, της σφαιρικότητας, της στρογγυλότητας και της ταξινόμησης των κόκκων
5. Το υλικό πλήρωσης – συγκολλητικό υλικό
6. Τα απολιθώματα
7. Ιζηματογενής δομές
8. Το πορώδες
9. Ενδείξεις για την ύπαρξη υδρογονανθράκων
10. Διαδικασίες για την ορυκτολογική και πετρολογική ταυτοποίηση. [14](#), [17](#)

1. Τύπος πετρώματος

Μια σωστή καταγραφή του τύπου πετρώματος, αποτελείται από δυο βασικά μέρη: Το βασικό όνομα του πετρώματος (υπογραμμισμένο) π.χ.: Δολομίτη, Ασβεστόλιθο, Ψαμμίτη και από την κύρια σύνθεση ή την ταξινόμηση λόγω υφής π.χ. : λιθικός, ωολιθικός εβαπορίτης. Οι τύποι πετρωμάτων είναι κυρίως:

- Τα κλαστικά ιζηματογενή, τα οποία ταξινομούνται ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων και την ορυκτολογική τους σύσταση, σε αυτά ανήκουν οι ψαμμίτες, οι άμμοι που αποτελούνται κυρίως από χαλαζία, αλλά και τα αργιλικά πετρώματα που περιέχουν πολλές φορές απολιθώματα και θραύσματα από άλλα πετρώματα.



Σχ. 3.6 Ταξινόμηση των ψαμμιτών (κατά POTTER, PETTJOHN και SIEVER, 1987)

Πηγή: Τσιραμπίδης Α. (2008), Ιζηματογενή Πετρώματα, Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη

- Τα ανθρακικά πετρώματα, τα οποία αποτελούνται κατά κύριο λόγο από ασβεστίτη και δολομίτη. Οι κύριες μορφές εμφάνισης τους είναι ο ασβεστόλιθος και ο δολομίτης.

		CaCO ₃ (%)	HCl Reaction in Test Tube
Limestone	LST	90-100	Instant, violent, specimen floats dissolving within 5 min. Acid frothy
Dolomitic Limestone	LST dol	90-50	Moderate and continuous
Calcitic Dolomite	DOL calc	50-10	Weak - accelerating after several minutes
Dolomite Dolostone	DOL	<10	Hesitating. Beads form slowly, acid becomes milky

Σχ. 3.7 Η ονοματολογία και τα χαρακτηριστικά των ανθρακικών πετρωμάτων

- Οι εβαπορίτες είναι ιζηματογενή τα οποία σχηματίστηκαν σε κλειστές θαλάσσιες λεκάνες με έντονα φαινόμενα εξάτμισης (ξηρό και θερμό κλίμα). Εβαποριτικά πετρώματα είναι η γύψος, ο ανυδρίτης, ο αλίτης, ο συλβίνης κ.α..

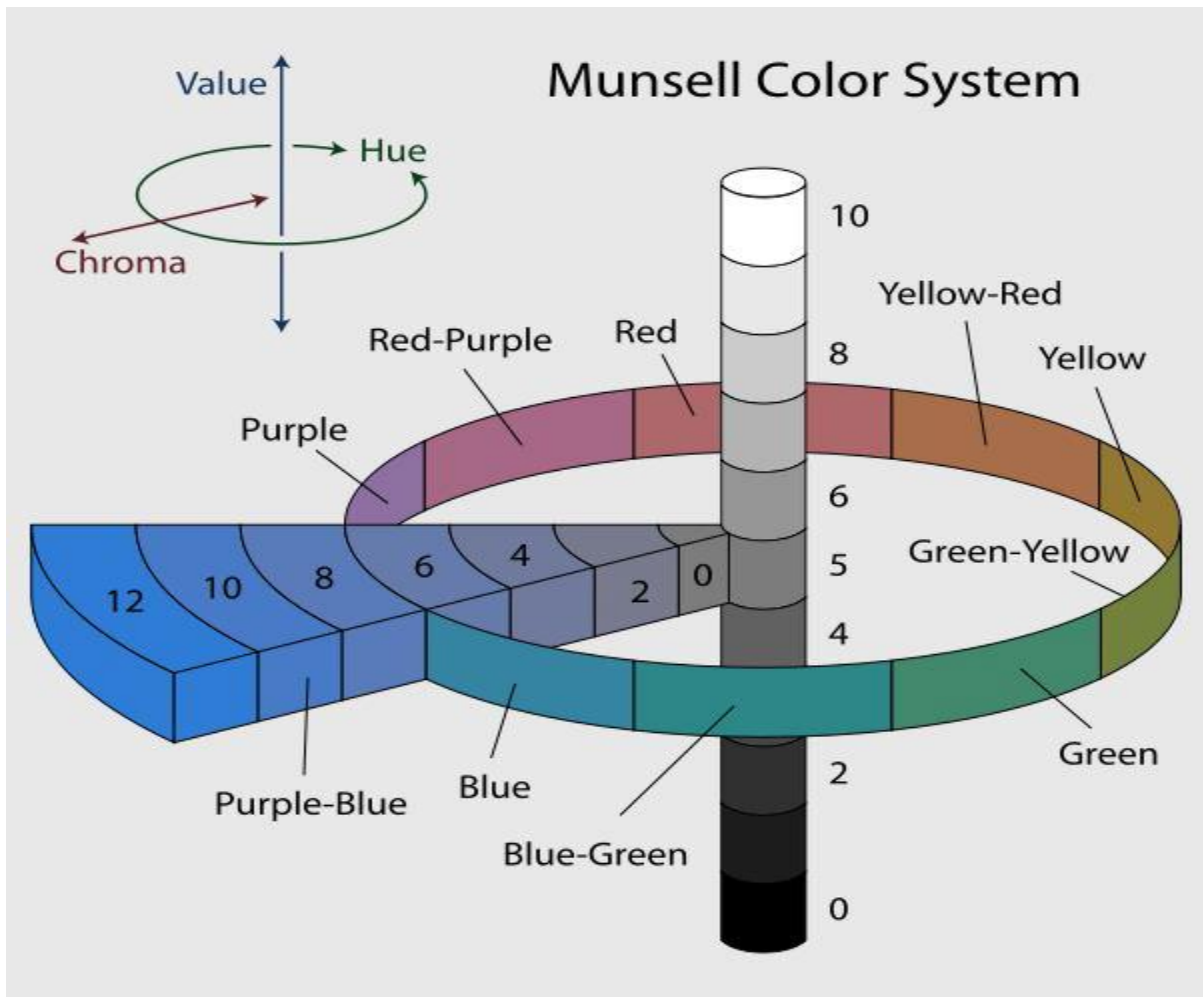
NAME	REMARKS
Ανυδρίτης (Anhydrite) CaSO ₄	Tasteless, not scratched by fingernail, sinks in Bromoform
Αλίτης (Halite) NaCl	Salty, soluble
Polyhalite K ₂ SO ₄ .MgSO ₄ .2CaSO ₄ .2H ₂ O	Variable solubility. White precipitate with BaCl ₂
Συλβίνης (Sylvite) KCl	Salty (bitter)

Σχ. 3.8 Ονοματολογία και χαρακτηριστικά των εβαποριτών

- Τα πυριγενή και τα μεταμορφωμένα πετρώματα, συνήθως αποτελούν τα πετρώματα του υποβάθρου της ιζηματογενούς λεκάνης. Είναι δυνατόν όταν η αποσάθρωσή τους είναι σε προχωρημένο στάδιο να δημιουργούν ιζήματα τα οποία συχνά συγχέονται με τα κλαστικά ιζηματογενή. [5](#), [17](#)

2. Χρώμα

Το χρώμα μπορεί να είναι αποτέλεσμα του χρώματος των περιεχόμενων κόκκων ή του χρώματος του συνδετικού υλικού ή του υλικού πλήρωσης. Το χρώμα μπορεί να είναι συνδυασμοί ή μοτίβα π.χ.: στίγματα, κλιμακωτή διαβάθμιση κ.α.. Συνίσταται τα χρώματα να περιγράφονται σε βρεγμένα δείγματα υπό μεγέθυνση x10 (φακός) ισχύος. Είναι σημαντικό να χρησιμοποιείται η ίδια πηγή φωτός όλη την ώρα και να χρησιμοποιείται συνεχής μεγέθυνση σε όλη την διάρκεια της καταγραφής. Οι γενικοί όροι όπως: σκούρο γκρι, ανοιχτό καφέ συνήθως αρκούν, αν όμως απαιτείται ακριβέστερη περιγραφή χρησιμοποιείται χρωματολόγιο για πετρώματα. Τα σιδηρούχα, ασβεστούχα, πυριτιούχα υλικά είναι τα πιο σημαντικά χρωστικά. Κίτρινες, κόκκινες και καφές αποχρώσεις προέρχονται από λειμωνίτη ή αιματίτη. Οι αποχρώσεις από γκρι μέχρι μαύρο μπορεί να προκύψουν από την παρουσία ανθρακούχου ή φωσφορικών υλικών, θειούχου σιδήρου ή μαγγανίου. Το πράσινο χρώμα προέρχεται από τον γλαυκονίτη, δισθενή σίδηρο, σερπεντίνη, χλωρίτη και επίδοτο. Οι κόκκινες και οι πορτοκαλί ποικιλοχρωμίες δημιουργούνται από την επιφανειακή αποσάθρωση ή την οξειδωση από την κυκλοφορία του υπόγειου νερού. Το χρώμα των θρυμμάτων μπορεί να μεταβληθεί μετά την αλίευση τους από την οξειδωση λόγω αποθήκευσης σε υγρό μέρος, από το ανεπαρκές στέγνωμα μετά το πλύσιμο ή από υπερθέρμανση. Κομμάτια από το γεωτρύπανο ή θραύσματα σωλήνων μπορούν να λεκιάσουν και να σκουριάσουν τα δείγματα. Τα διάφορα πρόσθετα στην λάσπη μπορούν επίσης να προκαλέσουν διάφορες κηλιδώσεις στα δείγματα.¹⁷ Για τον καλύτερο προσδιορισμό του χρώματος χρησιμοποιείται ο πίνακας **Rock Colour Chart**, ο οποίος περιλαμβάνει 115 χρώματα και στηρίζεται στο **Munsell Colour System**. Το δείγμα τοποθετείται πάνω στο σωστό χρώμα του πίνακα ώστε να μην υπάρχει περιθώριο λάθους.⁵



Σχ. 3.9 Το σύστημα αυτό αποτελείται από τρεις ανεξάρτητες διαστάσεις: α) η απόχρωση που υπολογίζεται σε βαθμούς γύρω από οριζόντιους κύκλους, β) το χρώμα μετρούμενο ακτινικά προς τα έξω από τον ουδέτερο (γκρι) κατακόρυφο άξονα, γ) η τιμή μετρούμενη κατακόρυφα από την τιμή 0 (μαύρο) έως 10 (λευκό).

Πηγή: http://en.wikipedia.org/wiki/Munsell_color_system



Σχ. 3.10 Πίνακας για την ακριβέστερη εξακρίβωση του χρώματος του δείγματος

Πηγή: <http://www.scribd.com/doc/52474721/23/Angularity-or-Roundness>

3. Σκληρότητα

Για το mud logging ο όρος σκληρότητα αναφέρεται στα θρύμματα που ανέρχονται μέσω του πολφού στην επιφάνεια. Σε αυτά ασκείται πίεση με μια λαβίδα ή με ένα χαλύβδινο σφυρί και με αυτόν τον τρόπο μετράται η σκληρότητα του δείγματος. Η σκληρότητα των θρυμμάτων που θα εμφανιστούν επηρεάζεται άμεσα από το είδος του κοπτικού άκρου (π.χ. τα PDC κοπτικά άκρα, που έχουν διαμάντια στις άκρες του κοπτικού μπορούν να παρουσιάσουν ένα σκληρό πέτρωμα σε μαλακό και άμορφο).⁵

Loose/ Unconsolidated	Particles are discrete and non-coherent, unconsolidated sands.
Friable	Coherent, but crumbling under slight pressure.
Soft	Clays, marls and silts which can be deformed by slight pressure.
Plastic	Pliant clays that show putty-like deformation.
Firm	Compact, breaks under slight pressure.
Moderately Hard	Grains can be detached using knife. Small chips can easily be broken by hand.
Hard	Solidly cemented or lithified. Does not break under slight pressure, but can be scratched with knife blade.
Very Hard	Cannot be scratched with a knife blade, usually siliceous in nature.
Brittle	Moderately hard, but breaks easily with firm pressure. Generally applies to shale, coal or certain limestones.
Dense	Commonly used to indicate a fine grained, well lithified tight rock (usually limestone) with sub-conchoidal fracture.

Σχ. 3.11 Πίνακας με τους διάφορους βαθμούς σκληρότητας

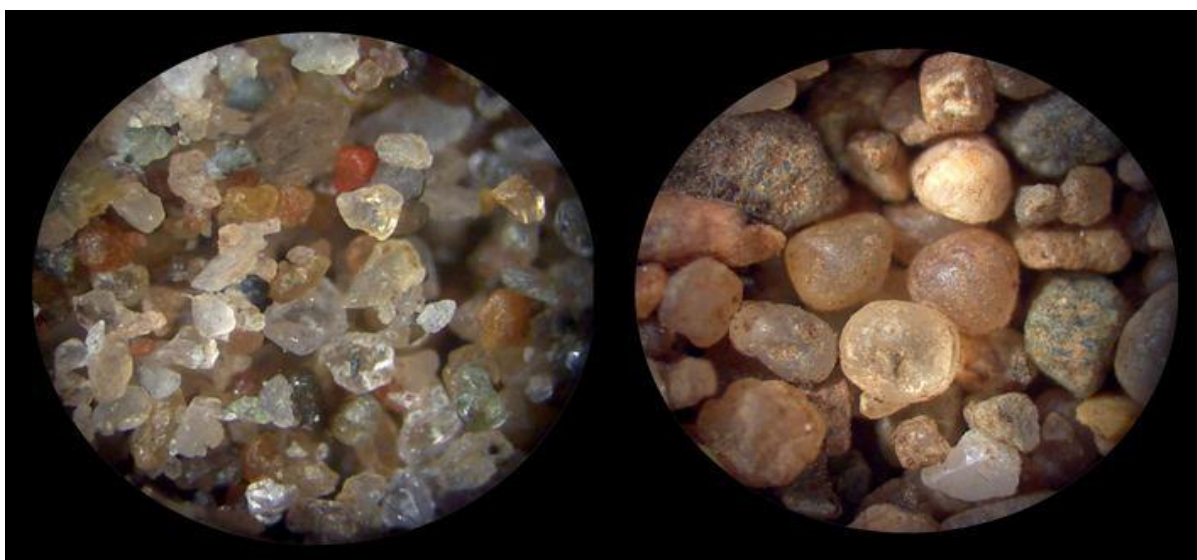
Πήγη: Γεωργακόπουλος Α., Κοιτασματολογία Πετρελαίου, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας

4. Υφή και Ιστός

Η υφή και ο ιστός είναι μία συνάρτηση του μεγέθους, του σχήματος και της διάταξης των περιεχόμενων συστατικών του πετρώματος.

- Μέγεθος: κόκκοι ή κρύσταλλοι

Οι τάξεις μεγέθους και η ταξινόμηση των ιζημάτων είναι σημαντικά χαρακτηριστικά, συνδέονται άμεσα με το πορώδες και την διαπερατότητα και μπορεί να είναι μια ένδειξη για το περιβάλλον απόθεσης. Ο εξεταστής του μικροσκοπίου θα πρέπει να καταγράφει βαθμούς μεγεθών με αναφορά σε κάποιο πρότυπο σύγκρισης των κοσκινισμένων κόκκων ή φωτογραφιών αυτών. Ένα άλλο απλό και χρήσιμο εργαλείο είναι ένα φωτογραφικό πλέγμα με τετράγωνα μισού χιλιοστού το οποίο μπορεί να στερεωθεί στον πάτο του εξεταζόμενου δίσκου.



Σχ. 3.12 Απεικόνιση διαφορετικών μεγεθών κόκκων

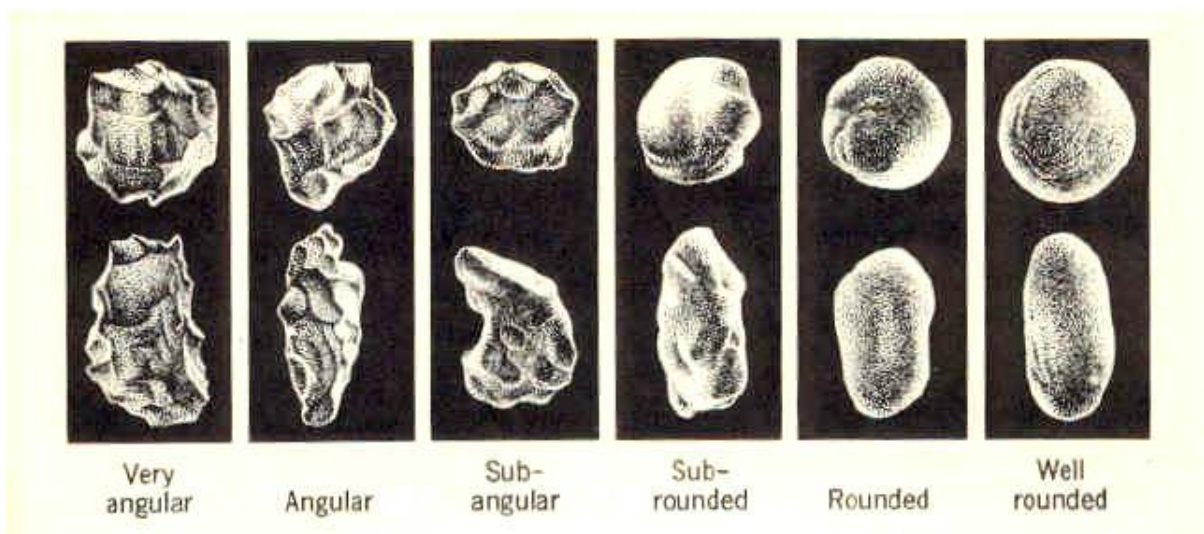
Πηγή: <http://www.sand-atlas.com/en/shape-of-sand-grains/>

- Σχήμα κόκκων

Το σχήμα των κόκκων χρησιμοποιείται από καιρό για να δείξει την ιστορία ενός κοιτάσματος του οποίου οι κόκκοι είναι μέρος. Το σχήμα περιλαμβάνει τόσο την σφαιρικότητα όσο και την στρογγυλότητα. Η σφαιρικότητα αναφέρεται σε μια σύγκριση της επιφάνειας μιας σφαίρας με όγκο ίδιο με τον κόκκο, με την επιφάνεια του ίδιου του κόκκου. Για πρακτικούς λόγους η διάκριση αυτή γίνεται σε μεγάλα μεγέθη βάση της αξονικής αναλογίας και

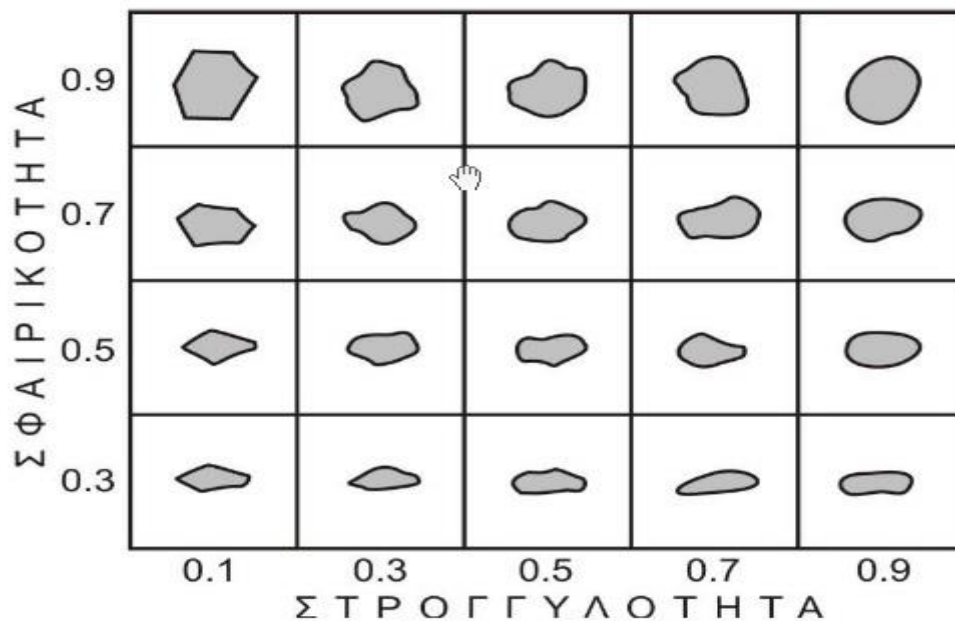
των κόκκων. Η στρογγυλότητα αναφέρεται στην αιχμηρότητα των ακρών και των γωνιών ενός θραύσματος. Διακρίνονται πέντε βαθμοί στρογγυλότητας:

1. Πολύ γωνιώδης
2. Γωνιώδεις: ακμές και γωνίες αιχμηρές και απότομες
3. Υπογωνιώδεις: επιφάνειες επίπεδες και γωνίες ομαλές
4. Υποστρογγυλές: επιφάνειες κεκαμμένες γωνίες αποστρογγυλεμένες
5. Στρογγυλές: όχι επίπεδες επιφάνειες όλες οι γωνίες στρογγυλές
6. Πολύ στρογγυλές: επιφάνειες με μεγάλη κάμψη, ομοιόμορφα στρογγυλές γωνίες [6, 17](#)



Σχ 3.13 Σχηματική απεικόνιση των βαθμών στρογγυλότητας

Πηγή: <http://www.sand-atlas.com/en/shape-of-sand-grains>

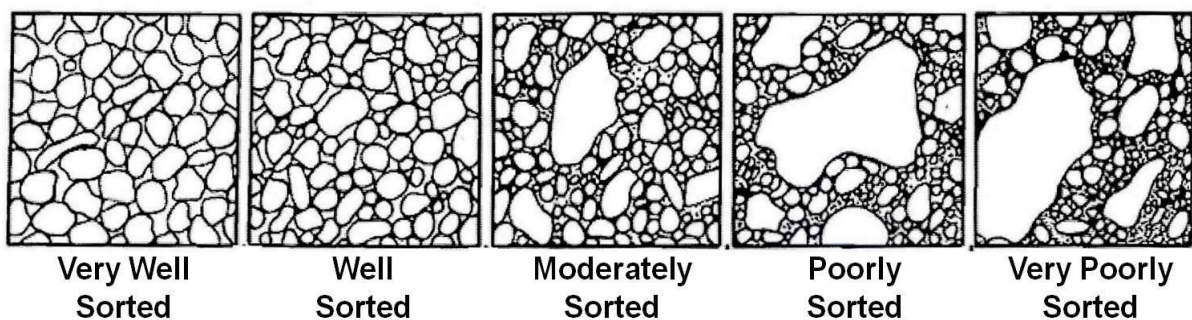


Σχ. 3.14 Οπτικός υπολογισμός της σφαιρικότητας και της στρογγυλότητας στους κόκκους της άμμου (Krumbein and Sloss 1963)

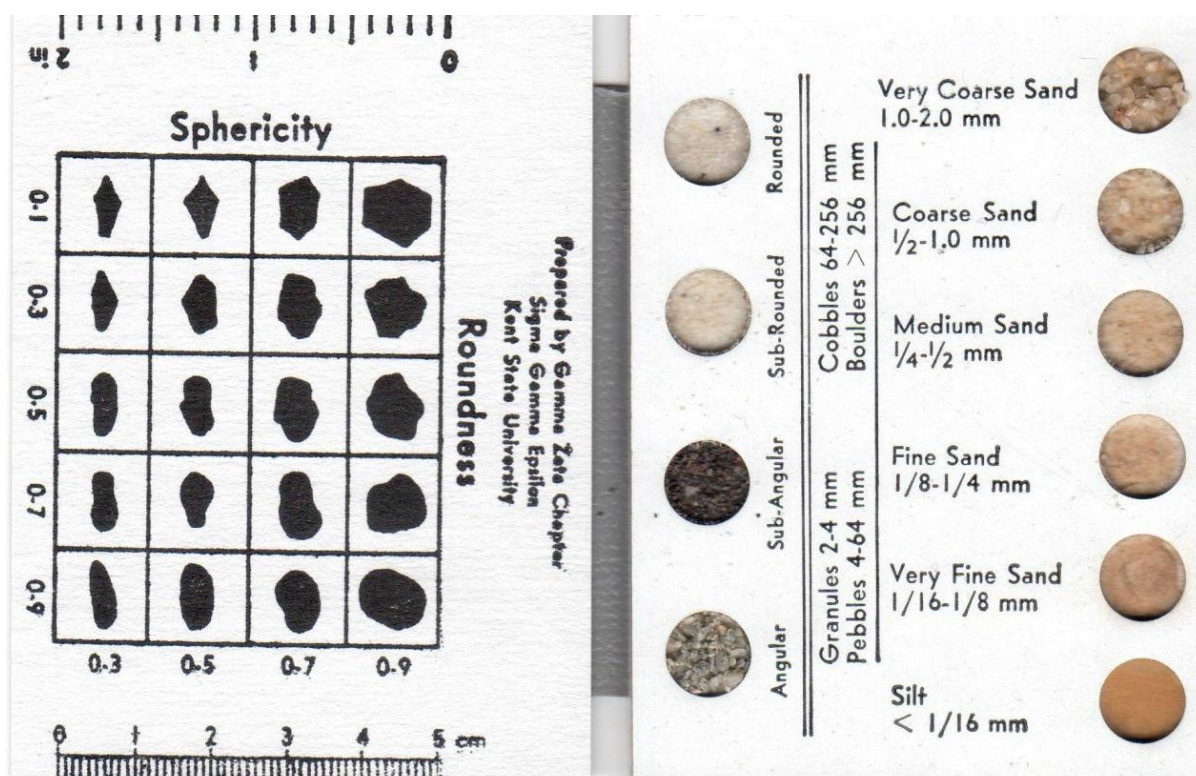
- Ταξινόμηση των κόκκων

Η ταξινόμηση είναι το μέτρο της συχνότητας κατανομής των μεγεθών των κόκκων σε ένα ίζημα ή σε ένα πέτρωμα. Περιλαμβάνει σχήμα, στρογγυλότητα, ειδικό βάρος, ορυκτολογική σύσταση καθώς και το μέγεθος. Μια προτεινόμενη ταξινόμηση που δίνεται από τον Payne (1942) έχει ως εξής:

- i. Πολύ καλή: 90% με 1 τάξη μεγέθους
- ii. Καλή: 90% με 2 τάξεις μεγεθών
- iii. Μέτρια: 90% με 3 τάξεις μεγεθών
- iv. Φτωχή: 90% με 4 και παραπάνω τάξεις μεγεθών
- v. Πολύ φτωχά: 90% με 5 και παραπάνω τάξεις μεγεθών [6, 17](#)



Σχ 3.15 Σχηματική απεικόνιση της ταξινόμησης των κόκκων



Σχ. 3.16 Διαγράμματα και μέθοδοι για τον καθορισμό της σφαιρικότητας της στρογγυλότητας, του σχήματος και της ταξινόμησης των κόκκων

Πηγή: <http://www.pilbarageology.com.au/products/Sand-Grain-Size-Chart.html>

5. Συνδετικό υλικό και υλικό πλήρωσης

Το συνδετικό υλικό (cement) είναι ένα χημικό ίζημα που αποτέθηκε γύρω από τους κόκκους και ανάμεσα στα διάκενα μεταξύ των κόκκων (συνήθως από την δράση του νερού), ως συσσωματώματα κρυστάλλων ή αναπτύσσεται πάνω στους κόκκους της ίδιας σύστασης. Το υλικό πλήρωσης (matrix) αποτελείται από μικρούς μεμονωμένους κόκκους που γεμίζουν τα διάκενα μεταξύ των μεγαλύτερων κόκκων, δηλαδή αποτίθεται ταυτόχρονα με τους κόκκους του πετρώματος. Το συνδετικό υλικό έχει αποτεθεί χημικά ενώ το υλικό πλήρωσης μηχανικά.

Η σειρά καθίζησης του συνδετικού υλικού εξαρτάται από τον τύπο του διαλύματος, τον αριθμό των ιόντων που βρίσκονται σε διάλυση και γενικά τις γεωχημικές συνθήκες του περιβάλλοντος απόθεσης. Πολλά διαφορετικά συνδετικά υλικά ή διαφορετικές γενιές συνδετικών υλικών μπορούν να υπάρχουν σε ένα πέτρωμα, χωριστά ή με μεγαλύτερη έκταση κάποιο ή αντικαθιστώντας το ένα το άλλο.

Το χημικό συνδετικό υλικό είναι ασυνήθιστο σε ψαμμίτη που έχει ως υλικό πλήρωσης άργιλο. Τα πιο συνηθισμένα συνδετικά υλικά είναι τα πυριτικά και τα ασβεστιτικά. Τα πυριτικά ως συνδετικό υλικό είναι κοινό σχεδόν σε όλους τους χαλαζικούς ψαμμίτες, αυτό συμβαίνει ως δευτερεύουσα κρυσταλλική ανάπτυξη που αποτέθηκε ως συνέχεια του αποσπασμένου χαλαζία και των άλλων κόκκων. Ο οπάλιος, ο χαλκηδόνιος και ο πυριτόλιθος είναι μια άλλη μορφή πυριτικού συνδετικού υλικού. Ο δολομίτης και ο ασβεστίτης αποτίθενται ως κρύσταλλοι στα διάκενα και ως σύνολο στα κενά. Ο δολομίτης και ο ασβεστίτης μπορεί να είναι αυτόχθονες στον ψαμμίτη, η άμμος αποτελεί ένα μίγμα από χαλαζία και δολομίτη ή κόκκους ασβεστίτη ή το ανθρακικό άλας έχει κατακαθίσει ως κάλυμμα γύρω από τους κόκκους πριν αυτοί λιθοποιηθούν. Επίσης μπορούν απλά να πληρούν τα κενά των ανθρακικών πετρωμάτων. Ο ανυδρίτης και ο γύψος ως συνδετικά υλικά είναι πιο συχνά συνδεδεμένα με τους δολομίτες και τα πυριτικά παρά με τα ασβεστιτικά. Τέλος ως συνδετικά υλικά μείζονος σημασίας είναι πολύ μικροί κρύσταλλοι σιδηρίτη, αιματίτη, λειμωνίτη, ζεόλιθου και φωσφορικά υλικά. Η ιλύς δρα ως υλικό πλήρωσης επιταχύνοντας την συμπαγοποίηση συμπληρώνοντας τα διάκενα μειώνοντας έτσι το μέγεθος των ενδιάμεσων κενών. Η άργιλος είναι πολύ κοινό υλικό πλήρωσης, η οποία μπορεί να προκαλέσει την μείωση του πορώδους είτε με συμπίεση, είτε με αύξηση του όγκου της παρουσία νερού στο σχηματισμό. Τα αργιλώδη υλικά διανέμονται ομοιόμορφα σε πυριτικά κλαστικά ή ανθρακικά πετρώματα, ή έχουν ελασματοειδή, φακοειδή ή ζωνώδη δομή.

ABUNDANT	15 – 20 %
COMMON	10 – 15 %
MINOR	5 – 10 %
RARE	1 – 5 %
TRACE	≤ 1 %

Σχ. 3.17 Πίνακας με τα ποσοστά του υλικού πλήρωσης

Πηγή: Τσιραμπίδης Α. (2008), *Ιζηματογενή Πετρώματα*, Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη

Τα αργιλώδη υλικά διανέμονται ομοιόμορφα σε πυριτικά κλαστικά ή ανθρακικά πετρώματα, ή έχουν ελασματοειδή, φακοειδή ή ζωνώδη δομή. Η συμπίεση, η παρουσία διαφόρων ποσοτήτων δευτερογενούς χαλαζία ή ανθρακικού άλατος και η ύπαρξη αργίλου ανάμεσα στα διάκενα είναι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το πορώδες κυρίως στα κλαστικά ιζήματα. Γενικά υπάρχει μια ελάττωση του πορώδους με το βάθος που οφείλεται στο δευτερογενές υλικό συγκόλλησης και στην συμπίεση λόγω του βάρους των υπερκείμενων στρωμάτων. Οι διακυμάνσεις στις τιμές του πορώδους ποικίλουν και αυτό οφείλεται στις διαφορές στις ποσότητες του δευτερογενούς συνδετικού υλικού. Για παράδειγμα οι χονδρόκοκκοι ψαμμίτες έχουν μεγαλύτερες τιμές διαπερατότητας σε σχέση με τους λεπτόκοκκους ακόμα και όταν είναι η ίδια ποσότητα συνδετικού υλικού διαθέσιμη. Ωστόσο το ίδιο πάχος συνδετικού υλικού θα σχηματιστεί γύρω από τους κόκκους ανεξαρτήτως μεγέθους, οπότε παρόμοια διάκενα που υπάρχουν στου λεπτόκοκκους ψαμμίτες θα καλυφθούν πρώτα. [14, 17](#)

6. Απολιθώματα

Τα μικροαπολιθώματα αλλά και τα μακροαπολιθώματα χρησιμοποιούνται για την συσχέτιση των σχηματισμών αλλά και ως δείκτες του περιβάλλοντος απόθεσης. Για τον συσχετισμό, αυτός που καταγράφει και αναλύει τα δείγματα πρέπει να είναι εξοικειωμένος με μερικά τουλάχιστον απολιθώματα που λειτουργούν ως διαγνωστικά. Θα πρέπει να μπορεί να αναγνωρίζει τα τρηματοφόρα, τα οστρακοειδή, τα βρυόζωα, τα κοράλλια, τα φύκια, τα ακτινόζωα, τα διάτομα, τα κρινοειδή, τα βραχιόποδα, τα γαστερόποδα αλλά και τα θραύσματα από αυτά, έτσι ώστε να καταγράφει την παρουσία τους και την σχετική τους αφθονία στα εξεταζόμενα δείγματα. Για πιο λεπτομερή προσδιορισμό θα χρειαστεί την βοήθεια κάποιου ειδικού παλαιοντολόγου ή κάποιου επιστημονικού συγγραμματος. Τα απολιθώματα μπορεί να βοηθήσουν στην κρίση του εξεταστή για ποιο μέρος των θρυμμάτων είναι στη θέση που καταγράφηκε και ποιο όχι. Θα ήταν χρήσιμο για τον εξεταστή να είχε στη διάθεση του περισσότερες φωτογραφίες των μικροαπολιθωμάτων που αναμένονται να βρεθούν στους διατηρούμενους σχηματισμούς. Πέρα από την χρήση των απολιθωμάτων για την συσχέτιση και ως δείκτες περιβάλλοντος απόθεσης, χρησιμοποιούνται και άλλα όπως ο γλαυκονίτης, ο άστριος, ο σιδηροπυρίτης, απομεινάρια ανθρακοποιημένων φυτών, βαριά μεταλλικά στοιχεία, πυριτόλιθοι και θραύσματα πετρωμάτων στο μέγεθος της άμμου. [14, 17](#)

7. Ιζηματογενείς δομές

Οι περισσότερες ιζηματογενείς δομές δεν γίνονται διακριτοί στα θρύμματα, από την άλλη όμως μια ή περισσότερες δομές μπορεί να βρεθεί μέσα σε κάποιο πυρήνα και θα πρέπει να αναφέρονται στην περιγραφή τους. Δομές που περιλαμβάνουν μάζες ή συσσωματώματα συστατικών των πετρωμάτων διέπονται από τις αλλαγές στο χρόνο και στο χώρο π.χ. η στρωμάτωση μπορεί να προκύψει από διακριτή κάθετη (χρόνος) μεταβολή στη σύνθεση όπως και αλλαγές στο μέγεθος των κόκκων. Για την προέλευση αυτών των δομών ισχύει είτε η ταυτόχρονη διαμόρφωση τους με την εναπόθεση (συγγενετικών) ή διαμόρφωση τους μετά την εναπόθεση τους και την ταφή τους (επιγενετική). Οι συγγενετικές δομές είναι πολύ καλοί δείκτες του περιβάλλοντος απόθεσης του ιζήματος. ¹⁷

8. Πορώδες

Μια από τις σημαντικότερες και χρησιμότερες παρατηρήσεις που γίνονται κατά την εξέταση των δειγμάτων είναι το πορώδες. Το πορώδες είναι το μέτρο του όγκου των διακένων προς τον συνολικό όγκο του πετρώματος. Για την σωστότερη εκτίμηση του πορώδους χρησιμοποιείται μεγαλύτερη μεγέθυνση από αυτή των x10. Οι πόροι είναι ευκολότερο να αναγνωριστούν σε ξηρά δείγματα παρά σε υγρά. Μόλις παρατηρηθεί πορώδες οποιασδήποτε κατηγορίας θα πρέπει να καταγραφεί και να σχολιαστεί με περισσότερες λεπτομέρειες στην αντίστοιχη στήλη των παρατηρήσεων της έκθεσης αναφοράς. Δείγματα με πορώδες θα πρέπει να ελέγχονται πάντα για υδρογονάνθρακες ανεξαρτήτως αν παρατηρείται κάποια χρώση, υψηλής έλαια βαρύτητας αφήνουν ελάχιστη ή καθόλου χρώση στην επιφάνεια του πετρώματος. Το πορώδες με την μεγαλύτερη σημασία είναι το ενεργό και ορίζεται ως ο λόγος των διακένων που επικοινωνούν μεταξύ τους και επιτρέπουν την ροή των ρευστών με την επίδραση της βαρύτητας ή της υδροστατικής πίεσης προς τον συνολικό όγκο του πετρώματος. Το τελικό ενεργό πορώδες εξαρτάται από την συμπίεση, την συγκόλληση, την ταξινόμηση, την διάταξη καθώς και από άλλους παράγοντες. Με βάση τα ποσοστά του ενεργού πορώδους έχουμε τις εξής κατηγορίες:

- Εξαιρετικό: > 20 %
- Καλό: 15-20 %
- Μέτριο: 10-15 %
- Φτωχό: 5-10 %

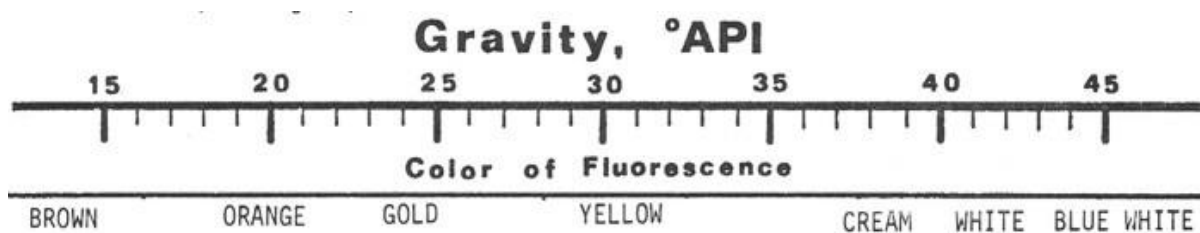
- Μηδενικό: 0-5 % [6](#), [17](#)

9. Ενδείξεις για την ύπαρξη πετρελαίου και περιγραφή αυτών

Παρόλου που η πετροφυσική ανάλυση μπορεί να προσδιορίσει την παρουσία κάποιας ποσότητας πετρελαίου, είναι ευθύνη του mud logger να αναφέρει να καταγράψει και να αξιολογήσει όλες τις εμφανίσεις. Οι ενδείξεις που χρησιμοποιεί συνήθως κατά την εξέταση των δειγμάτων είναι το χρώμα και η ένταση του κηλίδων (stain), ο φθορισμός των θρυμμάτων, ο υπολειμματικός φθορισμός και η δοκιμή cut, όλες αυτές όμως ποικίλουν λόγω των διαφορετικών χημικών, φυσικών και βιολογικών ιδιοτήτων των διάφορων ειδών υδρογονανθράκων. Πέρα από αυτές τις ενδείξεις πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν το πορώδες και όλες οι πετροφυσικές αναλύσεις. Η ρουτίνα που ακολουθεί ο mud logger στις μεθόδους εντοπισμού είναι η εξής:

- Οσμή: Αυτή ποικίλει από βαριά χαρακτηριστική των ελαφριών πετρελαίων, σε ελαφριά και διεισδυτική στα συμπυκνώματα. Μερικά ξηρά αέρια δεν έχουν καμία μυρωδιά. Η ένταση της οσμής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες συμπεριλαμβανομένου του μεγέθους του δείγματος. Ανάλογα την ένταση που έχει η οσμή καταγράφεται στην έκθεση αναφοράς ως καλή, μέτρια και ξεθωριασμένη. [14](#), [17](#)
- Staining and bleeding (χρώση και έκχυση πετρελαίου): Η ποσότητα των υδρογονανθράκων η οποία εκπλένεται στην επιφάνεια από τα θρύμματα και τους πυρήνες (γεωτρήσεις από τις οποίες εξάγονται ολόκληροι πυρήνες τα λεγόμενα καρότα) είναι συνάρτηση της διαπερατότητας του σχηματισμού στον οποίο φιλοξενούνται. Στους υψηλής διαπερατότητας σχηματισμούς πολύ μικρή ποσότητα παραμένει στα θρύμματα. Συχνά παρατηρείται αυξημένη ροή (bleeding) πετρελαίου και αερίου στους πυρήνες και μερικές φορές στα θρύμματα σχηματισμών υπό πίεση. Η ποσότητα της χρώσης κηλίδων πετρελαίου από τα θρύμματα είναι άμεση συνέπεια του πορώδους και της κατανομής του πετρελαίου στα διάκενα του σχηματισμού. Το χρώμα των κηλίδων συνδέεται με την βαθμό βαρύτητας του πετρελαίου (σε μονάδες API) , τα βαριά πετρέλαια τείνουν να έχουν κηλίδες σκούρου καφέ χρώματος, σε αντίθεση με τα ελαφριά πετρέλαια που συνήθως έχουν άχρωμες κηλίδες. [14](#), [17](#)

- Φθορισμός: Εξετάζονται η λάσπη, τα θρύμματα (υγρά αφού πλυθούν) και οι πυρήνες κάτω από υπεριώδες φως το οποίο αναδεικνύει το πετρέλαιο που υπάρχει σε μικρές ποσότητες ή πετρέλαιο ανοιχτού χρώματος που συνήθως δεν εντοπίζεται με κάποια άλλη μέθοδο. Είναι απαραίτητο να γίνεται ο διαχωρισμός μεταξύ των φθορίζοντων ορυκτών (όπως ο φθορίτης από όπου και πήρε την ονομασία της) και του φυσικού φθορισμού των υδρογονανθράκων. Για να καθοριστεί αυτή η διαφορά βυθίζονται τα θρύμματα της γεώτρησης μέσα σε ένα διαλύτη πετρελαίου (αιθέρα ή ακετόνη) αν το δείγμα περιλαμβάνει υδρογονάνθρακες τότε αυτοί θα εμφανίσουν μετά από 15-20 λεπτά το φαινόμενο της διασποράς χρωματίζοντας τον διαλύτη κάτω από το υπεριώδες φως, αν περιέχει απλά φθορίζοντα ορυκτά αυτά παραμένουν αδιάλυτα και ο διαλύτης άχρωμος. Αυτή η χρώση στο υπεριώδες φως ονομάζεται cut και η απόχρωση υποδεικνύει την ποιότητα του πετρελαίου. Το χρώμα του φθορισμού του αργού πετρελαίου κυμαίνεται από καφέ μέχρι πράσινο, χρυσό, μπλε, κίτρινο μέχρι άσπρο. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα βαρύτερα πετρώματα έχουν και σκουρότερα χρώματα φθορισμού και τα ελαφρότερα παρουσιάζουν τριδισμό (irredescence). Μπορεί να εμφανίζεται διασκορπισμένος, σαν χρωματιστές κηλίδες. Η ένταση του κυμαίνεται από φωτεινό, θαμπό, ωχρό και ξεθωριασμένο. [14](#), [17](#)



Σχ. 3.18 Το χρώμα του φθορισμού εξαρτάται από την βαρύτητα των πετρελαίων σε μονάδες (API)

- Δοκιμή cut των υδρογονανθράκων: Για αυτήν την δοκιμή το δείγμα τοποθετείται πάνω σε μια πλάκα, στη συνέχεια προστίθεται ο διαλύτης και γίνεται η παρατήρηση του χρώματος, της έντασης και του ποσοστού του cut σε κανονικό και σε υπεριώδες φως. Έπειτα το δείγμα κονιοποιείται και υποβάλλεται ξανά στη παραπάνω δοκιμή, αν δεν παρατηρείται εδώ κανένα cut τότε ο φθορισμός σίγουρα προέρχεται από φθορίζοντα ορυκτά. Γενικά

ισχύει ότι όσο μεγαλύτερο είναι το cut τόσο βαρύτερο είναι και το πετρέλαιο που το προκαλεί. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται cut fluorescence. Στα δείγματα που περιέχουν πετρέλαιο εφαρμόζεται η χρωματογραφική μέθοδος. Σύμφωνα με την οποία τοποθετείται σε διηθητικό χαρτί μια σταγόνα διαλύτη που περιέχει υδρογονάνθρακες και παρατηρούνται τα φαινόμενα διαχωρισμού και οι δακτύλιοι που σχηματίζονται κάτω από το κανονικό και υπεριώδες φως. Ο έλεγχος για την παρουσία αέριων υδρογονανθράκων χρησιμοποιείται ένα “μπλέντερ” στο οποίο τοποθετείται το μη πλυμένο δείγμα με προσθήκη νερού και στη συνέχεια αναλύεται το αέριο που προκύπτει, η διαδικασία αυτή μπορεί να επιταχυνθεί με την χρήση αεριοχρωματογράφου.

Στην περίπτωση που τα κηλιδωμένα από πετρέλαιο δείγματα δεν παρουσιάσουν φθορισμό δεν πρέπει να θεωρηθεί δεδομένο ότι δεν περιέχουν υδρογονάνθρακες. Τα δείγματα αυτά δοκιμάζονται με άλλα αντιδραστήρια, τα πιο κοινά είναι το χλωροαιθάνιο, πετρελαϊκός αιθέρας και ακετόνη. Η χρήση του αιθέρα αποτελεί μια πιο ευαίσθητη δοκιμή στους διαλυτούς υδρογονάνθρακες σε σχέση με το χλωροαιθάνιο και την ακετόνη, αλλά λόγω της ευαισθησίας αυτής πρέπει να ελέγχονται τακτικά γιατί και η παραμικρή παρουσία κάποιου προϊόντος υδρογονάνθρακα τον καθιστά άχρηστο ως αντιδραστήριο. Το χλωροαιθάνιο συνίσταται για γενική χρήση ωστόσο όμως μπορεί να μολυνθεί με την πάροδο αρκετού χρόνου. Η ακετόνη είναι καλός διαλύτης για βαριά πετρέλαια αλλά δεν συνίσταται για τις εξετάσεις ρουτίνας εντοπισμού πετρελαίου. [14, 17](#)

- Wettability (διαβρεξιμότητα): Αποτυχία στην διαβροχή των δειγμάτων ή στη τάση τους να επιπλεύσουν στο νερό όταν είναι βυθισμένα σε αυτό είναι συχνά ενδείξεις για την παρουσία υδρογονανθράκων. Στο μικροσκόπιο δείγματα με ελαφριές χρωματισμένες κηλίδες, οι οποίες δεν γίνεται να εξακριβωθεί αν προέρχονται ή όχι από πετρέλαιο, σε αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια με δυο σταγόνες νερό πάνω στην κηλίδα. Αν υπάρχει πετρέλαιο το νερό δεν θα εμποτίσει το δείγμα ούτε θα κυλίσει στην επιφάνεια, αλλά θα μείνει πάνω ή θα κυλίσει σαν σφαιρικές χάντρες. Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό των υδρογονανθράκων όπως: η δοκιμή με ακετόνη και νερό, η δοκιμή με καυτό νερό, η δοκιμή πυρόλυσης και η δοκιμή με οξύ (συνήθως HCl). [14, 17](#)

3.2 Διαδικασίες και κριτήρια για την πετροφυσική και ορυκτολογική ταυτοποίηση των δειγμάτων

Δοκιμαστικές μέθοδοι:

- i. Δοκιμή με αραιωμένο HCl (10%): Στα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής μπορούν να εξαχθούν τρεις τύποι παρατηρήσεων. Πρώτον ο βαθμός αναβρασμού, ο δολομίτης και ο ασβεστόλιθος χαρακτηρίζονται από την αναβραστικότητα όταν έρθουν σε επαφή με αραιωμένο διάλυμα HCl (10%). Ο καθαρός ασβεστόλιθος αναβράζει βίαια ενώ ο καθαρός δολομίτης δεν αναβράζει καθόλου σε κρύο διάλυμα HCl οξέος (10%), θα αναβράσει μόνο και με σχετικά αργούς ρυθμούς μόνο αν θερμανθεί το HCl οξύ. Αυτά όμως σπάνια συναντιούνται σε πλήρη καθαρότητα συνήθως είναι μίγματα του ενός ή του άλλου που επικρατεί ή είναι αναμεμειγμένα με σχιστόλιθο. Λόγω αυτής της μίξης είναι αμφισβητήσιμο για το αν θα ονομαστεί ένας σχηματισμός σχιστολιθικός ασβεστόλιθος ή ασβεστολιθικός σχιστόλιθος. Για να καταλήξουμε στη σωστή ονομασία ακολουθείται μια διαδικασία. Για αρχή τοποθετείται τα κομμάτια του υλικού σε μια κοιλότητα μιας πλάκας και καλύπτεται με HCl (10%). Αν αρχίσει να αναβράζει πιθανότατα κυριαρχεί ο ασβεστόλιθος από τον δολομίτη. Στη συνέχεια θερμαίνεται η πλάκα και προστίθεται οξύ μέχρι αυτό να σταματήσει να αναβράζει. Αν τα δείγματα από τα θρύμματα αρχίζουν να ξανά ανακτούν την γενική αρχική τους μορφή τότε ήταν ασβεστολιθικός σχιστόλιθος, αν δεν διατηρήσουν το αρχικό τους σχήμα αλλά έχει μείνει ένα κατάλοιπο, τότε κυρίαρχος ήταν ο ασβεστόλιθος στο δείγμα και ονομάζεται σχιστολιθικός ασβεστόλιθος. Οι διάφορες πρόσθετες ουσίες που μπορεί να περιέχουν απλά μπορεί να καθυστερήσουν λίγο τον αναβρασμό. Πολλές φορές οι κηλιδωμένοι με πετρέλαιο ασβεστόλιθοι συγχέονται με τους δολομίτες, λόγω της επικάλυψης της επιφάνειας που προκαλεί το πετρέλαιο και προστατεύει από την άμεση αντίδραση του CaCO_3 από το οξύ με μία χρονική καθυστέρηση. Το σχήμα, το πορώδες αλλά και η διαπερατότητα επηρεάζουν τον βαθμό αντίδρασης επειδή όσο μεγαλύτερη είναι εκτιθέμενη επιφάνεια τόσο πιο γρήγορα θα ολοκληρωθεί η αντίδραση. [14, 17](#)
- ii. Η φύση των κατάλοιπων: τα ανθρακικά πετρώματα μπορεί να περιέχουν σημαντικά ποσοστά πυριτόλιθου, ανυδρίτη, άμμου, ιλύος ή αργιλικών υλικών

που δεν ανιχνεύονται εύκολα στα μη κατεργασμένα θραύσματα. Δεν είναι όλα τα αργιλώδη υλικά σκουρόχρωμα, και αν δεν τύχει να ληφθεί κάποιο αδιάλυτο υπολείμμα, τα ανοιχτόχρωμα αργιλικά συνήθως χάνονται. Κατά την διάρκεια κανονικής εξέτασης δειγμάτων από ανθρακικές ακολουθίες, καθορίζεται η σύνθεση του μη ασβεστούχου κλάσματος βυθίζοντας ένα ή και περισσότερα θραύσματα σε οξύ και έτσι εκτιμάται το ποσοστό των αδιάλυτων υπολειμμάτων. Τα υπολείμματα αυτά μπορούν να αποκαλύψουν την παρουσία σημαντικών μετάλλων που με άλλο τρόπο θα έμειναν συγκαλυμμένα. [14, 17](#)

- iii. Η αντίδραση του πετρελαίου (oil reaction): Αν περιέχεται πετρέλαιο σε κάποια θρύμματα, μόλις αυτό βυθιστεί σε οξύ θα σχηματιστούν μεγάλες φούσκες λόγω αντίδρασης. [14, 17](#)
- iv. Σκληρότητα (hardness): Η χάραξη της επιφάνειας των θραυσμάτων είναι συνήθως επαρκής τρόπος για τον διαχωρισμό διάφορων λιθικών τύπων. Πυριτικά άλατα και γενικά πυριτιωμένα υλικά δεν μπορούν να χαραχθούν, για αυτό ασκείται πίεση με ένα κομμάτι μετάλλου (συνήθως χαλύβδινο) πάνω στο εξεταζόμενο σημείο του δείγματος. Οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες χαράσσονται σχετικά εύκολα, στον ανυδρίτης και στον γύψο δημιουργούνται αυλακώσεις το ίδιο και στον σχιστόλιθο και τον μπετονίτη. Τα φθαρμένα ή αποσαθρωμένα δείγματα είναι συχνά αρκετά μαλακά στο να χαραχθούν και δεν αντιδρούν με οξύ. Προσοχή όμως απαιτείται στα αποτελέσματα της δοκιμής αυτής για το αν το χαραγμένο υλικό είναι το πραγματικό συστατικό υλικό του θραύσματος ή είναι το υλικό συγκόλλησης ή το υλικό πλήρωσης. Για παράδειγμα στους ιλύες συχνά η χάραξη ή αύλακα που έχει σχηματιστεί όταν αυτή εξετάζεται με μεγάλη μεγέθυνση δείχνει ότι οι κόκκοι χαλαζία έχουν παραγκωνιστεί και είναι αχάρακτοι και ότι η αύλακα έγινε στο μαλακότερο υλικό δηλαδή στο υλικό πλήρωσης ή συγκόλλησης. [14, 17](#)
- v. Αποχωρισμός (fissility): Η φολίδωση παρόλο που δεν είναι κάποια δοκιμή είναι πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των πετρωμάτων. Ο mud logger θα πρέπει να είναι σε θέση να διαχωρίζει μεταξύ των σχιστόλιθων στους οποίους υπάρχει η φολίδωση- σχιστότητα, και των ιζηματογενών πετρωμάτων αποτελούμενων από μεγέθη αργίλου και ιλύος πλούσια σε οργανική ύλη (mudstone) τα οποία δεν έχουν κανένα παράλληλο αποχωρισμό στις επιφάνειες τους. [14, 17](#)

- vi. Διάσπαση, θρυμματισμός και διόγκωση (slaking and swelling): Αυτές είναι χαρακτηριστικές ιδιότητες των μοντμοριλλονιτών (ομάδα ορυκτών της αργίλου) όταν έρθουν σε επαφή με το νερό και τα διακρίνει από τον καολίνη και τον ιλλίτη. [14, 17](#)
- vii. Λεπτές τομές: Μερικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων δεν μπορούν να γίνουν διακριτά χωρίς την εξέταση τους σε λεπτές τομές. Λεπτές τομές επαρκείς για τις εξετάσεις ρουτίνας των δειγμάτων μπορούν να παρασκευαστούν χωρίς ειδικές τεχνικές που απαιτούνται όταν πρόκειται για πετρογραφική μελέτη. Με τις λεπτές τομές απαντώνται θέματα όπως: αναγνώριση ορυκτών, σχέσεις κόκκων και υλικού πλήρωσης, σχέσεις κόκκων και υλικού συγκόλλησης, η κατανομή των πόρων, το μέγεθος των κόκκων εξακριβώνεται, η ποιότητα του πετρώματος από τα οποία προέκυψαν τα θρύμματα. Μερικά τμήματα ή σχέσεις μεταξύ των σωματιδίων και του υλικού πλήρωσης μένουν ασαφή έως ότου το δείγμα εξετασθεί κάτω από πολωτικό μικροσκόπιο με πολωμένο ή όχι φως. Μόλις αναγνωριστούν όλα αυτά τα χαρακτηριστικά από τις λεπτές τομές είναι ύστερα εύκολα ανιχνεύσιμα σε ολόκληρο τμήμα των δειγμάτων. Το πολωτικό μικροσκόπιο αποτελεί απαραίτητο εξοπλισμό στο mud logging unit. [14, 17](#)

4. Ανάλυση των υδρογονανθράκων κατά την εκτέλεση του mud logging

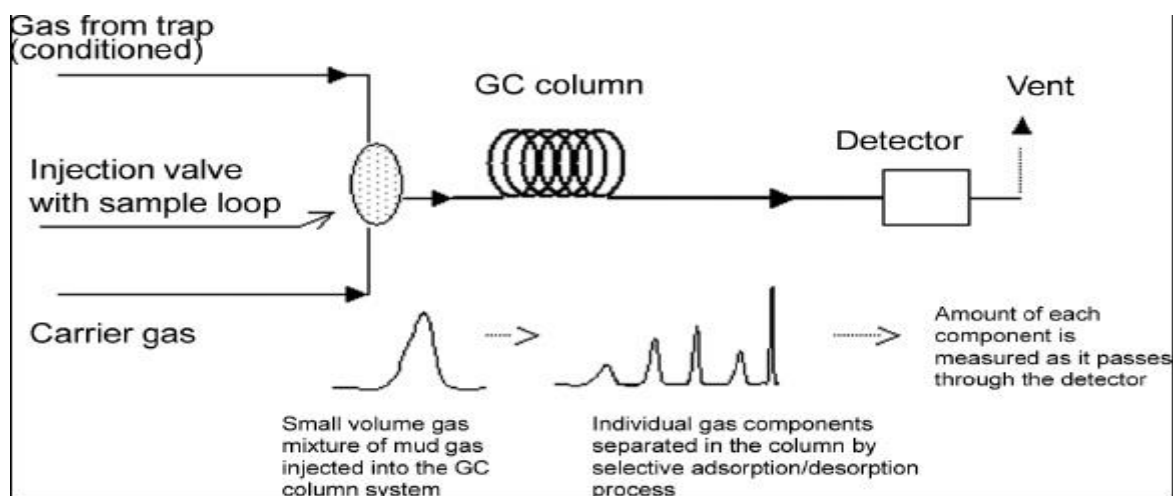
Πέρα από τις συνήθεις εξετάσεις για τον εντοπισμό των υδρογονανθράκων (όπως αυτής με αραιωμένο διάλυμα HCl 10% οξέος) σειρά έχουν οι αναλύσεις των αερίων και των υγρών που φέρουν τα θρύμματα και ο πολφός, για αυτές τις αναλύσεις χρησιμοποιούνται πιο εξειδικευμένα όργανα.

Η ανάλυση των αερίων κατά την διάρκεια της γεώτρησης γίνεται με τον αναλυτή ολικού αερίου (**Total Gas Analyzer –TGA**) συχνά αναφέρεται και ως αναλυτής ολικών υδρογονανθράκων (**Total Hydrocarbon Analyzer – THA**) και καταγράφει την ολική ποσότητα αερίου. Μονάδα μέτρησης είναι το ισοδύναμο ολικού μεθανίου (Total Methane Equivalent - TME) αυτό αντιπροσωπεύει την θερμογόνο δύναμη του αερίου που απελευθερώνεται από την λάσπη και εκφράζει την θερμογόνο δύναμη που θα

μπορούσε να παραλειφθεί από την ισοδύναμη συγκέντρωση καθαρού μεθανίου στον αέρα. Ο αναλυτής (TGA) πλεονεκτεί με άλλες μεθόδους λόγω της συνεχούς λειτουργίας του. Οι περισσότεροι σύγχρονοι TGA χρησιμοποιούν είτε έναν ανιχνευτή θερμικής αγωγιμότητας (Thermal Conductivity Detector – TCD) ή έναν ανιχνευτή ιονισμού φλόγας (Flame Ionization Detector – FID).

Για τις αναλύσεις και τις μετρήσεις της μοριακής συγκέντρωσης και σύστασης των υγρών των σχηματισμών που ανέρχονται μέσω του πολφού στην επιφάνεια, χρησιμοποιούνται τεχνικές όπως η αεριοχρωματογραφία (Gas Chromatography – GC), η φασματομετρία μάζας (Mass Spectrometry – MS) και η φασματοσκοπία υπέρυθρου (Infrared Spectrometry).³

Η αεριοχρωματογραφία (Gas Chromatography GC) είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη και ακριβής τεχνική. Το όργανο αυτό μπορεί και διαχωρίζει τα συστατικά από το μίγμα με εκλεκτική προσρόφηση και εκρόφηση κάθε ένωσης ξεχωριστά με διαφορετικούς ρυθμούς. Μια μικρή ποσότητα του όγκου του μίγματος (του αερίου που εξάγεται από τον πολφό) εισάγεται σε ένα ρεύμα φέροντος αερίου που μεταφέρει το δείγμα μέσα στην στήλη του GC. Το φέρον αέριο που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι αδρανές και χωρίς προσμίξεις, δεν πρέπει να έχει οξυγόνο και υγρασία. Τα συστατικά του δείγματος μέσα στη στήλη αρχίζουν να διαχωρίζονται, στο τέλος αυτής τα συστατικά απομακρύνονται το καθένα με έναν μοναδικό χρόνο κατακράτησης με σκοπό να εισαχθούν στον ανιχνευτή. Διάφοροι ανιχνευτές χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση των αερίων που εξάγονται από τον GC , όπως ο FID, ο TCD, ο ανιχνευτής καταλυτικής καύσης (Catalytic Combustion Detector – CCD), ο φασματογράφος μαζών MS και το φασματόμετρο απορρόφησης υπέρυθρου (IR).³

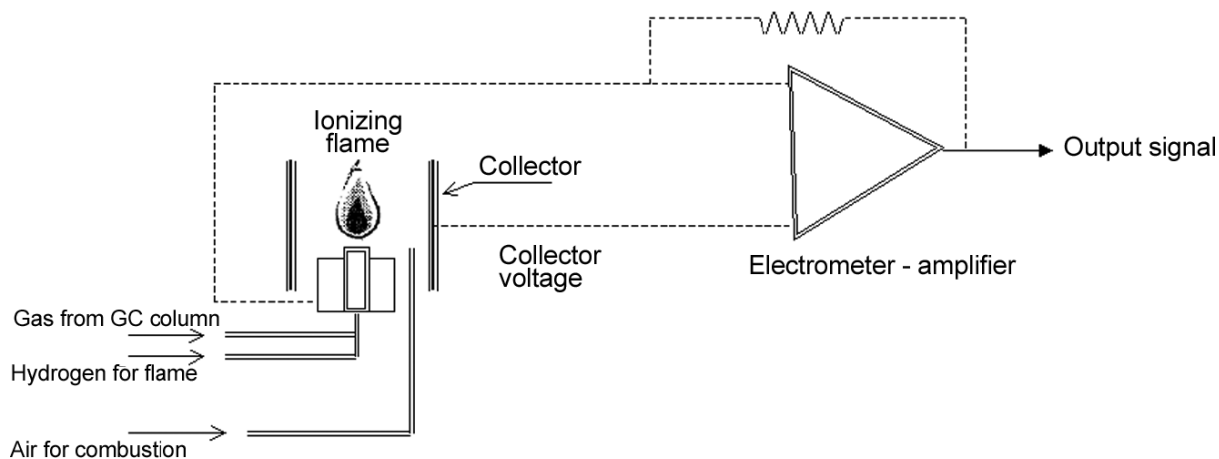


Σχ. 4.1 Σχηματική απεικόνιση απλής στήλης αεριοχρωματογράφου

Πηγή: http://petrowiki.org/Hydrocarbon_analysis_during_mud_logging

Ο ανιχνευτής ιονισμού φλόγας (FID) χρησιμοποιεί μια φλόγα καύσης υδρογόνου για την καύση των συστατικών που εκλύονται από τον GC. Καθώς οι ενώσεις υφίστανται καύση, τα ιονισμένα ενδιάμεσα μονού άνθρακα συλλαμβάνονται από το ηλεκτρόδιο συλλογής. Το ηλεκτρόμετρο μετρά το ρεύμα σε μικροαμπέρ που δημιουργεί η ροή των ιόντων, η οποία είναι ανάλογη με τον συνολικό αριθμό των ατόμων άνθρακα στο αέριο μίγμα της καύσης. Οι υδρογονάνθρακες που εκλύονται είναι γνωστοί λόγω της ανίχνευσης που προηγήθηκε, μπορεί τώρα να υπολογιστεί και η συγκέντρωσή τους. Ο FID διαθέτει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των άλλων ανιχνευτών:

- Είναι χίλιες φορές πιο ευαίσθητος από τον ανιχνευτή θερμικής αγωγιμότητας (TCD) για την μέτρηση των υδρογονανθράκων
- Έχει πιο γραμμική απόδοση από αυτήν του ανιχνευτή θερμικής αγωγιμότητας
- Δεν παρουσιάζει ευαισθησία στο CO₂, στο H₂S, στο H₂ και στους υδρατμούς
- Στις εφαρμογές καταγραφής του mud logging ο FID αντιδρά μόνο στους υδρογονάνθρακες που απελευθερώνονται από τους σχηματισμούς [3, 17](#)

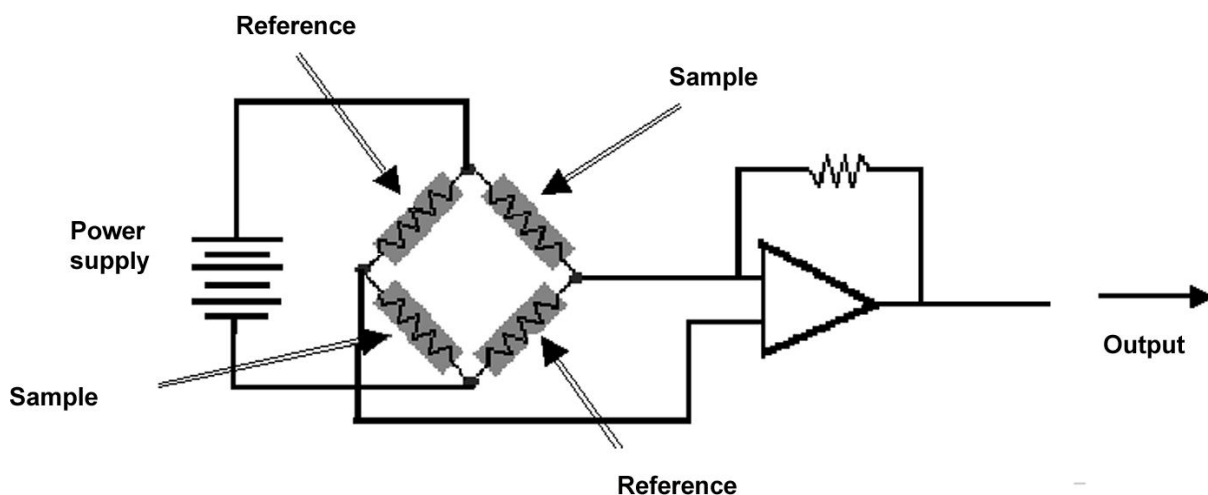


Σχ 4.2 Σχηματική απεικόνιση του ανιχνευτή ιονισμού φλόγας

Πηγή: http://petrowiki.org/Hydrocarbon_analysis_during_mud_logging

Ο ανιχνευτής θερμικής αγωγιμότητας (TCD) μετράει την θερμική αγωγιμότητα του μίγματος αερίου που διέρχεται από ένα λεπτό σύρμα. Το τυπικό TCD χρησιμοποιεί ένα κύκλωμα Wheatstone Bridge για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής αντίστασης ενός

σύρματος λευκόχρυσου. Καθώς το αέριο περνάει πάνω από το σύρμα η θερμοκρασία μειώνεται κατά ένα ποσό που σχετίζεται με την θερμική αγωγιμότητα του αερίου και του ρυθμού ροής του αερίου. Το σύρμα θερμαίνεται σε σταθερή θερμοκρασία. Η αντίσταση του σύρματος αλλάζει με την θερμοκρασία. Με έναν σταθερό ρυθμό ροής διαμέσου του αισθητήρα, τα αέρια διαφορετικής σύστασης άρα και διαφορετικής θερμικής αγωγιμότητας, ψύχουν το σύρμα σε διαφορετικές ποσότητες το καθένα. Στα περισσότερα TCD υπάρχουν δυο κυψελίδες ή μια είναι η κυψελίδα αναφοράς (μέσα στην οποία ρέει καθαρός αέρας) και η άλλη είναι η κυψελίδα του δείγματος (μέσω της οποίας ρέει το μίγμα αερίου που εξάγεται από την πολφό της γεώτρησης). Οι δυο αυτές κυψελίδες αποτελούν τις δύο από τις τέσσερις κυψελίδες που διαθέτει το κύκλωμα Wheatstone Bridge.^{3, 17}

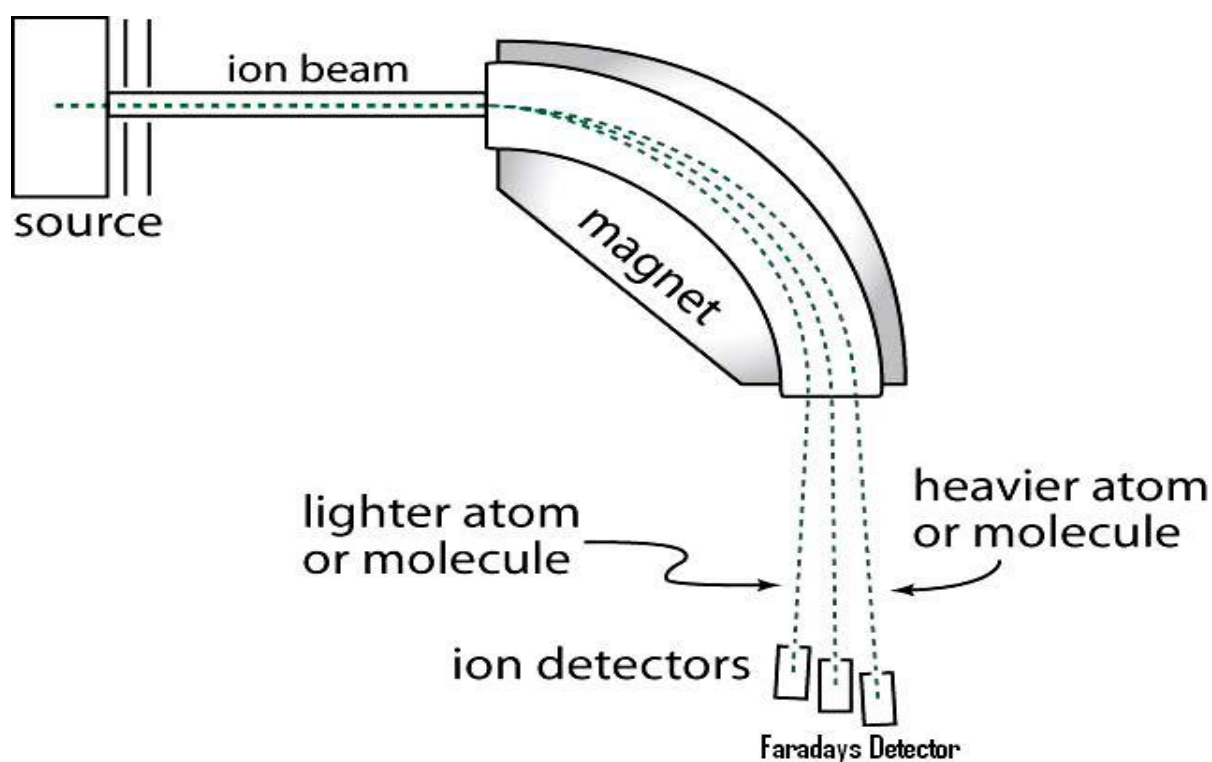


Σχ. 4.3 Σχηματική απεικόνιση του ανιχνευτή θερμικής αγωγιμότητας

Πηγή: http://petrowiki.org/Hydrocarbon_analysis_during_mud_logging

Ο ανιχνευτής CCD (Catalytic Combustion Detector) καταγράφει την μεταβολή της θερμοκρασίας ενός λεπτού σύρματος από πλατίνα καθώς καίγεται το αέριο μίγμα. Ο ανιχνευτής CCD έχει ενσωματωμένο το σύρμα σε μια καταλυτική διάταξη και αυτή καταλύει την χημική αντίδραση της καύσης επιτρέποντας να λάβει χώρα σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από αυτές της κανονικής φλόγας. Η θερμότητα που απελευθερώνεται αυξάνει την θερμοκρασία του σύρματος μαζί με την αντοχή του. Η αντίσταση του δείγματος με το σύρμα συγκρίνεται με την αντίσταση ενός σύρματος αναφοράς, με παρόμοιο τρόπο όπως αυτού του TCD, και αυτό που παράγει είναι συνάρτηση της σύστασης του αερίου μίγματος. Επίσης με τον CCD παρέχει ένα σήμα το οποίο σχετίζεται με το θερμιδικό περιεχόμενο (BTU) του αερίου που μετράται.³

Ο φασματογράφος μαζών (MS) καταγράφει το μοριακό βάρος μιας ένωσης και τον τρόπο σύνδεσης των διάφορων ομάδων μεταξύ τους. Αυτό επιτυγχάνεται με τον ιονισμό μιας μικρής ποσότητας υλικού κατά τον οποίον μπορούν να παραχθούν πολλαπλά μόρια του υλικού. Κάθε από αυτά έχει συγκεκριμένο λόγο μάζας προς φορτίο (m/z). Τα ιονίζονται υλικά διαχωρίζονται στο χώρο ή στο χρόνο βάση των αντίστοιχων αναλογιών τους μάζας/φορτίο και στη συνέχεια ποσοτικοποιούνται με τον ανιχνευτή ιόντων. Ο MS χρησιμοποιείται συστηματικά για την ποσοτικοποίηση των συστατικών που εκλύονται από τον GS, έχει το πλεονέκτημα να μπορεί ξεχωρίζει μίγματα από διάφορα συστατικά που μπορεί να εκλυθούν αρκεί αυτά να διαφέρουν αρκετά στο μοριακό τους βάρος. Επίσης ο MS επιτρέπει την ταυτόχρονη ανάλυση και μέτρηση του ποσοστού των παραφινικών, των αρωματικών υδρογονανθράκων, του CO_2 , του H_2S και των αδρανών αερίων όπως το άζωτο. Αυτή η λειτουργία αντικαθιστά τους GS για την ανάλυση των συστατικών των υδρογονανθράκων αλλά και τους ανιχνευτές υδροθείου (H_2S) στη λάσπη της γεώτρησης. ^{3, 17}



Σχ. 4.4 Σχηματική απεικόνιση του φασματογράφου μαζών

Πηγή: http://petrowiki.org/Hydrocarbon_analysis_during_mud_logging

Φασματόμετρο απορρόφησης υπέρυθρου (Infrared absorption spectrometer- IR): Η απορρόφηση υπέρυθρης ενέργειας από ένα μόριο θα αυξήσει ποικιλοτρόπως τις

δονήσεις των δεσμών του π.χ. περιστροφικά, τεντώνοντας τους δεσμούς κ.α. Ο τρόπος δόνησης ποικίλει ανάλογα με το είδος του δεσμού του κάθε μορίου και το μήκος της ακτινοβολίας διέγερσης. Η IR ακτινοβολία διέρχεται μέσα από μια κυψελίδα γεμάτη με το αέριο μίγμα. Τμήμα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας απορροφάται από τα μόρια του αερίου σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά μήκη κύματος των μορίων που περιλαμβάνονται στο αέριο. Η ποσότητα της ακτινοβολίας IR που απορροφάται είναι συνάρτηση του path length και της συγκέντρωσης. Για διάφορους φυσικούς λόγους το φάσμα της απορρόφησης δεν εκδηλώνεται ως μια σειρά διακριτών μηκών κύματος, αλλά ως μια σειρά από ευρύτερες ζώνες, που ιδιαίτερα στα συστήματα των υδρογονανθράκων επικαλύπτονται με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολη η περεταίρω ανάλυση των συστατικών τους.

Κατά την σύγκριση των διαφορών στις αρχές λειτουργίας, τη σχετική ακρίβεια σε ένα ευρύ δυναμικό φάσμα των συγκεντρώσεων των αερίων αλλά και την λειτουργικότητα του συστήματος στις συνθήκες του εργοταξίου της γεώτρησης, το FID είναι προτιμητέο για τις περισσότερες χρήσεις στον GC και στον THA (Total Hydrocarbon Analyzer). ^{3, 14, 17}

4.1 Μόλυνση των θρυμμάτων

Η μόλυνση είναι άμεσο αποτέλεσμα των λειτουργιών της γεώτρησης, όπως της σωλήνωσης της γεώτρησης, της εισόδου αέρα στις διατρητικές στήλες λόγω κακής σύνδεσης μεταξύ τους, της εισόδου πρόσθετων ουσιών (ρευστών και μη) στην λάσπη από διαφορετικές θέσεις, θρύμματα που δεν βγήκαν στην επιφάνεια παρέμειναν στις διατρητικές στήλες, του ανεπαρκή καθαρισμού της οπής της γεώτρησης της προσκόλλησης ενός σωλήνα ή κάποιου διατρητικού στελέχους, ή οποιοδήποτε άλλο πρόβλημα που να συνδέεται με την οπή της γεώτρησης. Η μόλυνση μπορεί αλλά και ταυτόχρονα δεν μπορεί να ανιχνευθεί εύκολα, αυτό εξαρτάται από την εμπειρία του mud logger. Μερικές φορές η μόλυνση των θρυμμάτων οδηγεί σε λάθος ενδείξεις που αφορούν την παρουσία των υδρογονανθράκων. ¹⁷

5. Αξιολόγηση των σχηματισμών κατά την διάρκεια του mud logging

Η αξιολόγηση αυτή περιλαμβάνει την περιγραφή των σχηματισμών, τις ιδιότητες των υγρών που περιέχονται σε αυτούς, τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων του σχηματισμού ώστε

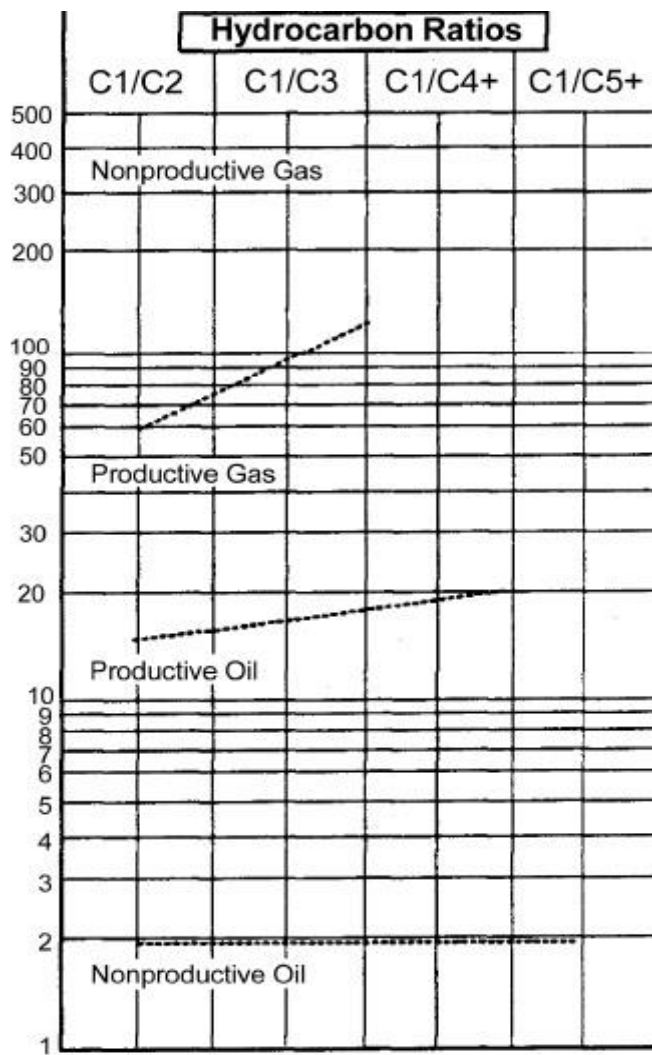
να υπολογιστεί ο εκμεταλλεύσιμος- ανακτήσιμος όγκος των υδρογονανθράκων, η αξία αυτών καθώς και ο ρυθμός παραγωγής τους και τέλος περιλαμβάνει τον σχεδιασμό της γεώτρησης στο χώρο και του κόστους για την παραγωγή και εκμετάλλευση των υδρογονανθράκων. Τα δεδομένα που χρειάζονται για όλες τις παραπάνω διαδικασίες είναι : ο τύπος των ρευστών, οι ιδιότητες των ρευστών, το πορώδες του σχηματισμού, η διαπερατότητα του σχηματισμού, η πίεση των πόρων, οι γεωλογικές ή οι πετροφυσικές πληροφορίες των σχηματισμών.²

5.1 Ο τύπος των ρευστών

Οι πληροφορίες για τα ρευστά των σχηματισμών έρχονται είτε απευθείας από τα υγρά που απελευθερώνονται μέσα στη γεώτρηση είτε από τα ρευστά που παραμένουν στους πόρους των θρυμμάτων και δεν έχουν ξεπλυθεί. Στην πρώτη περίπτωση εμφανίζονται συνήθως με την μορφή διαλύματος μέσα στο διατρητικό υγρό της γεώτρησης, ενώ στην τελευταία περίπτωση τα ρευστά κυρίως εμφανίζονται ως κηλίδες (stains) στην επιφάνεια των κόκκων. Όταν η λάσπη έχει ως βασικό συστατικό της το νερό τότε το πετρέλαιο εμφανίζεται ως κηλίδα. Σε συνθήκες υποπίεσης, όπου η πίεση του ρευστού της γεώτρησης είναι επαρκώς χαμηλή (**underbalanced drilling condition**), μπορεί να παραχθεί πετρέλαιο σε μεγάλες ποσότητες με αποτέλεσμα να ληφθεί κανονικό δείγμα στην επιφάνεια. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση που ο σχηματισμός περιέχει φυσικό αέριο αντί για πετρέλαιο. Αυτά ταυτόχρονα αποτελούν και δείκτες για την ύπαρξη υδρογονανθράκων εκτός από τους προαναφερθέντες.

Η αναλογία των αέριων συστατικών της λάσπης συσχετίζεται με τον τύπο του υγρού (π.χ. : η μοριακή αναλογία μεθανίου προς αιθάνιο). Η τροποποιημένη μέθοδος Pixler¹⁵ συσχετίζει τις αναλογίες του μεθανίου (C1) αντίστοιχα με αυτές του αιθανίου (C2), του προπάνιου (C3) του βουτανίου (C4) και του βαρύτερου ισομερούς του (C4+) και του πεντανίου (C5) και τέλος των βαρύτερων ισομερών του (C5+):

$$C_1 / C_2, C_1 / C_3, C_1 / C_{4+}, C_1 / C_{5+}$$



Σχ. 5.1 Ο συσχετισμός του λόγου των αερίων σύμφωνα με την μέθοδο Pixler

Πηγή: http://petrowiki.org/Formation_evaluation_during_mud_logging

Ο Haworth ¹⁰ στην "wetness" method καθορίζει πολλές συσχετιζόμενες αναλογίες και πιο συγκεκριμένα τις: Wetness W_h , Balance B_h , Character C_h .

$$W_h = \frac{C_2 + C_3 + iC_4 + nC_4 + C_5}{C_1 + C_2 + \dots + C_5} * 100$$

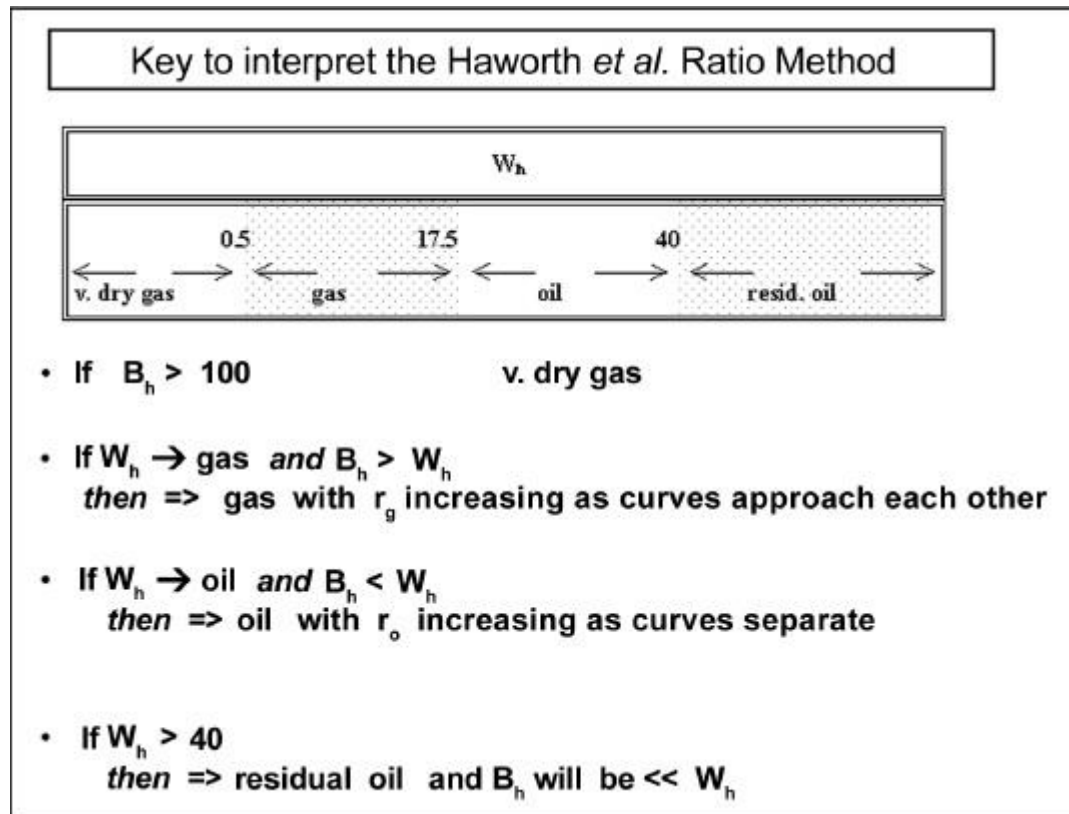
$$B_h = \frac{C_1 + C_2}{C_3 + iC_4 + nC_4 + C_5}$$

$$C_h = \frac{iC_4 + nC_4 + C_5}{C_3}$$

Οι τιμές αυτές παίζουν καθοριστικό ρόλο γιατί με την ερμηνεία τους προσδιορίζουν αν οι υδρογονάνθρακες που έχουν εντοπιστεί θα είναι πετρέλαιο, φυσικό αέριο ή πολύ ξηρό αέριο.

Οι αναλογίες αυτές σε συνδυασμό με περισσότερα δεδομένα μπορούν να καθορίσουν αν το πετρέλαιο θα είναι ελαφρύ, βαρύ ή υπολειμματικό. Μπορεί η μέθοδος του Haworth να συνδυαστεί με την μέθοδο Pixler για την καλύτερη δυνατή ερμηνεία των τύπων των ρευστών.

2



Σχ. 5.2 Ερμηνεία της μεθόδου του Haworth στην “wetness method”

Πηγή: http://petrowiki.org/Formation_evaluation_during_mud_logging

5.2 Ιδιότητες των ρευστών

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι αυτές που συμπεριλαμβάνουν την ποσοτική μέτρηση των συγκεντρώσεων μεθανίου / πεντανίου (C_4 / C_5) της ανερχόμενης λάσπης από την γεώτρηση και τον συσχετισμό αυτών με τις ιδιότητες των ρευστών, ή περιλαμβάνουν τεχνικές φασματοσκοπίας ώστε με την λήψη συγκεκριμένων φασμάτων να γίνει ο περαιτέρω συσχετισμός με τις ιδιότητες του κάθε τύπου πετρελαίου. Το σύστημα **QGM (Quantitative Gas Measurement)** το οποίο χρησιμοποιείται συστηματικά, παρέχει καλύτερη ανάλυση των σχηματισμών που περιέχουν στο εσωτερικό τους κάποιο αέριο, η ανάλυση αυτή επιτυγχάνεται με την χρήση παγίδας αερίων (gas trap extractor) που χρησιμοποιεί το σύστημα αυτό. Η χρήση της παγίδας αυτή πρέπει να γίνεται με ελεγχόμενο τρόπο ώστε να μπορέσει να δώσει μια ποσοτική μέτρηση της αποτελεσματικότητας της εκχύλισης της παγίδας αερίων,

όταν βαθμονομηθεί με βάση την μέτρηση σύστασης αερίου της λάσπης, η οποία έχει προσδιοριστεί θερμικά. Με τον ανάλογο έλεγχο και βαθμονόμηση, το σύστημα δίνει με μεγάλη ακρίβεια την σύσταση του αερίου που περιέχεται στη λάσπη. Έπειτα γίνεται η συσχέτιση των παραμέτρων που καταγράφηκαν με τις ιδιότητες του πετρελαίου.

Μια άλλη μέθοδος που βρίσκει εφαρμογή είναι η ενισχυμένη ποσοτική τεχνική υπεριώδους φθορισμού. Σύμφωνα με την οποία μπορούν να ανιχνευθούν δυο εντάσεις εκπομπής μηκών κύματος που έχουν προκύψει από την διέγερση με υπεριώδη ακτινοβολία ενός δείγματος πετρελαίου. Η αναλογία των εντάσεων που εκπέμπονται ποικίλει εξαρτώμενη από την σύσταση του πετρελαίου, για την ακρίβεια από τις συγκεντρώσεις αρωματικών ενώσεων στο δείγμα.²

5.3 Το πορώδες των σχηματισμών

Το πορώδες των σχηματισμών υπολογίζεται από την παρατήρηση των θρυμμάτων, η παρατήρηση αυτή περιλαμβάνει λεπτομερή περιγραφή και ταξινόμηση των πετρωμάτων (όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω). Η ανάγκη για θρύμματα με άθικτο σύστημα πόρων αποκλείει την μέθοδο αυτή, ιδίως όταν η διάτρηση γίνεται σε ασθενώς συγκολλημένες ή μη ενοποιημένες άμμους, ή όταν χρησιμοποιείται ως κοπτικό άκρο το PDC, τα οποία μειώνουν τα πιθανά κενά των πόρων δημιουργώντας θρύμματα μεγέθους κόκκων.

Η μέθοδος που περιγράφεται από τον Boone¹⁰ υπολογίζει το πορώδες του πετρώματος που θα χρειαζόταν για να απελευθερωθεί συγκεκριμένη ποσότητα αερίου που μετράται όταν ένα σύνολο όγκου του σχηματισμού διατρήεται. Αυτό προϋποθέτει χαμηλές απώλειες υγρού από εκτόξευση (κοντά στο μηδέν να είναι η έκπλυση του πετρώματος μπροστά από το κοπτικό άκρο), το οποίο συχνά δεν ισχύει, εκτός από σχηματισμούς χαμηλής διαπερατότητας.²

5.4 Η διαπερατότητα των σχηματισμών

Η διαπερατότητα των σχηματισμών μπορεί να εκτιμηθεί οπτικά από το μέγεθος των κόκκων και την ταξινόμηση. Αυτό όμως στην καλύτερη μπορεί να δώσει εκτιμήσεις μόνο μεγέθους, διότι στην περίπτωση που υπάρχουν κόκκοι μεγέθους αργίλου και συνήθως ελέγχουν την διαπερατότητα δεν γίνεται να προσδιοριστεί ποσοτικά με ακρίβεια. Ένας άλλος περιορισμός για τον ακριβή προσδιορισμό της διαπερατότητας είναι ότι τα θρύμματα προέρχονται από μεγάλο βάθος και έτσι δημιουργείται μια “επάλειψη” των δεδομένων (μέγεθος, ταξινόμηση περιεκτικότητα σε άργιλο).²

5.5 Γεωλογικές και πετροφυσικές πληροφορίες

Η συσχέτιση των γεωλογικών στρωμάτων εξαρτάται από τον καθορισμό ορισμένων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων ή συστατικών ενός συγκεκριμένου σχηματισμού. Ο γεωλόγος της γεώτρησης από αυτές τις ιδιότητες μπορεί και συσχετίζει τους σχηματισμούς όχι μόνο μεταξύ των γεωτρήσεων αλλά και σε γενικότερο επίπεδο ιζηματογενούς λεκάνης όπου γίνονται οι έρευνες. Υπάρχουν μερικοί χαρακτηριστικοί σχηματισμοί που λειτουργούν ως ‘‘**δείκτες**’’ λόγω ενός ή ενός συνόλου μοναδικών χαρακτηριστικών που αυτοί διαθέτουν. Στις υπηρεσίες του mud logging υπάγεται ο προσδιορισμός αυτών των χαρακτηριστικών. Οι πιο συνηθισμένοι **βιοδείκτες** είναι τα μικρο-απολιθώματα (microfossils), τα οποία αφού εντοπιστούν συσχετίζονται με την βοήθεια παλαιοντολόγου. Συνήθως αυτοί εμφανίζονται σε πολύ μικρές ποσότητες μεταξύ των θρυμάτων εξαιτίας της θραύσης και της τριβής που έχουν υποστεί τα θρύμματα από το κοπτικό άκρο, ανέρχονται και αυτοί στην επιφάνεια μέσω της λάσπης. Πριν από την εξέταση τους απαιτείται ο καθαρισμός τους με την βοήθεια ειδικού κόσκινου που να επιτρέπει την κατακράτηση των μικρο-απολιθωμάτων.

Σε ανάλογη περίπτωση με αυτήν των μικρο-απολιθωμάτων, είναι και η περίπτωση του συσχετισμού σχηματισμών λόγω ορυκτών με συγκεκριμένη σύσταση και σημαντική εξάπλωση. Αυτός ο στρωματογραφικός συσχετισμός λέγεται χημειοστρωματογραφία (**chemostratigraphy**). Η αναλογία των συγκεντρώσεων αυτών των ορυκτών αλλά και των ενώσεων, που συνδέονται με την εναπόθεση και την διαγένεση του σχηματισμού στον οποίο εμπεριέχονται, χρειάζεται να προσδιοριστεί άμεσα και οικονομικά. Οι συγκεντρώσεις αυτές υπολογίζονται είτε σε εργαστήρια είτε με τον κατάλληλο εξοπλισμό στο mud logging unit, στο πεδίο της γεώτρησης. Οι τεχνικές που εφαρμόζονται είναι η φασματομετρία επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος (Inductively Coupled Plasma Spectrometry) και η Laser- Induced Breakdown Spectroscopy. Για παράδειγμα οι αναλογίες Ca/Al, Na/Al, και η K/Al είναι αποδεδειγμένο ότι σχετίζονται με τις συγκεντρώσεις των ορυκτών της αργίλου όπως επίσης και οι συγκεντρώσεις των Ti, Cr, και του Zr συνδέονται συχνά με τα αργίλικα ορυκτά. ^{9, 13}

Τα ρευστά που περιέχονται στου πόρους κατά την διαγένεση (στάδιο σχηματισμού υδρογονανθράκων), ένα μικρό μέρος από αυτά παγιδεύεται κρυσταλλογραφικά μέσα στα ορυκτά, ως **ρευστά εγκλείσματα**. Αυτά τα οποία είναι σφραγισμένα σε κοιλότητες 2 έως 20μm μεγέθους αποτελούν αντιπροσωπευτικό δείγμα της σύστασης των ρευστών στο στάδιο σχηματισμού τους. Για την ανάλυση των εγκλεισμάτων αυτών, είναι απαραίτητο να θερμανθεί

το δείγμα ώστε να εξατμιστεί το υγρό και να σπάσουν τα περιβλήματα τους. Το αέριο που έχει απελευθερωθεί στη συνέχεια διέρχεται από φασματογράφο μαζών (Mass Spectrometry) για να αναλυθεί η σύσταση του σε υδρογονάνθρακες και σε άλλα πτητικά συστατικά (H₂S, CO₂, αρωματικά). Η στρωματογραφία που χρησιμοποιεί ως εργαλείο συσχέτισης την σύσταση των ρευστών εγκλεισμάτων είναι δυνατόν να καθορίσει τα σημεία επαφής των ρευστών φάσεων, να εντοπίσει τις οδούς μετανάστευσης και τέλος το πιο σημαντικό να καθορίσει τις παραγωγικές ζώνες.^{2, 5}

6. Μηχανική των γεωτρήσεων και διαδικασίες

Πληροφορίες σχετικά με την πίεση των πόρων, με τα αέρια που περιέχονται στους σχηματισμούς, τον τύπο του πετρώματος και της αντοχής τους είναι αναγκαίες για τον σωστό σχεδιασμό μιας γεώτρησης. Χρειάζεται μόνιμη παρακολούθηση όλων αυτών των παραμέτρων κατά την διάτρηση και σύγκριση των πραγματικών δεδομένων με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για το σχεδιασμό της γεώτρησης ώστε να υπάρχει ταχύτατη απόκριση όταν εμφανιστεί κάποιο πρόβλημα. Επιπλέον επιτρέπει στον γεωτρυπανιστή τη βελτίωση των επιδόσεων της γεώτρησης, η οποία καθορίζεται από τον ρυθμό διάτρησης (ταχύτητα) , την ελάττωση του χρόνου και συνεπώς του κόστους της γεώτρησης. Οι υπολογίσιμες παράμετροι που δίνουν ενδείξεις για την πίεση των πόρων, παρέχουν στον γεωτρυπανιστή πληροφορίες για την εκτίμηση του βαθμού υπερβάρυνσης, η οποία άμεσα επηρεάζει την ταχύτητα διείσδυσης (rate of penetration – ROP). Με αυτόν τρόπο δίνεται η δυνατότητα να διορθωθεί το ειδικό βάρος της λάσπης και να προσαρμοστεί στην αντοχή των διατρηόμενων πετρωμάτων και γενικά στη δυναμική της γεώτρησης. Όλα αυτά αποτελούν τμήμα των υπηρεσιών που προσφέρει το mud logging.¹⁶

6.1 Βάρος στο κοπτικό άκρο και ταχύτητα διείσδυσης (ROP)

Το βάρος στο κοπτικό άκρο και η ταχύτητα διείσδυσης χαρακτηρίζουν τις επιδόσεις μιας γεώτρησης. Είναι πολύ χρήσιμο να γνωρίζει ο χειριστής της γεώτρησης την ταχύτητα διείσδυσης. Για αυτόν τον σκοπό αναπτύχθηκαν ορισμένα μοντέλα και χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της παραμέτρου με όνομα **the drilling exponent** ή **d-exponent**. Σήμερα χρησιμοποιείται το μοντέλο του Bingham που τροποποίησε ο Jorden ¹¹ και ονομάζεται διορθωμένος δείκτης d (correct d-exponent) ή **dc – exponent** και αποτελεί τη βελτιωμένη έκδοση του **d-exponent** ο οποίος είναι κατάλληλος μόνο όταν το ειδικό βάρος παραμένει το

ίδιο σε όλη την διάρκεια της γεώτρησης, πράγμα πρακτικά αδύνατον. Μια άλλη χρησιμότητα του δείκτη αυτού ως το καταλληλότερο εργαλείο είναι στην ανάλυση της πίεσης των πόρων. Στηριζόμενος σε κάποιες παραμέτρους χρησιμεύει επίσης στην εκτίμηση της εσωτερικής πίεσης των πόρων αλλά και της βαθμίδας πίεσης. Για τον υπολογισμό του **d_c – exponent** σε συνάρτηση με το βάθος πρέπει να είναι γνωστά η ταχύτητα διείσδυσης (Rate Of Penetration-ROP), η ταχύτητα περιστροφής (rotary speed), το βάρος και η διάμετρος του κοπτικού και τέλος το ειδικό βάρος της λάσπης (mud weight) ή αλλιώς η πυκνότητα της λάσπης (μονάδα μέτρησης kg/m³ , g/cm³, lbm/gal, lb/ft³). Τέλος ο δείκτης **d_c – exponent** ενδείκνυται στον εντοπισμό μετάβασης της πίεσης από κανονικές τιμές σε ανώμαλες εντός του σχηματισμού και πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή σε αυτές τις μεταβολές από τους γεωτρυπανιστές και τους μηχανικούς.

Για τον υπολογισμό του **d-expoent** χρησιμοποιείται ο εξής τύπος:

$$d_{exp} = \log (R/60N)/\log (12W/1000d_b)$$

Για τον υπολογισμό του **d_c – exponent** χρησιμοποιείται ο εξής τύπος:

$$d_c = d_{exp} * \frac{\rho_n}{\rho_e}$$

Όπου R είναι η ταχύτητα διείσδυσης με μονάδα μέτρησης τα πόδια ανά ώρα, το N είναι η ταχύτητα περιστροφής με μονάδα μέτρησης σε rpm, το W είναι το βάρος του κοπτικού με μονάδα μέτρησης το Mldf, το d_b είναι η διάμετρος του κοπτικού και μετριέται σε ίντσες, Το ρ_n ισούται με την πυκνότητα της λάσπης σε κανονική πίεση πόρων με μονάδες μέτρησης m/L³ , g/cm³ και το ρ_e ισούται με την πραγματική πυκνότητα της λάσπης που έχει κατά την γεώτρηση m/L³ ,g/cm³. [14,17](#)

6.2 Η στάθμη της λάσπης στη δεξαμενή (mud pit level)

Τοποθετημένοι δείκτες στη δεξαμενή της λάσπης ορίζουν τις μεταβολές στον όγκο της λάσπης. Ο συνολικός όγκος της λάσπης μεταβάλλεται συνεχώς με το βάθος καθώς αυξάνεται ο όγκος της οπής. Η απότομη αύξηση του όγκου της λάσπης μπορεί να σημαίνει εισροή των υγρών του ταμιευτήρα και ενδείκνυται σε αυτές τις περιπτώσεις εφαρμογή κατάλληλων μέτρων για τον έλεγχο της γεώτρησης. Από την αντίθετη πλευρά μια ξαφνική και απότομη μείωση του όγκου στη δεξαμενή δείχνει απώλεια της λάσπης μέσα στην οπή (π.χ. διαφυγή της λάσπης μέσω κάποιου πορώδους σχηματισμού) και για να αντισταθμιστεί αυτή η απώλεια χρειάζεται προσθήκη στη λάσπη ειδικών πρόσθετων. [4](#)

6.3 Περιεκτικότητα της λάσπης σε χλώριο

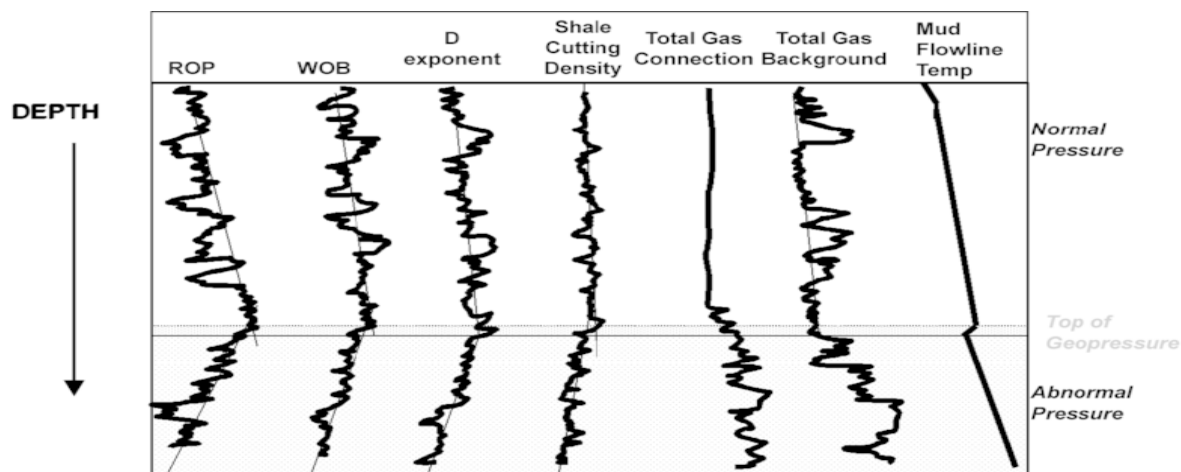
Η περιεκτικότητα σε χλώριο ελέγχεται σε όλα τα συστήματα όπως και η περιεκτικότητα της λάσπης σε νερό, όταν αυτό δεν αποτελεί το βασικό συστατικό της. Αξιοσημείωτες αλλαγές είναι δυνατόν να υποδεικνύουν την είσοδο νερού από τον σχηματισμό άρα, άλλαξε η πίεση και χρειάζεται αύξηση του ειδικού βάρους της λάσπης.⁴

6.4 Λιθολογία και ορυκτολογία

Η λιθολογία και η ορυκτολογία των πετρωμάτων μπορούν να αλλάξουν μόλις συναντήσουν κάποιο ρήγμα. Υπάρχουν κάποιες σημαντικές ενδείξεις ώστε να καταλάβει έγκαιρα ο γεωτρυπανιστής ότι πλησιάζει σε κάποιο ρήγμα και έτσι να μπορέσει να ρυθμίσει το ειδικό βάρος της λάσπης για να προλάβει πιθανά προβλήματα. Όταν θερμό νερό με υψηλή περιεκτικότητα σε διαλυμένα άλατα, διασχίζει κατά μήκος ρήγματα καθώς αυτά αναπτύσσονται. Όταν όμως το νερό κινηθεί σε ψυχρότερες περιοχές τα άλατα αποτίθενται κλείνοντας σιγά σιγά τους πόρους των πετρωμάτων, αυτό γίνεται αντιληπτό και λειτουργεί ως ένδειξη από τα θρύμματα που ανέρχονται στην επιφάνεια. Άλλη μια ένδειξη είναι η αλλαγή στις πιέσεις των πόρων που παρατηρείται στις ζώνες ρήγματος.⁴

6.5 Ολικό αέριο (Total Gas) και Γεωθερμική βαθμίδα (normal geothermal gradient)

Στα ρευστά των γεωτρήσεων που ανέρχονται στην επιφάνεια υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις που δείχνουν την «κινητικότητα» της ισοδύναμης σχέσης της πυκνότητας της λάσπης και της πίεσης των πόρων. Η συγκέντρωση του ολικού αερίου που μετριέται στις αργίλους καθιέρωσε τη βασική συγκέντρωση (baseline level) ή το βασικό επίπεδο. Αυτό χρησιμεύει στην παρακολούθηση της πίεσης των πόρων, υποθέτοντας ότι τα υγρά των πόρων των αργιλικών βρίσκονται σε ισορροπία με τον κάθε γειτονικό διαπερατό ψαμμίτη.



Σχ. 6.1 Σχηματική περιγραφή των μεταβολών στις παραμέτρους της γεώτρησης και του mud logging με το βάθος υπό συνθήκες κανονικής πίεσης και συνθήκες γεωπιέσεων

Πηγή: http://petrowiki.org/Mud_logging

Εξήγηση εικόνας: Δείχνει πόσο οι τάσεις των διάφορων παραμέτρων εξαρτώνται από την πίεση των πόρων και το βάθος. Για αυτό παρακολουθούνται και καταγράφονται ώστε να γίνει ευκολότερα αντιληπτή η μετάβαση από ζώνες κανονικής πίεσης σε ζώνες πίεσης (**γεωπίεση – geopressure**, με τον όρο αυτό υποδεικνύεται η ανωμαλία στην πίεση των πόρων των πετρωμάτων είτε ψηλότερη είτε χαμηλότερη). Η ταχύτητα διείσδυσης (ROP), ο δείκτης διάτρησης (d_c – exponent), η πυκνότητα των αργιλικών θρυμμάτων και το βασικό ολικό αέριο ακολουθούν μια συγκεκριμένη πορεία με το βάθος. Επιτυχημένες προσπάθειες έχουν γίνει για την απευθείας μέτρηση της πίεσης των πόρων αλλά συνήθως είναι για τους σχηματισμούς με κανονική πίεση πόρων. Στην περίπτωση απόκλισης από την κανονική πίεση, καθίσταται αναγκαίο να γίνει συσχέτιση των νέων δεδομένων που ελήφθησαν με τα γενικότερα δεδομένα που υπάρχουν για την συγκεκριμένη ιζηματογενή λεκάνη που διατρήσουμε, με στόχο την καλύτερη εκτίμηση της πίεσης των πόρων. Μια από τις υπηρεσίες του mud logging περιλαμβάνει την εκτενή μελέτη της πίεσης των πόρων.

Όταν υπάρχει μια μικρή εισροή αερίου μέσα στο ρευστό της γεώτρησης κατά την σύνδεση ή πρόσθεση κάποιου διατρητικού στελέχους, αυτό το αέριο ονομάζεται **connection gas**. Μόλις εμφανιστεί και εντοπιστεί το connection gas έχει ως αποτέλεσμα η ολική πίεση να μειώνεται και ως αντιστάθμιση χρειάζεται να αυξηθεί το ειδικό βάρος της λάσπης.

Η κανονική γεωθερμική βαθμίδα μπορεί να μεταβάλλεται στις ζώνες πίεσης (**geopressures**). Άλλες θερμικές ανωμαλίες όπως η εγγύτητα σε δόμους αλατιών (εβαπορίτες), μπορεί να αλληλεπιδράσει με το φαινόμενο αυτό. ^{4, 17}

6.6 Έλεγχος της ταχύτητας- ρυθμού επιστροφής των θρυμμάτων

Η παρακολούθηση και ο έλεγχος της ταχύτητας επιστροφής των θρυμμάτων στην επιφάνεια μέσω του ρευστού της γεώτρησης επιβάλλεται, διότι χάρη σε αυτόν επικείμενα προβλήματα μπορούν να αποφευχθούν λόγω έγκαιρης αντιμετώπισης από τους γεωτρυπανιστές. Ένα από τα επικείμενα προβλήματα είναι ο απρεπής καθαρισμός της οπής της γεώτρησης με αποτέλεσμα θρύμματα να παραμένουν μέσα στην οπή, αυτό το φαινόμενο παρατηρείται κυρίως σε κεκλιμένες γεωτρήσεις με την δημιουργία ενός είδος στρώματος από θρύμματα στη κάτω πλευρά της γεώτρησης. Το στρώμα αυτό με την σειρά του προκαλεί προβλήματα στην περιστροφική κίνηση του γεωτρύπανου και στην καταστροφή του κοπτικού άκρου. Προβλήματα μπορούν να προκληθούν και από την αύξηση της ταχύτητας επιστροφής η οποία δείχνει ως επί το πλείστον την παρουσία αργίλων, αρκεί η διόρθωση του ειδικού βάρους της λάσπης για την αντιμετώπιση του προβλήματος, άλλη αιτία της αύξησης της ταχύτητας είναι οι ακραίες συνθήκες έκπλυσης (**washout**). Τέτοιες συνθήκες δημιουργούνται όταν το ρευστό της γεώτρησης διαφύγει μερικώς προς τους σχηματισμούς λόγω ανεπαρκούς σύσφιξης των συνδέσεων στις διατρητικές στήλες, παράλληλα συμβαίνει και με μείωση της πίεσης στη διατρητική στήλη όχι όμως και απαραίτητα και στο κατώτερο μέρος του δακτυλοειδούς διαστήματος (lower annulus). Ο Naegel et al¹² πρότεινε και κατασκεύασε μια συσκευή για το συνεχή υπολογισμό του βάρους των θρυμμάτων καθώς αυτά επιστρέφουν στα κόσκινα και την σύγκριση του βάρους αυτών με αυτού που θα αναμενόταν για μια δεδομένη ταχύτητα διεύδυσης και για έναν δεδομένο ρυθμό εισαγωγής της λάσπης στη γεώτρηση. ^{4, 17}

7. Mud Logging Theory and Lag Time

Η θεωρία του mud logging βασίζεται κυρίως στην κυκλοφορία της λάσπης. Η λάσπη προσροφάται από τους λάκκους της λάσπης (mud pits) και αντλείται μέσω των διατρητικών στελεχών στο κάτω μέρος της οπής. Στη συνέχεια ανεβαίνει ενάντια στη βαρύτητα μέσω του δακτυλοειδούς διαστήματος (annulus) στην επιφάνεια στα δονούμενα κόσκινα. Ο χρόνος που απαιτείται για να ανέλθουν τα θρύμματα που διατρήθηκαν στην επιφάνεια από ένα συγκεκριμένο βάθος, είναι ίσος με τον χρόνο που χρειάζεται για την άντληση του συνολικού όγκου της λάσπης όπου την συγκεκριμένη χρονική στιγμή βρίσκεται μέσα σε αυτό το βάθος. Αυτός ο χρόνος είναι γνωστός ως Lag Time (χρόνος υστέρησης) και μετράται σε λεπτά ή σε χτύπους (lag strokes). Ο υπολογισμός και η πρακτική εφαρμογή του lag time είναι πρωτίστης

σημασίας για το mud logging εφόσον συνδέεται με όλα τα δεδομένα που μεταφέρει η λάσπη στην επιφάνεια της γεώτρησης. Παράγοντες όπως ο ρυθμός ροής της λάσπης, η διαμόρφωση του πηγαδιού της γεώτρησης (τα βάθη και τα μεγέθη των τμημάτων της οπής) και οι διαστάσεις των διατρητικών στελεχών του γεωτρήπανου καθορίζουν το lag time. [5](#), [14](#), [16](#), [17](#)

Ορισμοί του Lag :

- Είναι ο χρόνος που η λάσπη χρειάζεται για να διανύσει απόσταση μεταξύ δυο σημείων.
- Είναι ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει η λάσπη από την επιφάνεια κάτω στον πυθμένα της οπής και αναφέρεται ως **Lag down** ή ως **Lag in**.
- Είναι ο χρόνος που πρέπει να παρέλθει ώστε η λάσπη να φτάσει από τον πυθμένα στην επιφάνεια και αναφέρεται ως **Lag – up** ή ως **bottoms' up**.
- Ο χρόνος για να κάνει η λάσπη έναν κύκλο κυκλοφορίας από την επιφάνεια να ξανά φτάσει την επιφάνεια αναφέρεται ως **In/Out Time** ή αλλιώς **Complete Cycle**.

Είναι πρακτικότερο να υπολογίζεται ο lag time σε χτύπους (lag strokes) καθώς ο ρυθμός ροής δεν είναι πάντα σταθερός. Επίσης μπορεί να υπολογιστεί και σε μονάδες χρόνου (minutes) αλλά αυτό είναι ακόμα πιο ανακριβές και οδηγεί πολλές φορές σε σφάλματα, διότι ο χρόνος συνεχίζει να περνάει και να καταγράφεται όταν οι αντλίες είναι εκτός λειτουργίας λόγω σύνδεσης. Το lag time αλλάζει καθώς αυξάνεται το βάθος της γεώτρησης. Για να υπολογιστεί το lag πρέπει να είναι γνωστές οι διαστάσεις της οπής και των διατρητικών στελεχών. Οι περισσότερες οπές έχουν τουλάχιστον δυο διαφορετικές διαμέτρους και προς το τέλος της γεώτρησης μπορεί να έχουν και περισσότερες (αυτή του μετώπου, αυτή της σωλήνωσης, , αυτής των ασωλήνων των τμημάτων). Το ίδιο συμβαίνει και με τις διαφορετικές διαμέτρους των διατρητικών στελεχών (απλά διατρητικά στελέχη, αντίβαρα, βαριά διατρητικά στελέχη κ.α.). Το lag time επηρεάζεται από τις αλλαγές στην ταχύτητα άντλησης της λάσπης. Το **lag time** καθορίζεται από την **χωρητικότητα του annular** ή **όγκο του annular**, από την **ταχύτητα κυκλοφορίας του ρευστού** δηλαδή από το mud flow rate και τον **όγκο μέσα στα διατρητικά στελέχη και στα αντίβαρα**. [5](#), [14](#), [17](#)

Δυο τεχνικές μπορούν να εφαρμοστούν για τον υπολογισμό του όγκου του **annular**.

- 1) Στη πρώτη μέθοδο τα μήκη και οι διαστάσεις του κάθε τμήματος του annulus είναι καθορισμένα, και έτσι υπολογίζονται οι ανάλογοι όγκοι. Στη συνέχεια οι εξισώσεις του lag εφαρμόζονται για να προσδιορίσουν την ισοδυναμία του χρόνου με τα χτυπήματα.

- 2) Στη δεύτερη μέθοδο για να υπολογιστεί ο όγκος του annular λαμβάνονται υπόψιν η εσωτερική διάμετρος που έχει η οπή, η διάμετρος που έχουν οι σωληνώσεις και η εξωτερική διάμετρος των διατρητικών στελεχών και των αντιβάρων και τέλος τα μήκη τους. Στη συνέχεια υπολογίζονται ο όγκος της οπής και των διατρητικών στελεχών και έπειτα αφαιρούνται οι όγκοι ώστε να καθοριστεί το lag time και τα χτυπήματα (strokes) για ολόκληρο το πηγάδι της γεώτρησης.

Περισσότερο προτιμητέα είναι η πρώτη μέθοδος διότι ενημερώνει τον mud logger για την ακριβή φύση των διάφορων τμημάτων του annular και των επιμέρους όγκων τους.

Όταν χρησιμοποιούνται τα off-line mud logging units η αύξηση με το βάθος, θα πρέπει να υπολογίζεται για ένα δεδομένο μήκος της οπής βάση του όγκου του annular της οπής με τα διατρητικά στελέχη που αυτή περιλαμβάνει. Αυτό θα πρέπει να προστεθεί στο συνολικό όγκο του annular ώστε να ενημερώσει τον υπολογισμό του lag time για το ισχύον βάθος. Στους On-Line logging units αυτό υπολογίζεται αυτόματα και προστίθεται καθώς το βάθος αυξάνει. Όπως ήδη αναφέρθηκε το lag time έχει μεγαλύτερη ακρίβεια όταν μετριέται σε χτύπους (**pump strokes**).^{14, 17} Ο όγκος όλης της λάσπης (αυτής που υπάρχει στα διατρητικά στελέχη, στα αντίβαρα και στο annular) διαιρείται με την παροχή αντλιών (pump output), ώστε να προκύψει ο συνολικός χρόνος κυκλοφορίας (**Total Circulation Time**). Ο όγκος στο εσωτερικό των διατρητικών στελεχών και στα αντίβαρα διαιρείται με το pump output και υπολογίζεται έτσι ο **Down- Hole Circulation Time**. Από την αφαίρεση του Down- Hole Circulation Time από τον Total Circulation Time προκύπτει ο **Lag Time Up** ή ο **Hole Circulation Time**.⁵

7.1 Εξισώσεις - ισοδυναμίες που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του lag time:

1) Μετατροπή των βαρελιών → γαλόνια : Gallons (gal) = Barrels $\hat{\times}$ 42

2) Μετατροπή των γαλονιών → βαρέλια : Barrels (bbl) = Gallons , 42

3) Υπολογισμός του όγκου της οπής της γεώτρησης (pipe volume):

$$\text{Pipe volume (bbl)} = \frac{(\text{Pipe} / \text{Collar ID}^2) * \text{Length(ft)}}{1029}$$

1029

4) Υπολογισμός του όγκου του annular :

$$\text{Annular Volume (bbl)} = \frac{(\text{Hole} / \text{Casing ID}^2 - \text{Pipe} / \text{Collar OD}^2 * \text{Length (ft)}}{1029}$$

1029

ID = εσωτερική διάμετρος

OD = εξωτερική διάμετρος



Σχ. 7.1 Σχηματική απεικόνιση της εσωτερικής και της εξωτερικής διαμέτρου

5) Υπολογισμός του lag σε χτύπους (strokes) :

$$\text{Lag (in strokes)} = \frac{\text{Annular Volume (bbl)}}{\text{Pump Output (bbl/stk)}}$$

6) Υπολογισμός του lag σε λεπτά (minutes) :

$$\text{Lag (in minutes)} = \frac{\text{Lag (in strokes)}}{\text{Pump Rate (spm)}}$$

Παράδειγμα υπολογισμού του Lag Time :

Δεδομένα : Pump Output = 0,123 bbls/stroke

Pump Rate = 75 spm

Drillpipe = 5'' OD 4,276'' ID length 8075'

Heavy-weight drillpipe = 5'' OD 3,000'' ID length 275'

Drill collars = 8''OD 2,813'' ID length 650'

Casing (σωλήνωση) = 13 3/8'' OD 12,415'' ID length 3500

Open hole = 12,25''OD

TD = 900'

Ερωτήματα : 1. Υπολογισμός του όγκου της λάσπης στα drillpipe, heavy-weight drillpipe, drill collars.

2. Υπολογισμός του όγκου του annular σε κάθε τμήμα

3. Υπολογισμός του ολικού όγκου του annular

4. Υπολογισμός του Lag Time σε λεπτά

Λύση: 1. Για τον όγκο στο drillpipe = $(4,276^2 / 1029) * 8075 = 143,5$ bbls

Αυτό προκύπτει από τον τύπο : $\text{volume (bbl)} = \frac{(\text{Drillpipe ID}^2) * \text{Length(ft)}}{1029}$

1029

Αντίστοιχα και για τον όγκο στο Heavy-weight drillpipe = $(3^2 / 1029) * 275 = 2,4$ bbls

Και τέλος για τον όγκο στο Drill collars = $(2,813^2 / 1029) * 650 = 5$

Η πρόσθεση και των τριών μας δίνει $143,5 + 2,4 + 5 = 150,9$ bbls

2. Για τον υπολογισμό του annular σε κάθε τμήμα έχουμε:

Casing – Drillpipe: $((12,145^2 - 5^2) / 1029) * 3500 = 439,2$ bbls

Αυτό προκύπτει από : $\text{Volume (bbl)} = \frac{((\text{Casing ID}^2 - \text{DrillPipe}) / \text{Collar OD}^2) * \text{Length(ft)}}{1029}$

Αντίστοιχα και για τα :

Open hole – Drillpipe: $((12,25^2 - 5^2) / 1029) * 4575 = 556$ bbls

Open hole - Heavy Weight: $((12,25^2 - 5^2) / 1029) * 275 = 33,4$ bbls

Open hole - Drill collars: $((12,25^2 - 8^2) / 1029) * 650 = 54,4$ bbls

3. Προσθέτωντας όλα αυτά βρίσκουμε τον ολικό όγκο στο annular = $439,2 + 556 + 33,4 + 54,4 = 1083$ bbls

4. Πρώτα γίνεται ο υπολογισμός του Lag Time σε χτύπους και μετά σε λεπτά

- Σε χτύπους : $1083 / 0,123 = 8805$ χτύποι
- Σε λεπτά : $8805 / 75 = 117,4$ λεπτά [14](#), [17](#)

7.2 Υπολογισμός του Lag Time με την προσθήκη ιχνηθέτη (tracer)

Εκτός του τρόπου που αναφέρθηκε παραπάνω το Lag Time μπορεί να υπολογιστεί και με την προσθήκη μέσα στη λάσπη, πριν αυτή εισαχθεί στην γεώτρηση, ενός **ιχνηθέτη (tracer)**. Εφόσον αυτός προστεθεί στη λάσπη καταγράφεται ο χρόνος που πέρασε μέχρι να ξαναεμφανιστεί στην επιφάνεια της γεώτρησης. Ο συνολικός χρόνος παραμονής του ιχνηθέτη μέσα στη λάσπη δίνεται από τον τύπο :

$$t_t = t_s + t_{dp} + t_{an}$$

Όπου ο t_t είναι ο συνολικός χρόνος άντλησης της λάσπης με τον ιχνηθέτη που έχει προστεθεί ο χρόνος αυτός μετράται από την στιγμή της εισαγωγής της λάσπης στη γεώτρηση μέχρι να φτάσει στα κόσκινα.

Ο t_s είναι ο χρόνος παραμονής του ιχνηθέτη στις επιφανειακές σωληνώσεις, από το σημείο της πρόσθεσης μέχρι το πάνω διατρητικό στέλεχος (Kelly).

Ο t_{dp} είναι ο χρόνος παραμονής του ιχνηθέτη στη διατρητική στήλη (drill pipes).

Ο t_{an} είναι ο χρόνος παραμονής του ιχνηθέτη μέσα στο annulus (δακτυλιοειδές διάστημα), δηλαδή μεταξύ της σωλήνωσης της γεώτρησης και της διατρητικής στήλης και ισοδυναμεί με το Lag Time, το χρόνο μεταφοράς των θρυμμάτων από το κοπτικό άκρο στα κόσκινα (shale shakers). Ο όγκος της λάσπης μέσα στη διατρητική στήλη από το σημείο εισόδου της στην επιφάνεια μέχρι το σημείο του κοπτικού άκρου υπολογίζεται από τις εσωτερικές διαμέτρους και το μήκος των επιμέρους στελεχών (drillpipe, heavyweight drillpipe, drill collars).

$$\text{Άρα ισχύει : } t_s + t_{dp} = (V_s + V_{dp}) / q$$

$$\text{Από την παραπάνω εξίσωση συνεπάγεται ότι : } t_{an} = t_t - (V_s + V_{dp}) / q$$

Όπου q είναι η παροχή των αντλίων της λάσπης και μετριέται σε bbls/strokes, όπου το V_s ισούται με τον εσωτερικό όγκο των επιφανειακών σωληνώσεων από το σημείο προσθήκης του ιχνηθέτη στην επιφάνεια μέχρι το Kelly, και τέλος V_{dp} το οποίο ισούται με τον εσωτερικό όγκο των διατρητικών στελεχών, το V_s και το V_{dp} μετριοούνται σε bbls. [1](#) [5](#)

7.3 Διόρθωση του Lag Time

Η διόρθωση του Lag είναι ζωτικής σημασίας για τον γεωλόγο που εξετάζει και περιγράφει τα δείγματα και τις εμφανίσεις των υδρογονανθράκων, γιατί με διορθωμένο το Lag γίνεται σωστά η αντιστοίχιση των δειγμάτων με το βάθος από όπου ήρθαν. Αν το τμήμα της ανοιχτή οπής είναι μετρημένο με ακρίβεια (χωρητικότητα, διάμετρος, μήκος), τότε το πραγματικό Lag είναι ίδιο με το υπολογισμένο Lag. Αυτό συμβαίνει σπάνια γιατί στη πραγματικότητα τα περισσότερα τμήματα των εβαποριτών (γενικά των πετρωμάτων πλούσια σε άλατα) και μερικών αργίλων έχουν την τάση να εκπλένονται (**washout**). Ως εκ τούτου χρησιμοποιείται το **carbide (καρβίδιο του ασβεστίου)**, το οποίο είναι ένας ιχνηθέτης, για τον έλεγχο του Lag, ώστε να προσδιορίζεται το σωστό Lag Time. Η διαδικασία για το carbide Lag είναι η εξής : Αρχικά τυλίγεται σε μια χάρτινη πετσέτα μια ποσότητα στερεού καθαρού καρβιδίου και τοποθετείται στο εσωτερικό του σωλήνα της γεώτρησης σε μια σύνδεση. Η δράση του νερού πάνω στο καρβίδιο του ασβεστίου απελευθερώνει ακετυλένιο αέριο (acetylene C_2H_2) το οποίο κυκλοφορεί έξω από το σύστημα και ανιχνεύεται από τον GD (Gas Detector) και αναλύεται από τον THA (Total Hydrocarbon Analyzer). Εφόσον το αέριο ταξιδεύει μέχρι κάτω στο κοπτικό άκρο και στη συνέχεια φτάνει στην επιφάνεια είναι απαραίτητο να υπολογιστούν:

- 1) ο αριθμός των χτύπων από την επιφάνεια μέχρι το πυθμένα
- 2) ο συνολικός αριθμός των χτύπων από την έναρξη της λειτουργίας της αντλίας μέχρι να φτάσει το αέριο στην επιφάνεια.

Έπειτα αφαιρείται ο πρώτος αριθμός (1) από τον δεύτερο (2), το αποτέλεσμα των χτύπων είναι ο πραγματικός Lag Time.

Πέρα από τους τακτικούς carbide ελέγχους για το Lag, έλεγχοι θα πρέπει να γίνονται για οποιονδήποτε λόγο, π.χ. όταν τα θρύμματα δεν αντιστοιχούν με τον ρυθμό διάτρησης σύμφωνα με τον οποίον θα έπρεπε να εμφανίζονται ή το συνδετικό αέριο (connection gas) δεν εμφανίζεται στη σωστή ώρα. Αν για κάποιο λόγο το carbide δεν είναι διαθέσιμο τότε ο έλεγχος του Lag μπορεί να διεξαχθεί χρησιμοποιώντας ρύζι ή φακές. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι πρέπει να παρακολουθούνται τα κόσκινα (shakers) για το πότε θα εμφανιστεί το ρύζι ή οι φακές.

Οι τιμές για την ανάβαση στην επιφάνεια μέσω του annulus διαφέρουν για τα αέρια και για τα θρύμματα, καθώς τα θρύμματα έχουν την τάση να γλιστρούν προς τα πίσω λόγω της ταχύτητας ολίσθησης. Η ταχύτητα ολίσθησης εξαρτάται από το μέγεθος των θρυμμάτων, από την πυκνότητα της λάσπης, από την ταχύτητα ροής και τέλος από το μέγεθος της οπής. [14](#), [17](#)

8. Η ασφάλεια και τα περιβαλλοντικά ζητήματα

Διάφορες παράμετροι που μετρήθηκαν για την αξιολόγηση των σχηματισμών, για τον έλεγχο των λειτουργιών και του εξοπλισμού της γεώτρησης λειτουργούν επιπλέον ως δείκτες για τις συνθήκες ασφάλειας στο χώρο εργασίας και για τις επιπτώσεις στο περιβάλλοντα χώρο. Προβλήματα στην ασφάλεια είναι π.χ. η απότομη αλλαγή του πορώδους μπορεί να προκαλέσει απώλεια ελέγχου της γεώτρησης. Οποιαδήποτε απώλεια ελέγχου της γεώτρησης που οδηγεί στην απελευθέρωση υδρογονανθράκων θέτει σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Η παρακολούθηση του περιβάλλοντος χώρου για την ύπαρξη φυσικού αερίου γίνεται για λόγους υγείας αλλά και για λόγους πυρασφάλειας. Απαραίτητη είναι η παρακολούθηση η συγκέντρωση του υδρόθειου (H_2S) για την υγεία διότι είναι τοξικό σε μεγαλύτερες από τις επιτρεπτές συγκεντρώσεις. Το υδρόθειο μπορεί να ανιχνευθεί με τον GC (Gas Chromatography), με τον MS (Mass Spectrometer), με τον TCD (Thermal Conductivity Detector), αλλά όχι με τον FID (Flame Ionization Detector). Η Delphian Mud Duck η οποία χρησιμοποιεί έναν ηλεκτροχημικό αισθητήρα, μπορεί και ελέγχει το διαλυμένο H_2S , HS, S_2 δίνοντας έτσι την ολική περιεκτικότητα του υγρού της γεώτρησης σε σουλφίδια. Αυτό το εργαλείο παρακολουθεί το σουλφίδιο προτού αυξηθεί η συγκέντρωση του σε σημείο που να

απελευθερώνεται H_2S από την λάσπη. Τέλος χρησιμοποιούνται Draeger σωλήνες για την επιτόπια μέτρηση του υδρόθειου ή για τον έλεγχο άλλων συσκευών ανίχνευσης. ^{4, 16}



Σχ. 8.1 Το σύστημα Mud Duck

Πηγή: <http://www.continentallabs.ca/mudduck.htm>

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) http://petrowiki.org/Cuttings_analysis_during_mud_logging
- 2) http://petrowiki.org/Formation_evaluation_during_mud_logging
- 3) http://petrowiki.org/Hydrocarbon_analysis_during_mud_logging
- 4) http://petrowiki.org/Mud_logging
- 5) Γεωργακόπουλος Α., Κοιτασματολογία Πετρελαίου, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας
- 6) Τσιραμπίδης Α. (2008), Ιζηματογενή Πετρώματα, Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη
- 7) Beeunas, M.A. et al. 1996. Application of Gas Geochemistry for Reservoir Continuity Assessment, Gulf of Mexico. Presented at the 1996 AAPG/EAGE Research Symposium on Compartmentalized Reservoirs: Their Detection, Characterization and Management, 20–23 October.
- 8) Boone, D.E. 1985. Gas Volumetric Analysis. Petroleum Engineer Intl. (August).
- 9) Ehrenberg, S.N. and Siring, E. 1992. Use of Bulk Chemical Analyses in Stratigraphic Correlations of Sandstones: An example from the Statfjord Nord Field, Norwegian Continental Shelf. J. of Sedimentary Petrology 62 (2): 318-330.
<http://archives.datapages.com/data/sepm/journals/v59-62/data/062/062002/0318.htm>
- 10) Haworth, J.H., Sellens, M., and Whittaker, A. 1985. Interpretation of Hydrocarbon Shows Using Light (C1-C5) Hydrocarbon Gases from Mud-Log Data. AAPG Bulletin 69 (8): 1305-1310.
- 11) Jorden, J.R. and Shirley, O.J. 1966. Application of Drilling Performance Data to Overpressure Detection. J Pet Technol 18 (11): 1387-1394.
<http://dx.doi.org/10.2118/1407-PA>.
- 12) Naegel, M., Pradie, E., Delahaye, T. et al. 1998. Cuttings Flow Meters Monitor Hole Cleaning in Extended Reach Wells. Presented at the European Petroleum Conference, The Hague, Holland, 20–22 October. SPE-50677-MS.
<http://dx.doi.org/10.2118/50677-MS>.
- 13) Pearce, T.J. and Jarvis, I. 1992. Applications of Geochemical Data to Modeling Sediment Dispersal Patterns in Distal Turbidites: Late Quaternary of the Madeira Abyssal Plain. J. of Sedimentary Petrology 62 (6): 1112-1129.
<http://archives.datapages.com/data/sepm/journals/v59-62/data/062/062006/1112.htm>
- 14) Petro – Services 2012, Basic Mud Logging Guide
- 15) Pixler, B.O. 1969. Formation Evaluation by Analysis of Hydrocarbon Ratios. J Pet Technol 21 (6): 665-670. SPE-2254-PA. <http://dx.doi.org/10.2118/2254-PA>

- 16) Schlumberger (2014), The Expanding Role of Mud Logging – Oil Field Review
- 17) Sperry – Sun (2013), Drilling Services, Basic Mud Logging
- 18) Wright, A.C., Hanson, S.A., and Delaune, P.L. 1993. A New Quantitative Technique for Surface Gas Measurements. Presented at the 1993 SPWLA Annual Logging Symposium, 13–16 June. <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPWLA-1993-A>.