



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΝΙΚΟΛΑΟΣ Α. ΑΣΤΕΡΙΑΔΗΣ

Basic Mud Logging and Mud Properties





ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
Drilling Process (Διαδικασία Διάτρησης)	5
Drilling (Διάτρηση)	5
Coring (Πυρηνοληψίες)	6
Tripping (Ανέλκυση)	6
Casing (Σωλήνωση) - Cementing (Τσιμέντωση)	7
Fishing ("Ψάρεμα")	8
Wireline Logging (Κατακόρυφες Διαγραφίες)	8
Drilling Fluid Properties (Ιδιότητες των Ρευστών Διάτρησης)	8
Drilling Fluid Types (Τύποι Ρευστών Διάτρησης)	10
Mud Circulating System (Σύστημα Κυκλοφορίας Λάσπης)	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. MUD PROPERTIES	15
Mud Weight (density) (Ειδικό βάρος - Πυκνότητα Ρευστού)	15
Mud Viscosity (Ιξώδες Λάσπης)	16
Gel Strengths	19
Filtration (Τεστ Φιλτραρίσματος)	20
Fluid Loss (Απώλειες Ρευστών)	21
Sand Content (Περιεχόμενη Άμμος)	22
Drilling Fluid pH (pH ρευστού διάτρησης)	23
Chloride Content (Περιεχόμενο Χλώριο - Αλατότητα)	23
Total Hardness (calcium content) - Ολική σκληρότητα, περιεχόμενο ασβέστιο	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. BASIC MUD LOGGING SERVICE	25
Data Engineer, Mud Logger & Sample Catcher	26
Εξοπλισμός Καμπίνας Mud Logging	30
Lag Calculations (Υπολογισμός χρόνου ανόδου - καθόδου λάσπης)	32
Sample Collection and Description (Συλλογή και Περιγραφή δειγμάτων)	34
Collecting cuttings samples (Συλλογή θρυμμάτων)	34
Washing the cuttings (Πλύσιμο θρυμμάτων)	36
Sample description (Περιγραφή δειγμάτων)	37
Routine Hydrocarbon Detection Methods (Τεστ - Δοκιμές Υδρογονανθράκων)	42
Abbreviations (Συντομογραφίες)	46
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	25



Περίληψη

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η σύντομη αλλά περιεκτική περιγραφή βασικών εννοιών που αφορούν γενικότερα τις γεωτρήσεις πετρελαίου και φυσικού αερίου και ειδικότερα τις ιδιότητες των ρευστών διάτρησης αλλά και την υπηρεσία mud logging (διαγραφίες πολφού λάσπης). Γίνεται μία ομαλή μετάβαση από τις γενικές αρχές κυκλοφορίας των ρευστών σε μία γεώτρηση φτάνοντας στον τρόπο με τον οποίο ακολουθείται η μελέτη στην καμπύνα Mud log της εξέδρας και εν τέλει δίδονται παραδείγματα, αποτελέσματα και εκθέσεις πραγματικών γεωτρήσεων.

Υπεύθυνος για την συγγραφή και εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας ήταν ο καθηγητής Γεωργακόπουλος Ανδρέας του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Drilling Process (Διαδικασία Διάτρησης)

Οι γεωτρήσεις πετρελαίου και φυσικού αερίου φαίνονται, εκ πρώτης όψεως, ως μία σχετικά απλή διαδικασία διάνοιξης υπόγειας οπής, έως ότου επιτευχθεί η διείσδυση σε ταμιευτήρα υδρογονάνθρακα. Ωστόσο, στην πραγματικότητα, η γεώτρηση υδρογονανθράκων πρόκειται για μία εξειδικευμένη διαδικασία που απαιτεί ακριβή και αποτελεσματική οργάνωση· ένα ευρύ φάσμα γνώσεων, ύπαρξη αδρού κεφαλαίου προς αγορά μηχανικού εξοπλισμού, καθώς επίσης και άρτια καταρτισμένο και αφοσιωμένο προσωπικό. Προκειμένου να γίνει κατανοητή η διαδικασία, είναι σημαντικό να αναλυθεί μία σειρά «ορισμών» για τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε μία γεώτρηση πετρελαίου ή και φυσικού αερίου.

Η διαδικασία διάτρησης περιλαμβάνει, λοιπόν, μία σειρά λειτουργιών που πραγματοποιούνται στην εξέδρα (rig) που είναι η διάτρηση (drilling), η πυρηνοληψία (coring), η ανέλκυση (tripping), η σωλήνωση (casing), η τσιμεντοποίηση (cementing), οι κατακόρυφες διαγραφίες (wireline loggings). Στην όλη διαδικασία εντάσσονται και τα προβλήματα που μπορούν να προκύψουν όπως ένας κολλημένος σωλήνας ή μια απώλεια κυκλοφορίας (loss of circulation).

1. Drilling (Διάτρηση)

Η οπή (πηγάδι – well) δημιουργείται με διάμετρο η τιμή της οποίας επηρεάζεται από πληθώρα χαρακτηριστικών που αφορούν το είδος της γεώτρησης, τα πετρογραφικά στοιχεία της περιοχής κ.ά. (συνήθως 127mm έως 914.4mm) ξεκινώντας από την εξέδρα (rig) με την περιστροφή της διατρητικής στήλης (drill string) στην οποία είναι προσαρμοσμένο το κοπτικό άκρο (bit). Απαραίτητα για την διεκπεραίωση της διαδικασίας αυτής είναι τα ρευστά της διάτρησης (drilling fluids) για τα οποία λόγος θα γίνει παρακάτω. Διακρίνονται δύο κύρια είδη διάτρησης, η κατακόρυφη διάτρηση (vertical drilling) και η κατευθυνόμενη διάτρηση (directional drilling). Η κατακόρυφη διάτρηση αποτελεί την πιο συχνή επιλογή των πετρελαϊκών και πρόκειται για την λιγότερο δαπανηρή. Από την άλλη η κατευθυνόμενη διάτρηση εξυπηρετεί σκοπούς που την καθιστούν ακριβότερη αλλά και χρησιμότερη.

- Αύξηση του μήκους της ζώνης εκμετάλλευσης ως αποτέλεσμα διάτρησης υπό γωνία
- Διάτρηση σε περιοχές όπου οι συνθήκες δεν επιτρέπουν vertical drilling, όπως σε ένα reservoir κάτω από μια κατοικημένη περιοχή.
- Εκκίνηση διάτρησης πολλαπλών πηγαδιών (wells) από κοινό σημείο με σκοπό την εξοικονόμηση κεφαλαίου σε περίπτωση όπου έχει υπολογιστεί εκ των προτέρων ότι θα χρειαστούν πολλαπλές διατρήσεις.

2. Coring (Πυρηνοληψίες)

Οι πυρήνες αποτελούν κυλινδρικά δείγματα των πετρωμάτων του υποβάθρου στο οποίο γίνεται η διάτρηση και διάνοιξη του πηγαδιού. Θεωρούνται εξαιρετικής σημασίας καθώς δια μέσω αυτών γίνεται η πρώτη άμεση πετρογραφική-στρωματογραφική παρατήρηση που μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες για το reservoir ενός πιθανού κοιτάσματος. Είναι μια αρκετά δαπανηρή διαδικασία και για αυτό τα λεγόμενα «καρότα» θα πρέπει να λαμβάνονται μόνο όταν απαιτούνται πολύ σημαντικές πληροφορίες. Οι δύο κύριοι τρόποι πυρηνοληψίας είναι οι πυρήνες πλήρους διαμέτρου (conventional coring) και η πλευρική πυρηνοληψία (sidewall coring). Κατά τον πρώτο, ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στο σημεία όπου λείπει ένα μέρος του πυρήνα που ανέρχεται ή είναι πολύ κατακερματισμένο πράγμα που μπορεί να αποδεικνύει reservoir ενός κοιτάσματος. Η πλευρική πυρηνοληψία από την άλλη θεωρείται πιο οικονομική καθώς δεν ανακτάται ένας μεγάλος πυρήνας ισάξιος με το βάθος της γεώτρησης αλλά μικρότερα κομμάτια που αποκόπτονται από τα πλαϊνά τοιχώματα του πηγαδιού.

3. Tripping (Ανέλκυση)

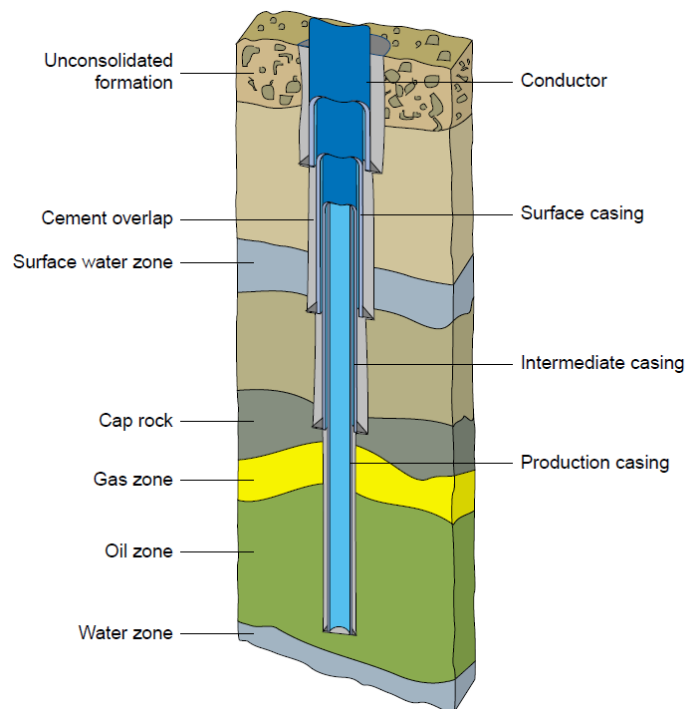
Αποτελεί ένα σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται κατά την διαδικασία αφαίρεσης ή αντικατάστασης σωλήνων στην γεώτρηση όταν είναι απαραίτητη η αλλαγή ενός κοπτικού άκρου (bit). Πρόκειται για μηχανικό σύστημα που απαρτίζεται από 5 επιμέρους στοιχεία: τον πύργο (derrick), ο οποίος συγκρατεί τη διατρητική στήλη, το κινητό σύστημα τροχαλιών (traveling block) και το σταθερό σύστημα τροχαλιών (crown block), τα οποία ανεβοκατεβάζουν την διατρητική στήλη, τα συρματόσχοινα (drilling line) και το βαρούλκο (drawworks).

4. Casing (Σωλήνωση) – Cementing (Τσιμέντωση)

Μετά τη διάνοιξη, στα τοιχώματα του πηγαδιού τοποθετούνται μεταλλικοί σωλήνες ελαφρώς μικρότερης διαμέτρου αυτής του πηγαδιού. Η σωλήνωση γίνεται σταδιακά και παράλληλα με τη διάνοιξη της γεώτρησης λαμβάνοντας τηλεσκοπικό σχήμα. Διακρίνονται οι εξής τύποι ανάλογα με το βάθος στο οποίο βρίσκεται η διάνοιξη :

- Σωλήνωση επαφής (conductor pipe) με σκοπό την υποστήριξη επιφανειακών, πιθανώς χαλαρών, υλικών.
- Επιφανειακή σωλήνωση (surface casing) που αποτελεί ουσιαστικά την πρώτη σωλήνωση μέσα στη γεώτρηση με σκοπό την υποστήριξη των γύρω χαλαρών σχηματισμών και την απομόνωση από υδροφόρους ορίζοντες.
- Ενδιάμεση σωλήνωση (intermediate casing) η χρήση της οποίας έγκειται στην προστασία ενάντια απώλειας κυκλοφορίας της λάσπης.
- Παραγωγική σωλήνωση (production casing) με σκοπό την απομόνωση των υδρογονανθράκων από τυχόν διαρροές ρευστών ή άλλων υλικών στο σύνολο της γεώτρησης.

Μετά την τοποθέτηση της σωλήνωσης σειρά έχει η τσιμέντωση. Πρόκειται για τοποθέτηση τσιμέντου στον δακτύλιο που σχηματίζεται μεταξύ των εξωτερικών τοιχωμάτων του casing και των τοιχωμάτων του πηγαδιού. Εξυπηρετεί σκοπούς στερέωσης και σύνδεσης της σωλήνωσης με τον περιβάλλοντα σχηματισμό.



Εικόνα 1.1 Drilling and Casing the Wellbore, *Industrimigas*, 2013.

Λόγω των πολύ υψηλών πιέσεων και δυνάμεων που ασκούνται κατά τη διάνοιξη της γεώτρησης, υπάρχει πάντα ο κίνδυνος για μηχανική βλάβη του εξοπλισμού. Συνηθέστερο πρόβλημα που προκύπτει είναι η διατρητική στήλη να κολλάει στην οπή. Η τεχνική της αφαίρεσης κομματιών του εξοπλισμού που είναι κολλημένα στην γεώτρηση ονομάζεται fishing. Πολλά από τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία αυτή είναι σχεδιασμένα ειδικά για κάθε διαφορετικό τμήμα του εξοπλισμού που μπορεί να χρειαστεί να αφαιρεθεί. Ωστόσο λόγω ύπαρξης μεγάλων ομοιοτήτων έχουν σχεδιαστεί εργαλεία "ψαρέματος" γενικής, κατά κάποιο τρόπο, χρήσης και χωρίζονται σε δύο ευρύτερες κατηγορίες. Εργαλεία ανάκτησης διαφόρων εξαρτημάτων και εργαλεία ανάκτησης σωλήνων.

6. Wireline Logging (Κατακόρυφες Διαγραφές)

Πρόκειται για επί τόπου, εις βάθους, συνεχείς μετρήσεις πετροφυσικών και δομικών στοιχείων των σχηματισμών που διαπερνά η γεώτρηση. Χαρακτηριστικό τους είναι η ταχεία ανάλυση πληροφοριών χρησιμοποιώντας κυρίως γεωφυσικές και ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους. Διακρίνονται δύο κύρια είδη κατακόρυφων διαγραφών :

- a) Open hole logs, οι οποίες γίνονται αμέσως μετά την όρυξη του πηγαδιού και προτού γίνει το casing. Οι συνήθεις μετρήσεις είναι ηλεκτρομαγνητικές και αφορούν αντίσταση (resistivity), ακτινοβολία gamma και πυκνότητα (density)
- b) Cased hole logs, οι οποίες δεν μπορούν να είναι ηλεκτρομαγνητικές διότι το σήμα διακόπτεται από την μεταλλική σωλήνωση. Εδώ πλέον γίνονται μετρήσεις που αφορούν κυρίως την τσιμέντωση και το casing.

Drilling Fluid Properties (Ιδιότητες των Ρευστών Διάτρησης)

Ως ρευστό διάτρησης ορίζεται το ρευστό που κυκλοφορεί σε μια περιστροφική διάτρηση με σκοπό την διεκπεραίωση όλων των απαραίτητων λειτουργιών σε μια γεώτρηση. Οι λειτουργίες αυτές είναι αρκετά περίπλοκες και η κατανόησή τους είναι απολύτως απαραίτητη για τη σωστή πορεία της διάτρησης.

1. Ψύξη του κοπτικού άκρου και λίπανση της διατρητικής στήλης.

Κατά τη διάτρηση, αναπτύσσονται σημαντικά ποσά θερμότητας λόγω τριβής κατά την επαφή του κοπτικού άκρου με τους σχηματισμούς του υπεδάφους. Η θερμότητα αυτή συσσωρεύεται και μεταδίδεται στο ρευστό που κυκλοφορεί και καταλήγει, εν τέλει, στην επιφάνεια όπου και διαχέεται. Το ρευστό αυτό επίσης λειτουργεί και ως λιπαντικό στο κοπτικό άκρο μειώνοντας τον συντελεστή τριβής του σχηματισμού-πετρώματος με το κοπτικό άκρο και την διατρητική στήλη. Δεδομένου ότι τα περισσότερα ρευστά γεώτρησης περιέχουν πρόσθετα (π.χ. μπεντονίτης και πολυμερή) για την βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων, δεν είναι απαραίτητη η χρήση περαιτέρω λιπαντικών εκτός δύσκολων ή και ασυνήθιστων συνθηκών, όπου και κρίνεται απαραίτητη (όπως σε μία περίπτωση πολύ υψηλών ροπών).

2. Μετάδοση υδραυλικής ιπποδύναμης στο κοπτικό άκρο.

Το ρευστό της διάτρησης είναι το μέσο με το οποίο μεταδίδεται, υδραυλικά, η ιπποδύναμη στο κοπτικό άκρο. Χρησιμοποιείται υγρό με ιξώδες που προσομοιάζει αυτό του νερού (καλείται ιξωδοελαστικό ρευστό γεώτρησης), το οποίο ελαχιστοποιεί τις απώλειες λόγω τριβής και μεγιστοποιεί την διαθέσιμη υδραυλική ιπποδύναμη στο κοπτικό άκρο.

3. Απομάκρυνση θρυμμάτων (cuttings) και καθαρισμός πυθμένα της οπής.

Το ρευστό εκτοξεύεται από τα ακροφύσια του κοπτικού άκρου με σκοπό να κρατήσει τον πυθμένα της οπής και τα δόντια του κοπτικού άκρου καθαρά από θρύμματα (cuttings). Σημειώνεται πως όπου επιλέγεται να μην γίνει πυρηνοληψία, την θέση της παίρνει η δειγματοληψία με θρύμματα (cuttings) που αποτελεί λιγότερο δαπανηρή διαδικασία αλλά όχι τόσο κατατοπιστική όσο οι πυρήνες. Όσο πιο εύκολα απομακρύνονται τα cuttings, τόσο λιγότερο φορτώνεται και βαραίνει το ρευστό και άρα επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή μετάδοση ιπποδύναμης στο κοπτικό άκρο, δηλαδή μέγιστη διατρητική ικανότητα.

Η απόδοση του ρευστού να καθαρίζει και να απομακρύνει θρύμματα καθορίζεται από τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται κατά την παρασκευή του (ρύθμιση ιξώδους και πυκνότητας). Για λόγους κόστους, η απόδοση αυτή πρέπει να είναι το δυνατόν χαμηλότερη ώστε η απομάκρυνση θρυμμάτων να είναι ιδανική για την μη μείωση της μετάδοσης ιπποδύναμης και άρα της διατρητικής ικανότητας.

4. Υποστήριξη των τοιχωμάτων του πηγαδιού.

Ένα ρευστό διάτρησης με τα κατάλληλα χαρακτηριστικά μπορεί να υποστηρίξει έναν σχηματισμό που υπό άλλες συνθήκες θα κατέρρεε και θα κατέστρεφε την γεώτρηση. Αυτού του είδους το ρευστό διάτρησης ή λάσπης (mud) (από 'δω και πέρα) επικαλύπτει τα τοιχώματα του πηγαδιού λειτουργώντας ως κονίαμα. Πιο αναλυτικά, αυτό που προκαλεί την στήριξη, είναι η υδροστατική δύναμη που ασκείται στα τοιχώματα, λόγω του ειδικού βάρους της λάσπης, το οποίο υπερνικά την πίεση που ασκούν οι σχηματισμοί. Μικρότερος είναι ο κίνδυνος σε σημεία που εμφανίζονται σκληροί και βραχώδεις σχηματισμοί καθώς αυτοί εμφανίζουν μικρότερη τάση να γλιστρήσουν. Αυτή η επίστρωση λάσπης που υποστηρίζει τα τοιχώματα ονομάζεται filter cake και έχει την ιδιότητα να «σφραγίζει» της γεώτρηση και να προλαμβάνει την απομάκρυνση του ρευστού από οποιαδήποτε πιθανή διαφυγή (π.χ. ένα ρήγμα).

5. Μεταφορά των θρυμμάτων (cuttings) στην επιφάνεια.

Η λάσπη, καθώς κινείται μέσα στην γεώτρηση, παρασέρνει και μεταφέρει, στην επιφάνεια, θραύσματα πετρωμάτων και κόκκους. Η ταχύτητα ανόδου της λάσπης κυμαίνεται από 100 έως 300 πόδια ανά λεπτό (ft/min) με σκοπό να διατηρείται η οπή μονίμως καθαρή. Τα στερεά κομμάτια που βρίσκονται μέσα στην λάσπη, δηλαδή τα cuttings, διαχωρίζονται στην επιφάνεια με καθίζηση, φυγοκέντρωση, χημική κροκίδωση (διαδικασία κατά την οποία τα στερεά τμήματα της λάσπης ενώνονται σχηματίζοντας ένα εύθραυστο δόμημα) ή συνδυασμό των παραπάνω.

Η απόδοση, που αναφέρθηκε προηγουμένως, του ρευστού, να καθαρίζει και να απομακρύνει θρύμματα, επηρεάζει επιπροσθέτως και την αποτελεσματικότητα των τεχνικών διαχωρισμού στερεής από υγρή φάση στην επιφάνεια. Η ιδιότητα αυτή ελέγχεται κυρίως από το ποσοστό μπεντονίτη που χρησιμοποιείται στην λάσπη, καθώς αυτός είναι που καθιστά το μίγμα κολλοειδές, και πρέπει να είναι τόσο υψηλό ώστε να επαρκεί για την ανάρτηση των θρυμμάτων, αλλά και τόσο χαμηλό ώστε να μπορεί να γίνει η απελευθέρωσή τους στην επιφάνεια.

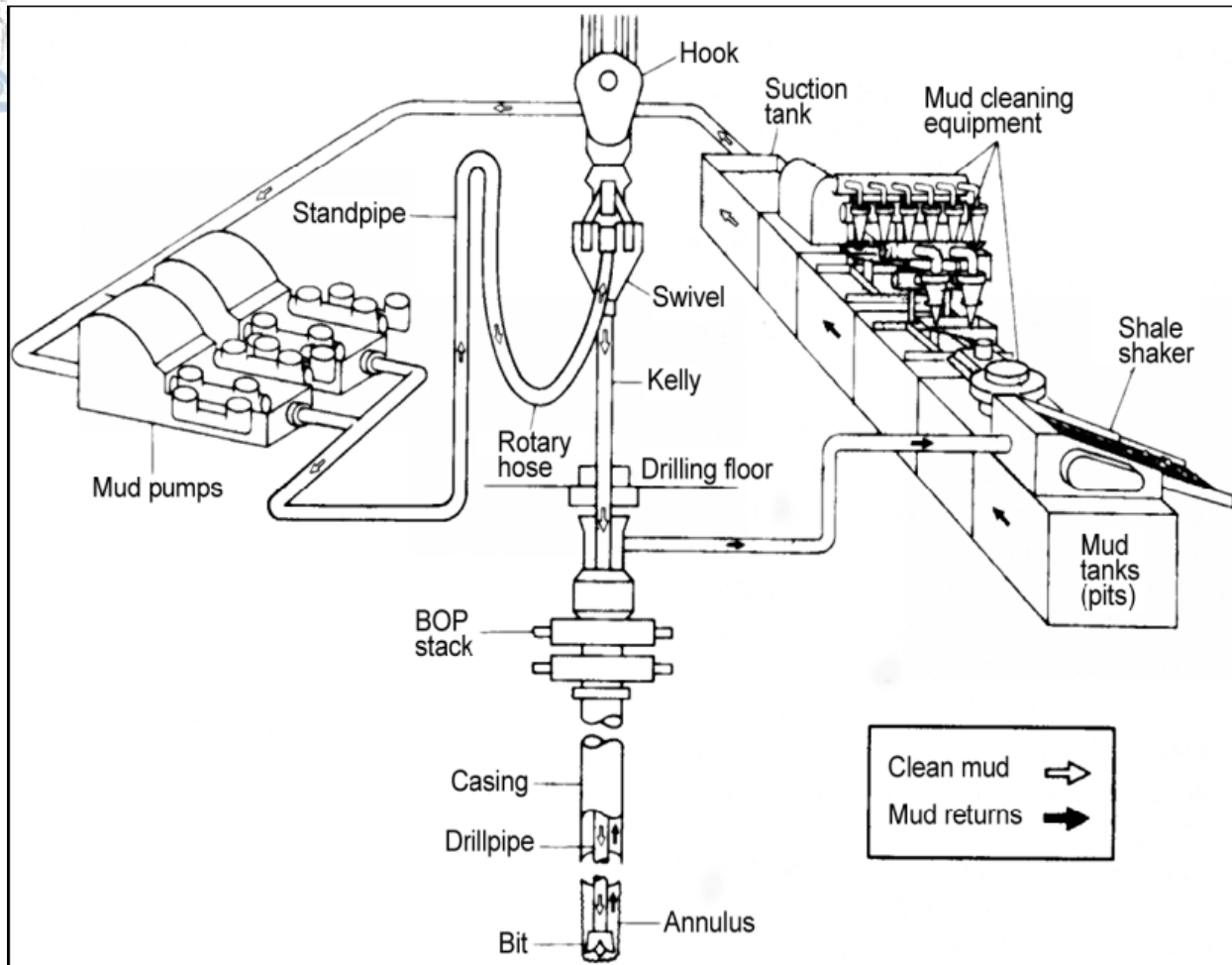
Drilling Fluid Types (τύποι ρευστού διάτρησης)

Πολλοί τύποι ρευστών διάτρησης χρησιμοποιούνται, και πολλές φορές διαφορετικοί τύποι στην ίδια γεώτρηση, σε διαφορετικά τμήματά της. Διακρίνονται ωστόσο κάποιες βασικές κατηγορίες που συνοψίζουν όλους τους τύπους.

1. **Water:** Το νερό, αυτό καθαυτό, αντλείται στην γεώτρηση, για πολύ συγκεκριμένους σκοπούς, σε πολύ συγκεκριμένους σχηματισμούς
2. **Water-Based Mud (WBM):** Όπως προδίδει και το όνομα, το ρευστό αυτό έχει ως βάση το νερό στο οποίο προστίθενται, στη συνέχεια, άργιλοι (κυρίως μπεντονίτης), και άλλα χημικά στοιχεία έως ότου δημιουργηθεί ένα ομογενές μίγμα. Ο μπεντονίτης, λοιπόν, όντας η πιο διαδεδομένη από τις αργίλους που χρησιμοποιούνται, αναφέρεται στον κλάδο ως “gel”, όνομα που οφείλεται στην υφή γέλης που σχηματίζει το μίγμα όταν μένει στάσιμο. Τα χημικά που προστίθενται στο WBM (π.χ. μυρμηκικό κάλιο) εξυπηρετούν διαφόρους σκοπούς όπως : έλεγχος ιξώδους, ενίσχυση ρυθμού διάτρησης, ψύξη και λίπανση του εξοπλισμού.
3. **Oil-Based Mud (OBM):** Πρόκειται για λάσπη της οποίας η βάση μπορεί να είναι διάφορα κλάσματα πετρελαίου όπως πετρέλαιο κίνησης. Τέτοιου είδους λάσπες χρησιμοποιούνται για διαφόρους λόγους, μερικοί από τους οποίους η αύξηση της λιπαντικής ικανότητας και η καλύτερη καθαριστική δράση με μικρότερο ιξώδες. Οι OBM επίσης αντέχουν σε υψηλότερες θερμοκρασίες χωρίς να διαλυθούν. Ωστόσο υπάρχουν δισταγμοί όσον αφορά την χρήση τους, λόγω κόστους και περιβαλλοντικού αποτυπώματος.
4. **Synthetic-Based Mud (SBM):** Η βάση του ρευστού αυτού είναι ένα είδος συνθετικού πετρελαίου. Χρησιμοποιείται κυρίως σε υπεράκτιες εξέδρες έχοντας τις ιδιότητες του Oil-Based Mud αλλά ταυτόχρονα πολύ μικρότερα επίπεδα τοξικότητας. Κάτι τέτοιο είναι σημαντικό όταν το προσωπικό εργάζεται σε τόσο περιορισμένο χώρο.

Mud Circulating Systems (Συστήματα Κυκλοφορίας Λάσπης)

Το ρευστό διάτρησης (λάσπη), όπως έγινε αντιληπτό, είναι εξαιρετικής σημασίας για μια γεώτρηση. Κατά τη διάρκεια της διάτρησης, η λάσπη κυκλοφορεί συνεχώς δια μέσω της διατρητικής στήλης, του κοπτικού άκρου, ανέρχεται και πάλι προς την επιφάνεια, περνώντας από τα δονούμενα κόσκινα (shale shakers) καταλήγοντας στην δεξαμενή πολφού (mud pit) από όπου αρχίζει και πάλι ο κύκλος της κυκλοφορίας. Τα τμήματα, μηχανικά και μη, του συστήματος αυτού παρουσιάζονται στην συνέχεια.



Εικόνα 1.2 Η διαδρομή του ρευστού της διάτρησης κατά την όρυξη μιας γεώτρησης, Πηγή: http://petrowiki.org/images/5/5c/Vol5_Page_0359_Image_0001.png

1. Mud Pumps (Αντλίες πολφού)

Οι αντλίες πολφού είναι το κύριο εξάρτημα σε κάθε σύστημα κυκλοφορίας που μπορεί να συναντήσει κανείς. Τροφοδοτούνται, συνήθως, από ηλεκτρικά μοτέρ και η ενέργεια που αποδίδουν μπορεί να μετακινήσει μεγάλες ποσότητες λάσπης ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες της διάτρησης. Η λάσπη φτάνει στις αντλίες αφού πρώτα προετοιμαστεί και αναμειχθεί στις δεξαμενές (mud pits), και φεύγει από αυτές οδηγούμενη προς την διατρητική στήλη. Στις πλέον καινούργιες εξέδρες πετρελαίου χρησιμοποιούνται οι λεγόμενες αντλίες "Triplex Pumps". Αποτελούνται από 3 κυλίνδρους σε διάταξη 120 μοιρών και αλλάζουν την ένταση λειτουργίας τους ανάλογα με το βάθος της όρυξης. Τέλος υπάρχουν και αντλίες διάταξης 2 κυλίνδρων με παρόμοιες δυνατότητες ισορροπίας μεταξύ πίεσης και έντασης.

2. Shale Shaker (Δονούμενα Κόσκινα)

Το shale shaker αποτελεί μία δονούμενη επιφάνεια που χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό των στερεών κομματιών-θρυμμάτων από το ρευστό της διάτρησης (λάσπη). Η επιφάνεια βρίσκεται εγκατεστημένη πάνω σε ένα σασί που στηρίζεται σε λαστιχένιες βάσεις και το οποίο και δονείται, τροφοδοτούμενο από ηλεκτρικό κινητήρα. Οι επιφάνειες αυτές έχουν ανοίγματα-πόρους (καθώς πρόκειται για κόσκινα) διαφορετικών διαμέτρων ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε εξόρυξης. Πολλές φορές ενώνονται και παραπάνω από ένα κόσκινα, ώστε να γίνεται περαιτέρω διαχωρισμός των υλικών.

Η λάσπη, ανερχόμενη από το λεγόμενο δακτυλιοειδές διάστημα (annulus) μεταξύ διατρητικής στήλης και σωλήνωσης, καταλήγει στο πίσω μέρος των shale shakers που ονομάζεται back tank ή possum belly. Εκεί γίνεται σε πρώτο στάδιο ο διαχωρισμός της στερεής και της υγρής από την αέρια φάση που συχνά μεταφέρει μαζί της η λάσπη. Όλο αυτό το σύστημα έχει ως αποτέλεσμα την ομαλότερη απόθεση της λάσπης πάνω στις επιφάνειες των κοσκίνων όπου και ξεκινάει ο διαχωρισμός στερεής από υγρή φάση. Όπως και είναι λογικό, η στερεή φάση (θρύμματα) μένουν πάνω στις επιφάνειες ενώ η λάσπη εισέρχεται σε ένα σύστημα καθαρισμού (degasser, desander, desilter) και φτάνει πάλι στις δεξαμενές με σκοπό να γίνει εκ νέου κυκλοφορία της.



Εικόνα 1.3 Shale Shaker και τα επιμέρους μέρη του.

Σύστημα καθαρισμού και φιλτραρίσματος λάσπης (Desander, Desilter, Degasser)

- **Desander and Desilter:** Πρόκεινται για μηχανήματα τα οποία απομακρύνουν θρύμματα που δεν απομακρύνθηκαν προηγουμένως από τα κόσκινα. Η δράση τους οφείλεται σε φυγοκέντρωση της λάσπης μέσα σε ειδικούς κώνους. Η ανάδευση μέσα σε αυτούς οδηγεί τα ελαφρύτερα συστατικά να ανέλθουν υψηλότερα ενώ τα βαρύτερα (συνήθως κόκκοι άμμου) πέφτουν και απομακρύνονται. Το σύστημα αυτό δέχεται και επεξεργάζεται μεγάλες ποσότητες ρευστού παρ' όλη τη μικρή πίεση στην οποία δουλεύει, ακριβώς επειδή βασίζεται στην φυγοκέντρωση. Υπάρχουν βεβαίως διαφόρων μεγεθών κώνοι όπου όσο μικρότεροι, τόσο μικρότεροι κόκκοι διαχωρίζονται.
- **Degasser:** Σε πολλές περιπτώσεις, κατά την όρυξη μιας γεώτρησης, ποσότητες φυσικού αερίου μπορεί να διαφύγουν, εάν τρυπηθούν σχηματισμοί που περιλαμβάνεται αέριο, και να εισχωρήσουν στην λάσπη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της πυκνότητας της λάσπης και συνεπώς της υδροστατικής πίεσης που ασκεί αυτή στα τοιχώματα της γεώτρησης. Όσο μειώνεται η πίεση αυτή, τόσο πιθανότερη είναι και η κατάρρευση της γεώτρησης.

Γίνεται αντιληπτό, λοιπόν, πως ένας εξοπλισμός "εξαέρωσης" της λάσπης είναι εξαιρετικά σημαντικός ειδικά σε γεωτρήσεις που αναμένονται μεγάλες ποσότητες φυσικού αερίου. Υπάρχουν διάφορα είδη degassers που λειτουργούν υπό διαφορετικές συνθήκες. Το πιο τυπικό παράδειγμα degasser λειτουργεί ως εξής: η λάσπη απλώνεται σε αρκετά λεπτά στρώματα πάνω στα οποία επισυνάπτεται ένας σωλήνας-απορροφητήρας ο οποίος απομακρύνει το αέριο από την λάσπη.

Υπάρχουν κι άλλα είδη degassers, κάποια από τα οποία, όμως, έχουν το μειονέκτημα ότι δρουν αφού η λάσπη επιστρέψει στις δεξαμενές (mud pit) απομακρύνοντάς την από εκεί, διαχωρίζοντας την υγρή από την αέρια φάση και επιστρέφοντας και πάλι την λάσπη στις δεξαμενές.

Η αλήθεια είναι πως το ιδανικό σημείο για την λειτουργία ενός degasser, είναι προτού φτάσει η λάσπη στην δεξαμενή. Ωστόσο το πρόβλημα είναι πως τα περισσότερα κοινώς διαδεδομένα degassers εάν δουλέψουν σε στάδιο πριν και την απομάκρυνση των θρυμμάτων, μπορεί να παρασύρουν μερικά και να βουλώσουν.

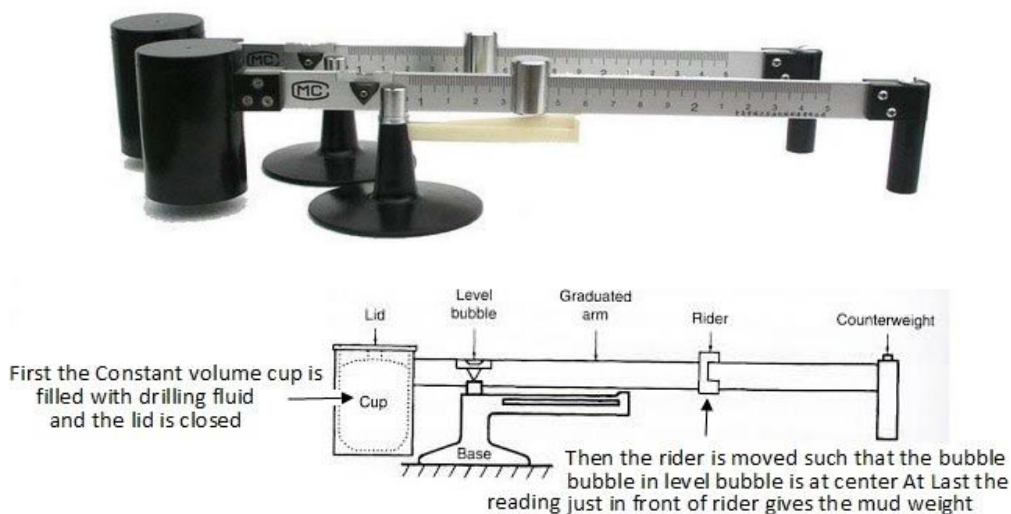
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. MUD PROPERTIES

Η πληθώρα λειτουργιών της λάσπης διάτρησης απαιτεί τη διατήρηση ορισμένων ιδιοτήτων της, καθ' όλη τη διάρκεια της διάτρησης. Η συνεχής μέτρηση και αξιολόγηση όλων των παρακάτω ιδιοτήτων επιτρέπει στον μηχανικό ρευστού (mud engineer) να δώσει μία πλήρης αναφορά για το πως αλληλοεπιδρά το ρευστό με τους διατρηθέντες σχηματισμούς.

1. Mud Weight (density) (Ειδικό βάρος - Πυκνότητα ρευστού)

Το ειδικό βάρος της λάσπης αποτελεί το μέτρο της πυκνότητας που δίδεται κατά τον σχηματισμό του πολφού λάσπης. Ιδανικά, όμοιο ειδικό βάρος λάσπης με αυτό του νερού, προσδίδει βέλτιστο ρυθμό διάτρησης και ελαχιστοποίηση των πιθανοτήτων για απώλεια κυκλοφορίας. Ωστόσο, τις περισσότερες φορές απαιτείται ειδικό βάρος δύομιση φορές μεγαλύτερο του νερού με σκοπό την άσκηση ορισμένης υδροστατικής πίεσης επί του γεωλογικού σχηματισμού για την αποτροπή του φαινομένου “well kick” και “blowout” (ανεξέλεγκτη ροή ρευστών από τους γεωλογικούς σχηματισμούς προς την επιφάνεια με παράλληλη κατάρρευση όλων των συστημάτων ελέγχου της πίεσης, Γεωργακόπουλος, “Κοιτασματολογία Πετρελαίου”).

Το ειδικό βάρος προσδιορίζεται, εργαστηριακά, χρησιμοποιώντας ένα όργανο με υποδιαιρέσεις της τάξης του 1/10 lb./gal ενώ παράλληλα η μέτρηση μπορεί να γίνει και σε psi/1000ft.



Εικόνα 2.1 Όργανο “Mud Balance” για την μέτρηση του ειδικού βάρους της λάσπης (Rahul Rawat, 2017).

Διαδικασία

1. Γεμίζεται το δοχείο (cup) με την λάσπη που πρόκειται να μετρηθεί.
2. Τοποθετείται προσεκτικά το καπάκι στο δοχείο.
3. Με το δάχτυλο του χεριού να κλείνει την οπή στο καπάκι, καθαρίζεται το εξωτερικό μέρος του δοχείου ώστε να μην υπάρχει κανένα περαιτέρω υπόλειμμα λάσπης.
4. Μετακινείται το βαρίδιο, που είναι προσαρτημένο στη μεζούρα, ώστε να έρθει σε ισορροπία το δοχείο και ο βραχίονας του οργάνου.
5. Η πυκνότητα της λάσπης αποτελεί το σημείο αμέσως αριστερά από το κινητό βαρίδιο
6. Αναφέρεται η μέτρηση σε lb./gal ή psi/1000ft.
7. Καθαρίζεται το δοχείο μετά από κάθε μέτρηση. Είναι σημαντικό να μην μένουν τα παραμικρά υπολείμματα καθώς θα επηρεάσουν επόμενες ισορροπίες.
(PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide").

2. Mud Viscosity (Ιξώδες Λάσπης)

Το ιξώδες, γενικά, αποτελεί το μέτρο της αντίστασης ενός ρευστού στην ροή. Τα ρευστά τείνουν να ρέουν σε εσωτερικές στρώσεις με την τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ αυτών των στρώσεων να αντιστέκεται στην κίνηση του συνολικού σώματος. Συνήθως τα πιο ιξώδη ρευστά είναι και τα πιο παχύρευστα. Σημαντικό είναι να μην συγχέονται οι όροι παχύ και πυκνό. Ένα παχύ ρευστό μπορεί να είναι αραιό και αντιστρόφως.

Η χρησιμότητα του ιξώδους της λάσπης έγκειται στην ικανότητά της να συμπαρασύρει και να ανεβάζει τα θρύμματα στην επιφάνεια. Όσο μεγαλύτερο το ιξώδες τόσο μεγαλύτερη και η ικανότητά του να μεταφέρει θρύμματα αλλά ταυτοχρόνως απαιτείται και μεγαλύτερη δύναμη άντλησης του ρευστού στην γεώτρηση. Έτσι πρέπει να επιλέγεται ένα μέσο σημείο που να εξυπηρετεί και τους δύο σκοπούς. (Rahul Rawat, "Petroleumroughnecks", 2017).

Μετρήσεις :

❖ **Funnel Viscosity (Ιξώδες Διοχέτευσης σε Χοάνη)**

Μετρείται το ιξώδες ως συνάρτηση του χρόνου που απαιτείται για ένα συγκεκριμένο ποσό λάσπης (946 κυβικά εκατοστά) να διαφύγει από την χοάνη στην οποία διοχετεύεται.

Αφού επιλεγθεί το δείγμα λάσπης, κλείνεται με το δάχτυλο η έξοδος της χοάνης (κάτω μέρος) και γεμίζεται μέχρι να φτάσει κάτω από την πλαστική επιφάνειά της. Αφήνεται το δάχτυλο και αμέσως ξεκινάει η χρονομέτρηση. Με το άδειασμα της χοάνης σημειώνεται ο χρόνος που απαιτήθηκε ο οποίος αποτελεί και το μέτρο του ιξώδους της λάσπης, καθώς επίσης και η θερμοκρασία (σε C ή F) του δείγματος λάσπης που μετρήθηκε.

Η χοάνη πρέπει να καθαρίζεται και να στεγνώνεται σχολαστικά μετά από κάθε ξεχωριστή μέτρηση και η χρήση της πρέπει να είναι ιδιαίτερα λεπτή προς αποφυγήν λυγίσματος της εξόδου της καθώς κάτι τέτοιο θα επηρεάσει τον τελικό χρόνο μέτρησης.



Εικόνα 2.2 Χοάνη διοχέτευσης λάσπης και μέτρησης ιξώδους.

Ανά τακτά χρονικά διαστήματα προτείνεται η μέτρηση ιξώδους καθαρού νερού το οποίο σε ένα καλά βαθμονομημένο σύστημα χοάνης πρέπει να είναι στα $26 \pm 0,5$ δευτερόλεπτα. (PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide").

❖ Plastic Viscosity (Πλαστικό Ιξώδες)

Το πλαστικό ιξώδες αναφέρεται στην αντίσταση ροής ενός υγρού, που συχνά προκαλείται από εξωτερική δύναμη, παρά από εσωτερική τριβή (persmarymethuen.org, 2020). Συγκεκριμένα οφείλεται στην μηχανική τριβή μεταξύ της λάσπης και των θρυμμάτων που αυτή συμπαρασέρνει. Εξαρτάται, λοιπόν, από την φύση (λιθολογία) των θρυμμάτων, την ποσότητά τους, το μέγεθός τους και το σχήμα στο οποίο έσπασαν κατά τη διάτρηση. Ορίζεται ως η διαφορά της τάσης διάτμησης των 600 σ.α.λ. (rpm) από των 300 σ.α.λ.



Εικόνα 2.3 Rotational Viscometer.

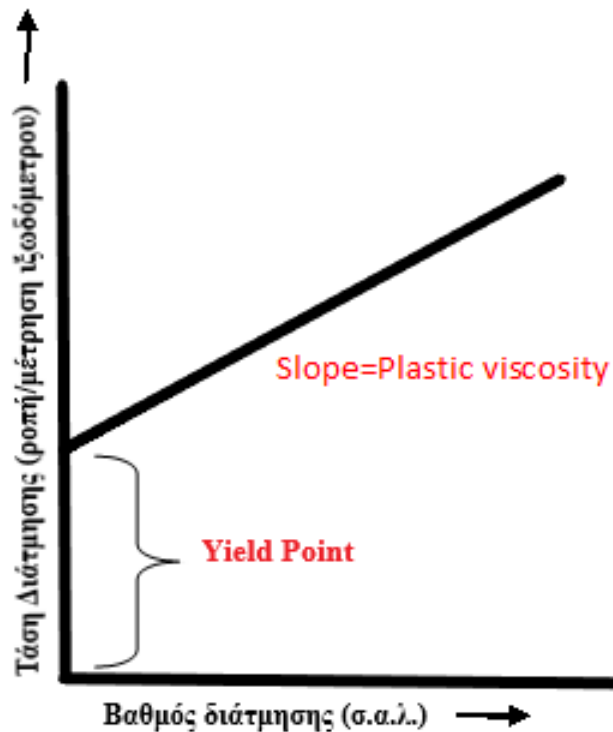
(rpm) όπως αυτή ασκείται από το περιστροφικό ιξωδόμετρο (rotational viscometer) (PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide").

❖ Yield Point (Σημείο Διαρροής)

Το yield point αποτελεί την μέτρηση των ηλεκτροχημικών δυνάμεων που ασκούνται εντός της λάσπης κατά τη διάρκεια της ροής της. Οι δυνάμεις αυτές οφείλονται στις συγκρούσεις των επιφανειών των αντιδρώντων κομματιών και στην παρουσία ηλεκτρολυτών στο νερό (*PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide"*).

Πρόκειται ουσιαστικά για το σημείο στο οποίο η ημιστερεή δομή της λάσπης σπάει και αρχίζει η ροή (*Rahul Rawat, "Petroleumroughnecks", 2017*).

Μετριέται κι αυτό με τη βοήθεια των περιστροφικών ιξωδομέτρων και υπολογίζεται από την διαφορά της τάσης διάτμησης στις 300 σ.α.λ. (rpm) από το ήδη υπολογισμένο πλαστικό ιξώδες.



Εικόνα 2.4 Πλαστικό Μοντέλο του Bingham. Μεταφρασμένο από https://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/g/gel_strength.aspx

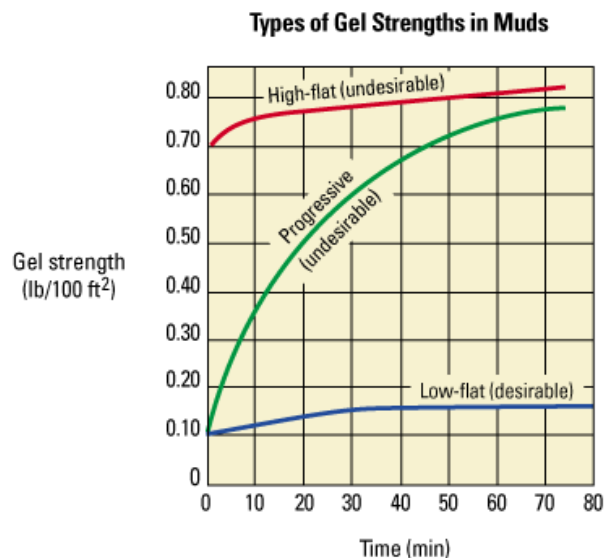
3. Gel Strengths

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, ο όρος gel αντιπροσωπεύει το μίγμα του μπεντονίτη στο water-based mud (wbm) το οποίο παίρνει υφή γέλης όταν μένει στάσιμο. Η δύναμη της γέλης είναι το μέτρο των ελκτικών δυνάμεων των αιωρούμενων σωματιδίων που βρίσκονται μέσα στο υγρό, όταν αυτό βρίσκεται σε στάσιμη κατάσταση. Μονάδα μέτρησης είναι η lb./100ft². Η δύναμη αυτή επηρεάζει :

1. την καθαριστική ικανότητα του ρευστού διάτρησης,
2. την πίεση που απαιτείται για να σταματήσει η κυκλοφορία του ρευστού,
3. την ευκολία απελευθέρωσης αερίου και
4. την ρύθμιση των αιωρούμενων σωματιδίων στις δεξαμενές λάσπης.

Σχετικές μετρήσεις της δύναμης γέλης γίνονται απευθείας πάνω στα ιξωδόμετρα και συνήθως αναφέρονται σε τάξεις των 10 δευτερολέπτων ή των 10 λεπτών. Γενικότερα, όταν μία λάσπη σε στάσιμη κατάσταση απαιτεί άσκηση δύναμης για να μετακινηθεί τότε λέγεται πως περιέχει στις ιδιότητές της δύναμη γέλης (gel strength). Η gel strength εγείρεται κυρίως από τις ελκτικές δυνάμεις των σωματιδίων, από την τριβή μεταξύ των αιωρούμενων στερεών ή την τριβή μεταξύ των στερεών και των, γύρω τους, υγρών σωματιδίων (*PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide"*).

Η ειδική δύναμη γέλης ενός ρευστού διάτρησης περιγράφεται ως low-flat (επιθυμητή), progressive (ανεπιθύμητη) και high-flat (ανεπιθύμητη) ως συνάρτηση της ίδιας της δύναμης σε lb/100ft² με τον χρόνο. Σημειώνεται, τέλος, πως τα flat gels έχουν θιξοτροπικές ιδιότητες, δηλαδή είναι παχύρευστα αλλά κατά την ανάδεδυσή τους το ιξώδες μειώνεται και συμπεριφέρονται ως υγρά και σε αυτές τις περιπτώσεις οι 10-δευτερολέπτων και 10-λεπτών δοκιμές δύναμης γέλης είναι πανομοιότυπες (*Oilfield Glossary, Schlumberger Limited, 2020*).



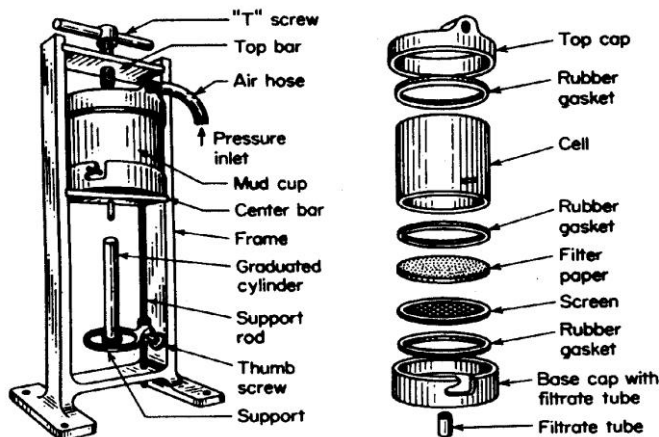
Εικόνα 2.5 Διάγραμμα τύπων δυνάμεως γέλης.

4. Filtration (Τεστ Φιλτραρίσματος)

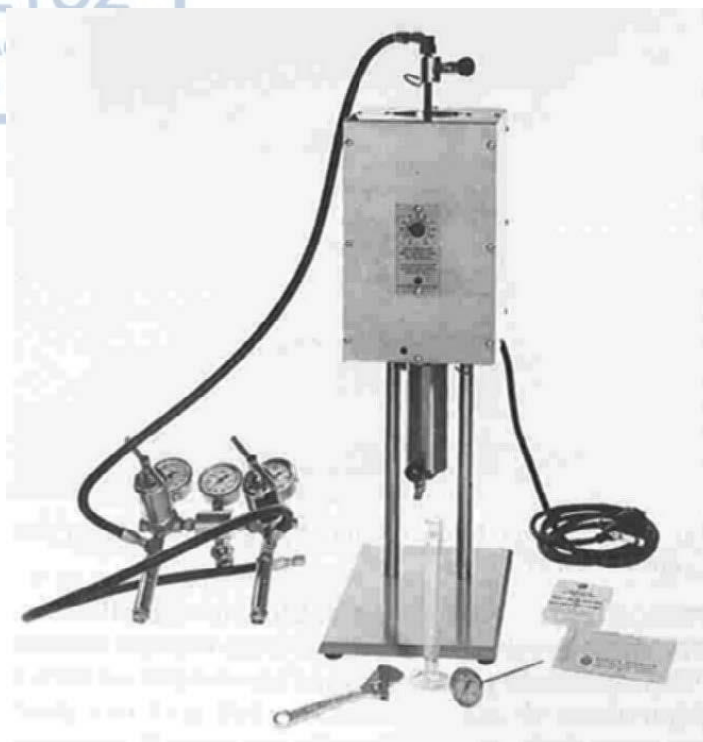
Πρόκειται για μια σχετική μέτρηση ενός ρευστού που φιλτράρεται μέσα από έναν διαπερατό σχηματισμό αφήνοντας πίσω το λεγόμενο mud ή filter cake (στρώμα σωματιδίων από επίστρωση λάσπης στο εσωτερικό μιας γεώτρησης ακολουθούμενη από την αφυδάτωση των στερεών καθώς το υγρό μέρος διαρρέει στον σχηματισμό, *PetroWiki, Glossary:Mud Cake, 2013*). Επηρεάζεται από την κατάσταση της λάσπης και το είδος των περιεχόμενων στερεών. Υπάρχουν δύο διαφορετικά filtration tests. Ένα υπό θερμοκρασία περιβάλλοντος και πίεση 100 psi και ένα άλλο στους 300 F και 500 psi. Το τεστ υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας είναι προτιμότερο να γίνεται σε θερμοκρασίες και πιέσεις που επικρατούν στον εκάστοτε πυθμένα της γεώτρησης.

Το φιλτράρισμα εξαρτάται επίσης από το ποσό και την φυσική κατάσταση του κολλοειδούς υλικού στην λάσπη. Έχει αποδειχθεί με επαναλαμβανόμενες δοκιμές στο ύπαιθρο πως όταν χρησιμοποιείται επαρκώς κολλοειδής λάσπη τότε οι δυσκολίες ελαχιστοποιούνται. Σε αντίθεση, λιγότερο κολλώδης λάσπη και πλούσια σε στερεά, αποθέτει ένα παχύ στρώμα (filter cake) στα τοιχώματα της γεώτρησης το οποίο πέραν του ότι προσδίδει μεγαλύτερη δυσκολία στο ανέβασμα και κατέβασμα εργαλείων, μπορεί να δημιουργήσει φαινόμενα σπηλαίωσης στους διατρηθέντες σχηματισμούς. Αυτό έχει ως επακόλουθο επικείμενες δυσκολίες στην σωλήνωση (casing) που ακολουθεί (*PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide"*).

Το τεστ χαμηλής πίεσης γίνεται με την χρήση ενός κελιού-δοχείου (cell), έχει διάρκεια 30 λεπτών και πραγματοποιείται σε θερμοκρασία δωματίου. Χρησιμοποιούνται επιπλέον cells για την δοκιμή σε ελαφρώς μεγαλύτερες πιέσεις (100+5 psi) και τα οποία είναι προσαρτημένα σε κοινό πλαίσιο. Στην εικόνα 2.6 παρουσιάζεται συνοπτικά ένα απλό σύστημα filter press (Eritia, "Filtration, wall building and resistivity of drilling fluid", 2017).



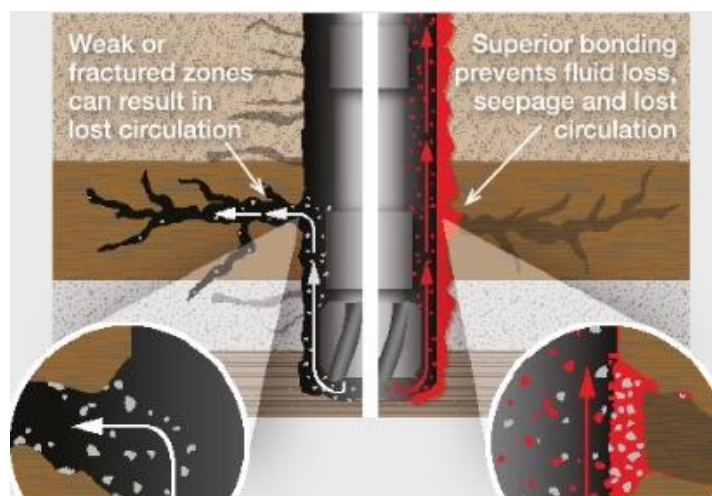
Εικόνα 2.6 Standard API Filter press.



Εικόνα 2.7 High Temperature High Pressure Filter Press.

5. Fluid Loss (Απώλειες Ρευστών)

Οι απώλειες ρευστού διάτρησης έχουν άμεση σύνδεση με προβλήματα στον ρυθμό διάτρησης (penetration rate) σε περιοχές με σχιστόλιθους, διαβρωμένα reservoir και διαπερατά πετρώματα με μειωμένα συγκολλητικά χαρακτηριστικά. Απώλειες μπορεί να προκύψουν τόσο όταν το ρευστό βρίσκεται σε κυκλοφορία (δυναμική απώλεια) όσο και όταν βρίσκεται σε στατική κατάσταση (στατική απώλεια). Η στατική απώλεια ρευστού προκύπτει όταν το ρευστό δεν κυκλοφορεί και βρίσκεται σε οριζόντες διαπερατών σχηματισμών όπου η απώλεια ακολουθεί τον νόμο του Darcy. Από την άλλη, η δυναμική απώλεια διαφέρει ανάλογα με το καθεστώς της ροής. Όταν επικρατεί



Εικόνα 2.8 Σχηματική αναπαράσταση απώλειας ρευστών (Gilsonite in Drilling Fluids, RAHA Gilsonite Co, 2017).

στρωτή ροή κατά μήκος ενός διαπερατού σχηματισμού η απώλεια είναι παρόμοια με την στατική και μερικές φορές ελαφρώς μεγαλύτερη. Στην τυρβώδη ροή εάν υπάρχει απώλεια, είναι τέτοια ώστε να μένει σταθερό το πάχος του mud cake κατά τη διάρκεια της φυγής του ρευστού (όσο φεύγει-διαβρώνεται τόσο επικάθεται) (PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide"). Συνήθως προς αποφυγήν απωλειών που μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στον reservoir, χρησιμοποιούνται ειδικά πρόσθετα κατά την Παρασκευή της λάσπης στα mud pits (Oilfield Glossary, Schlumberger Limited, 2020).

6. Sand Content (Περιεχόμενη Άμμος)

Τα αιωρούμενα στερεά σε ένα ρευστό διάτρησης αποτελούν, στην ουσία, τα "κύτταρα" στο σύστημα κυκλοφορίας της λάσπης. Ορισμένοι τύποι τέτοιων στερεών, σε κατάλληλες συγκεντρώσεις, είναι απαραίτητοι για την διαμόρφωση και διατήρηση των επιθυμητών ιδιοτήτων των υγρών διάτρησης. Η φύση των στερεών σωματιδίων, που μπορούν να διατηρηθούν σε εν αιώρηση σε ένα ρευστό διάτρησης, ποικίλει από αντιδραστικά μπεντονικά σωματίδια έως αδρανείς κόκκους άμμου. Τα σωματίδια αυτά είτε ενυδατώνονται και διασκορπίζονται μέσα στο ρευστό εκτός εάν, μηχανικά ή χημικά, κατασταλούν από αυτό, είτε αλέθονται σε τόσο μικρό μέγεθος ώστε να γίνουν ένα κολλοειδές εναιώρημα στην περίπτωση που δεν διαχωριστούν εξ αρχής από το ρευστό (PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide").

Το ποσοστό άμμου αποτελεί τον επί τοις εκατό όγκο των σωματιδίων που βρίσκονται μέσα στο ρευστό και είναι μεγαλύτερα από 74 μικρά (micron) και ο προσδιορισμός του είναι απαραίτητος. Η υπερβολική ποσότητα άμμου μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την εναπόθεση ενός, σημαντικού πάχους, filter cake στα τοιχώματα της γεώτρησης κάτι που με τη σειρά του θα επηρεάσει την διαδικασία τοποθέτησης της σωλήνωσης της γεώτρησης. Υψηλή περιεκτικότητα σε άμμου οδηγεί, επίσης, σε αυξημένη τριβή κι απόξεση της αντλίας λάσπης και των συνδέσεων μεταξύ σωλήνων (PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide").

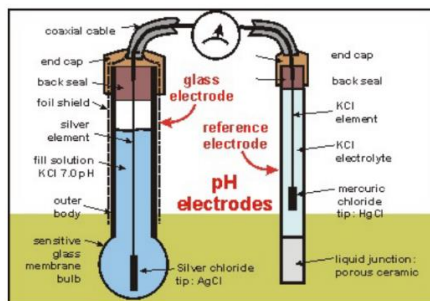
Προτιμώμενη μέθοδο για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε άμμου αποτελεί η ανάλυση με κόσκινο λόγω της αξιοπιστίας της δοκιμής αλλά και της απλότητας του εξοπλισμού. Ο όγκος της άμμου, συμπεριλαμβανομένου αυτού των κενών χώρων μεταξύ κόκκων, συνήθως μετριέται και εκφράζεται ως ποσοστό κατ' όγκο του υγρού διάτρησης. Το εργαστηριακό kit μέτρησης αποτελείται από ένα ειδικό κόσκινο μικρής διαμέτρου (2,5 ίντσες) στερεωμένο σε ένα κολάρο στο άκρο του οποίου προσαρτάται μία μικρή χοάνη. Το υλικό κατασκευής είναι πολυαιθυλένιο (Drilling Fluids Testing > Sand Content, FANN Instrument Company, 2020).



Εικόνα 2.9 Sand Content Kit.

7. Drilling Fluid pH (pH ρευστού διάτρησης)

Ο βαθμός της οξύτητας ή της αλκαλικότητας της λάσπης υποδεικνύεται με βάση την συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου, ιδιότητα γνωστή ως pH. Αλκαλικά μίγματα έχουν pH μεγαλύτερο του 7 φτάνοντας έως 14, ενώ τα όξινα έχουν pH μικρότερο του 7 φτάνοντας χαμηλότερα κι από το 1. Η μέτρηση του pH χρησιμοποιείται ως βοήθημα στον προσδιορισμό της ανάγκης για χημικό έλεγχο της λάσπης καθώς και για την ένδειξη παρουσίας τσιμέντου και γύψου μέσα στην λάσπη. Υπάρχουν δύο κύριες μέθοδοι υπολογισμού του pH. Η πρώτη είναι με pHμετρικό χαρτί βαθμονομημένο από 1 έως 14 (pHhydroin dispenser). Το χαρτί αλλάζει χρώμα ανάλογα με το pH του ρευστού στο οποίο βυθίζεται. Η άλλη μέθοδος απαιτεί την χρήση pHμέτρου με σφάλμα μέτρησης της τάξης του 0,1. Το πεχάμετρο υπολογίζει της διαφορές τάσης μεταξύ ενός ηλεκτροδίου που βυθίζεται στο ρευστό και ενός ηλεκτροδίου αναφοράς (*PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide"*).



Εικόνα 2.10 Ψηφιακό pHμετρο. Εικόνα 2.11 Αρχές μέτρησης με ηλεκτρόδια.

8. Chloride content (περιεχόμενο χλώριο – αλατότητα)

Είναι επιθυμητό να υπολογίζεται το περιεχόμενο άλας στη λάσπη ώστε να προσδιορίζεται σωστότερα η απόδοσή της. Το φιλτράρισμα, η αιώρηση, το ιξώδες και το gel strength, για τα οποία

έγινε λόγος παραπάνω, επηρεάζονται δυσμενώς από τα περιεχόμενα άλατα εκτός εάν η λάσπη είναι ειδικά σχεδιασμένη να αντέχει επικείμενη μόλυνση από άλατα. Ο υπολογισμός ανά τακτά χρονικά διαστήματα της περιεκτικότητας σε άλας μπορεί να φανεί χρήσιμος στον προσδιορισμό μιας πιθανής διήθησης θαλασσινού νερού στο σύστημα κυκλοφορίας λάσπης. Η αλατότητα του ρευστού διάτρησης υπολογίζεται με τιτλομέτρηση του διηθήματος για τα ολικά χλωρίδια. Είναι κοινώς αποδεκτό πως τα χλωρίδια αντιστοιχούν σε ποσότητες άλατος κυρίως με τη μορφή NaCl. Η μετατροπή από περιεχόμενα χλωρίδια σε περιεχόμενο άλας και αντίστροφα γίνεται ως εξής:

$$\text{ppm Salt (NaCl)} = \text{ppm Chloride (Cl}^-) \times 1,65$$

$$\text{ppm Chloride (Cl}^-) = \text{ppm Salt (NaCl)} \times 1,65$$

Ο μέγιστος κορεσμός χλωρίου σε νερό στους 20° C (68° F) είναι 188.000 ppm. Σε αντιστοιχία άλατος αυτό είναι 311.000 ppm salt (NaCl) (*PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide"*).

9. Total hardness (calcium content)–Ολική σκληρότητα, περιεχόμενο ασβέστιο

Την συνολική σκληρότητα ενός διαλύματος αποτελεί το άθροισμα των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου σε αυτό το διάλυμα. Συνήθης και εσφαλμένη άποψη είναι πως η συνολική σκληρότητα εκφράζεται μόνο ως προς την περιεκτικότητα σε ασβέστιο. Οι ξεχωριστές συγκεντρώσεις του ασβεστίου μπορούν να προσδιοριστούν με μία πρώτη τιτλομέτρηση για την συνολική σκληρότητα χρησιμοποιώντας τον δείκτη Calmagite (δείκτης που χρησιμοποιείται στην αναλυτική χημεία για τον εντοπισμό μεταλλικών ιόντων στο διάλυμα, *Calmagite at Sigma-Aldrich & Harris, Daniel C. Quantitative Chemical Analysis, W.H. Freeman and Company, 2007*) με το ολικό ρυθμιστικό διάλυμα και στην συνέχεια μία δεύτερη τιτλομέτρηση ειδικά για το ιόν ασβεστίου χρησιμοποιώντας ρυθμιστικό Calver II (ειδικό kit για υπολογισμό ασβεστίου μέσω τιτλομέτρησης αιθυλενοδιαμινοτετραοξικού οξέος (EDTA) και διάλυμα ενός δείκτη. Η διαφορά μεταξύ της συνολικής σκληρότητας και της περιεκτικότητας σε ασβέστιο θα είναι η συγκέντρωση των ιόντων μαγνησίου.

Κατά τον έλεγχο και τη συντήρηση της λάσπης της γεώτρησης είναι σημαντικό να προσδιορίζεται η παρουσία και η ποσότητα των ιόντων ασβεστίου. Ιόντα ασβεστίου μπορεί να προστεθούν στο σύστημα κυκλοφορίας κατά τη διάτρηση ανυδρίτη και γύψου ή κατά την προσθήκη χημικών βελτιωτικών λάσπης (make up water) που περιέχουν ασβέστιο (*PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide"*).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. BASIC MUD LOGGING SERVICE

Το mud logging (διαγραφίες πολφού λάσπης) αποτελεί μια υπηρεσία η οποία συλλέγει ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα, και πραγματοποιεί παρατηρήσεις, από διατρηθέντες σχηματισμούς, ρευστά διάτρησης και διατρητικές παραμέτρους με σκοπό την διατύπωση και εμφάνιση των in situ (επί τόπου) χαρακτηριστικών των πετρωμάτων της γεώτρησης και απώτερο στόχο την οριοθέτηση των εμφανίσεων υδρογονανθράκων που “αξίζουν” εκμετάλλευσης (*PetroServices GmbH Training Centre, “Basic Mud Logging Guide”*). “Περιέχει τις πληροφορίες που έρχονται και καταγράφονται στην επιφάνεια κατά τη διάρκεια εκτέλεσης μιας γεώτρησης με εξαίρεση εκείνων των δεδομένων που προέρχονται από αισθητήρες που βρίσκονται πάνω στο γεωτρήπανο. Υπό αυτήν την έννοια η υπηρεσία mud logging ονομάζεται μερικές φορές και surface logging”, *Γεωργακόπουλος, “Κοιτασματολογία Πετρελαίου”*. Περιλαμβάνει, κατά κύριο λόγο, την μικροσκοπική εξέταση των θρυμμάτων (cuttings) μιας γεώτρησης. Όλα τα παραπάνω δεδομένα αξιολογούνται στην ξεχωριστή μονάδα-δωμάτιο του mud logger που βρίσκεται πάνω στη γεώτρηση και παρουσιάζονται σε μια καταγραφή που ονομάζεται mud log.



Εικόνα 3.1 Μονάδα mud logging, PetroServices GmbH Training Centre.

Η σημαντικότητα της υπηρεσίας mud logging έγκειται στα παρακάτω σημεία:

- Γεωλογική περιγραφή θρυμμάτων και εξέταση για πιθανή εμφάνιση πετρελαίου.
 - Παρακολούθηση αέριων υδρογονανθράκων κατά τη διάτρηση.
 - Εντοπισμός πιθανής εμφάνισης αερίου υδρόθειου (H_2S), εξαιρετικά επικίνδυνο εάν δεν εντοπιστεί.
 - Καθορισμός και καταγραφή της έκθεσης mud log καθ' όλη τη διάρκεια της διάτρησης.
 - Παρακολούθηση παραμέτρων διάτρησης όπως το βάρος στο κοπτικό άκρο, η ταχύτητα και η ροπή περιστροφής.
 - Αξιολόγηση της πίεσης των σχηματισμών και της υδραυλικής βελτιστοποίησης.
 - Παρακολούθηση των ιδιοτήτων του ρευστού διάτρησης και άμεση αναφορά σε περίπτωση απρόσμενης μεταβολής τους.
 - Παρακολούθηση του όγκου του ρευστού διάτρησης λεπτό προς λεπτό και άμεση ενημέρωση σε περίπτωση μεταβολής του.
- (PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide").

1. Data Engineer, Mud Logger & Sample Catcher

Οι εταιρίες που αναλαμβάνουν το mud logging σε μία γεώτρηση συνήθως προσλαμβάνουν νεαρούς επιστήμονες ως **sample catchers** (δειγματολήπτες) οι οποίοι εκπαιδεύονται με σκοπό την προαγωγή τους σε **mud loggers**, **data engineers** και **pressure engineers**.

1a. Sample Catcher

Αποτελεί το πρώτο στάδιο της εκπαίδευσης των επερχόμενων mud loggers. Σκοπός τους είναι κατά κύριο λόγο η ανάκτηση δειγμάτων από τον πολφό λάσπης της γεώτρησης. Παράλληλα παρακολουθούν και βοηθούν την δουλειά των mud loggers, data engineers και pressure engineers. Οι ευθύνες των sample catchers συνοψίζονται στα εξής:

1. Εξασφάλιση πως αντιπροσωπευτικά γεωλογικά δείγματα συλλέγονται από κάθε στάδιο της διάτρησης.
2. Πλύσιμο και στέγνωμα των δειγμάτων και διαχωρισμός τους σε σωστές ποσότητες.
3. Συμμετοχή ακόμα και στην επιλογή δειγμάτων κατά τις πυρηνοληψίες.
4. Εξασφάλιση πως όλες οι διεργασίες γίνονται με βάση τις προδιαγραφές που έχει ορίσει η εταιρία mud logging.
5. Συμβολή στην συντήρηση και βαθμονόμηση του εξοπλισμού πλάι στους mud loggers και data engineers.

6. Καλή γνώση των κανόνων ασφαλείας που ορίζει η εταιρία και που διέπουν την όλη διαδικασία.
7. Καλή γνώση αγγλικής ειδικής ορολογίας.
(PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide").

1b. Mud Logger

Αρμοδιότητα του mud logger είναι κυρίως η συντήρηση και η σωστή λειτουργία του εξοπλισμού που παρέχεται από την εταιρία mud logging. Είναι υπεύθυνος για τη σύνθεση και την παρουσίαση των πληροφοριών, που καταγράφονται, σύμφωνα με τις τυποποιημένες διαδικασίες τις εταιρείας mud logging αλλά και τις απαιτήσεις των εκάστοτε πελατών με σκοπό την εξασφάλιση της υψηλής ποιότητας παροχής υπηρεσιών. Οι mud loggers έχουν, συνήθως, 6 με 12 μήνες εμπειρίας ως sample catchers, έχουν εργαστεί ως μαθητευόμενοι mud loggers και έχουν περάσει βασική εκπαίδευση πάνω στον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται. Τα καθήκοντα και οι ευθύνες ενός mud logger συνοψίζονται παρακάτω: (PetroServices GmbH Training Centre).

1. Παρακολούθηση και ανάλυση των δεδομένων λάσπης και διάτρησης όπως αυτά λαμβάνονται από τον εξοπλισμό mud logging.
2. Συλλογή, πλύσιμο και μοίρασμα των θρυμμάτων με βάση τις οδηγίες που δίνονται από την εταιρία.
3. Προετοιμασία γεωχημικών δειγμάτων.
4. Όλα τα δείγματα θα σημειωθούν και ονοματισθούν με βάση τις οδηγίες του επόπτη πληροφοριών και τις απαιτήσεις του εκάστοτε πελάτη.
5. Λιθολογική ανάλυση των θρυμμάτων και των δειγμάτων στο μικροσκόπιο και προσδιορισμός του πορώδους.
6. Φθοροσκόπηση (τεχνική απεικόνισης του εσωτερικού ενός αντικειμένου με τη χρήση ακτίνων X, "Fluoroscopy", Merriam-Webster Dictionary) εξέταση των θρυμμάτων με τους κατάλληλους διαλύτες για την ανίχνευση υδρογονανθράκων.
7. Γεωλογική αξιολόγηση των δεδομένων που συλλέγονται και συσχέτισή τους με τα υλικά αναφοράς που τους παρέχονται.
8. Εξασφάλιση πως γίνεται σωστή συντήρηση, επιδιόρθωση και βαθμονόμηση του εξοπλισμού

και των αισθητήρων με βάση τις οδηγίες των κατασκευαστών.

9. Ο mud logger είναι εξοικειωμένος με την λειτουργία και συντήρηση όλων των συστημάτων διαγραφιών. Εφαρμόζει την κάθε ρουτίνα συντήρησης και βαθμονόμησης σύμφωνα με τις οδηγίες του επόπτη του.
10. Ο mud logger είναι εξοικειωμένος, επίσης, με το hardware των συστημάτων υπολογιστών που χρησιμοποιούνται μέσα στη μονάδα mud logging.
11. Χρωματογραφική ανάλυση και αξιολόγηση υδρογονανθράκων καθώς και εκτίμηση τύπου reservoir.
12. Προετοιμασία διαφόρων τύπων αναφορών (ημερήσιες γεωλογικές αναφορές, εβδομαδιαίες αναφορές, τελικές αναφορές γεώτρησης κ.τ.λ.).
13. Προετοιμασία διαφόρων τύπων διαγραφιών όπως mud log ή gas log.
14. Καλή γνώση αγγλικής ειδικής ορολογίας.
15. Καταγραφή αποθέματος και εξοπλισμού σε μηνιαία βάση.
16. Η υπηρεσία mud logging πρέπει να διατρέχεται από επαγγελματική και υπεύθυνη στάση απέναντι στους συνεργάτες, τους επόπτες και τους εκάστοτε πελάτες.



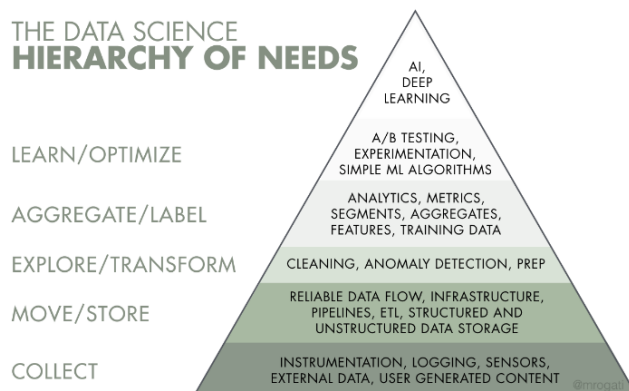
Εικόνα 3.2 Μικροσκοπική εξέταση By Ddbon - I've taken the picture, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=23228814>

1c. Data Engineer

Αρμοδιότητά τους είναι η ανάλυση των δεδομένων της διάτρησης και των διαγραφιών με σκοπό να δίνουν κατάλληλες συστάσεις για τις διατρητικές παραμέτρους. Επίσης ευθύνη τους είναι η τεκμηρίωση, βάσει δεδομένων που έρχονται στα χέρια τους, για ζώνες πλούσιες σε υδρογονάνθρακες. Συνήθως οι data engineer έχουν τουλάχιστον 2 χρόνια εμπειρίας ως mud

loggers. Η θέση απαιτεί ολοκληρωμένη εκπαίδευση πάνω στο mud logging, την αξιολόγηση υδρογονανθράκων και την υδραυλική της γεώτρησης. Τα καθήκοντα και οι ευθύνες ενός data engineer είναι σχεδόν πανομοιότυπα με ενός mud logger και συνοψίζονται στα παρακάτω: (PetroServices GmbH Training Centre, “Basic Mud Logging Guide”).

1. Παρακολούθηση και ανάλυση των δεδομένων λάσπης και διάτρησης όπως αυτά λαμβάνονται από τον εξοπλισμό mud logging.
2. Συντήρηση, επιδιόρθωση και βαθμονόμηση του εξοπλισμού και των αισθητήρων με βάση τις οδηγίες των κατασκευαστών.
3. Φθοροσκόπηση (τεχνική απεικόνισης του εσωτερικού ενός αντικειμένου με τη χρήση ακτίνων X, “Fluoroscopy”, Merriam-Webster Dictionary) εξέταση των θρυμμάτων με τους κατάλληλους διαλύτες για την ανίχνευση υδρογονανθράκων.
4. Γεωλογική αξιολόγηση των δεδομένων που συλλέγονται και συσχέτισή τους με τα υλικά αναφοράς που τους παρέχονται.
5. Χρωματογραφική ανάλυση και αξιολόγηση υδρογονανθράκων καθώς και εκτίμηση τύπου reservoir.
6. Προετοιμασία διαφόρων τύπων αναφορών (ημερήσιες γεωλογικές αναφορές, εβδομαδιαίες αναφορές, τελικές αναφορές γεώτρησης κ.τ.λ.).
7. Προετοιμασία διαφόρων τύπων διαγραφιών όπως mud log ή gas log.
8. Εξασφάλιση πως ο εξοπλισμός ασφαλείας βρίσκεται σε καλή κατάσταση.
9. Εκτέλεση όλων των καθηκόντων σε συνεννόηση και συνεργασία με τους mud loggers.
10. Καλή γνώση αγγλικής ειδικής ορολογίας.
11. Καταγραφή αποθέματος και εξοπλισμού σε μηνιαία βάση.



Εικόνα 3.3 Data science layers towards AI, Source: Monica Rogati.

2. Εξοπλισμός Καμπίνας Mud Logging

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η υπηρεσία mud logging περιλαμβάνει την παρακολούθηση μίας πληθώρας δεδομένων που σχετίζονται με τη γεώτρηση και τη διαδικασία διάτρησης (Alan Whittaker, *Mudlogging: equipment, services and personnel*, 2014). Προκειμένου να καταγραφούν τα δεδομένα αυτά, χρησιμοποιείται εξοπλισμός που αναλογεί από απλή παρακολούθηση δεδομένων μέχρι ψηφιακή μοντελοποίηση της γεώτρησης και του γύρω περιβάλλοντος.

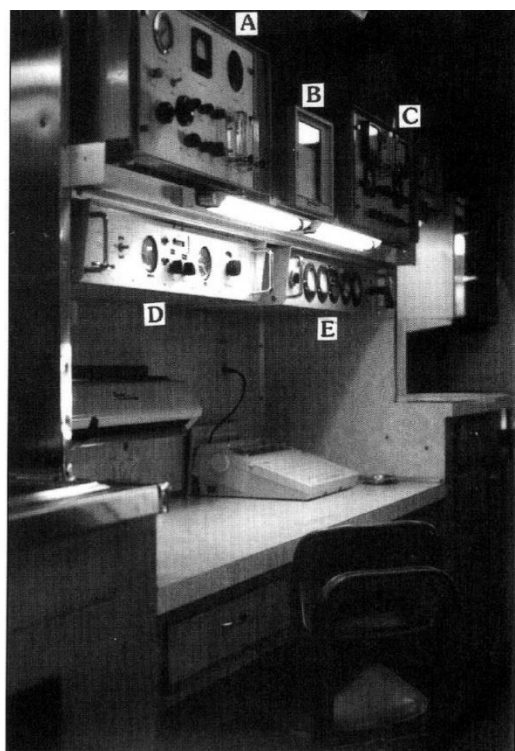
Ο ελάχιστος βασικός εξοπλισμός για την ολοκληρωμένη λειτουργία μίας μονάδας mud logging αναφέρεται επιγραμματικά παρακάτω:

(*Mtlds 10 – Development Geology Reference Manual, AAPG, 1993*)

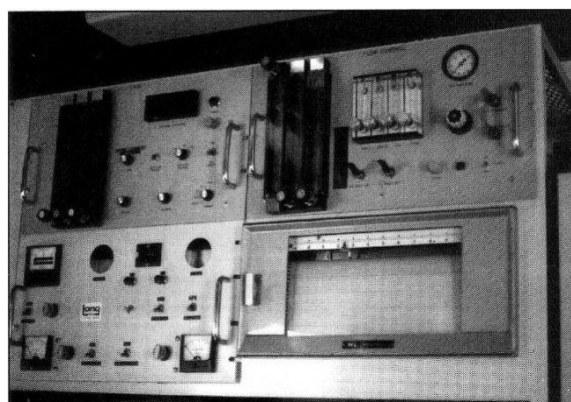
- Gas extraction - Αποτελεί μία αυτοματοποιημένη παγίδα για την απομάκρυνση αερίου κατά την άνοδο της λάσπης στην επιφάνεια.
- Vacuum system - Αποτελείται από μία αντλία κενού, ρυθμιστές πίεσης, μετρητές ροής, φίλτρα και στεγνωτήρες που διατηρούν ομοιόμορφο ρυθμό ροής.
- Total gas detector - Ανιχνευτές τύπου υπέρυθρων είναι οι πιο συχνοί για την ολική ανίχνευση αερίου.
- Chromatograph - Χρησιμοποιείται για την ανίχνευση κυρίως υδρόθειου (H_2S) με τη χρήση ανιχνευτή ιονισμού φλόγας ή ανιχνευτή υπέρυθρων.
- Gas calibration - Βαθμονόμηση του χρωματογράφου και του total gas detector με την έγχυση γνωστών μεμονωμένων ή μικτών αερίων διαφόρων συγκεντρώσεων.
- Blender - Χρησιμοποιείται για την απελευθέρωση αερίου, προς μέτρηση, με ανάδευση δείγματος λάσπης.
- Depth and rate of penetration monitor - Αισθητήρας ικανός να ανιχνεύει αλλαγές σε βάθος και να αντισταθμίζει την μετακίνηση της εξέδρας στις γεωτρήσεις ανοικτής θάλασσας.
- Pump rate counter - Μετρητής βαθμού άντλησης για κάθε ξεχωριστή αντλία λάσπης.
- Mud pit level monitor - Αισθητήρας που παρακολουθεί τα επίπεδα λάσπης στις δεξαμενές.
- Chart recording - Για την συνεχή καταγραφή όλων των δεδομένων.
- Mud test kit - Ένα κιτ εξοπλισμένο για ανάλυση και τιτλομέτρηση του ρευστού διάτρησης.
- Sample processing equipment - Εξοπλισμός για την δειγματοληψία και εξέταση λιθολογίας, ορυκτολογίας και περιεχόμενου πετρελαίου στα θρύμματα.
- Optical equipment - Στερεοσκόπιο για την μικροσκοπική εξέταση των δειγμάτων που φτάνουν

- Hog production equipment - Ένα ολοκληρωμένο σύστημα πληκτρολόγησης και μεταφοράς αρχείων για την αναπαραγωγή των δεδομένων που καταφθάνουν στο mud logging unit/cabin.

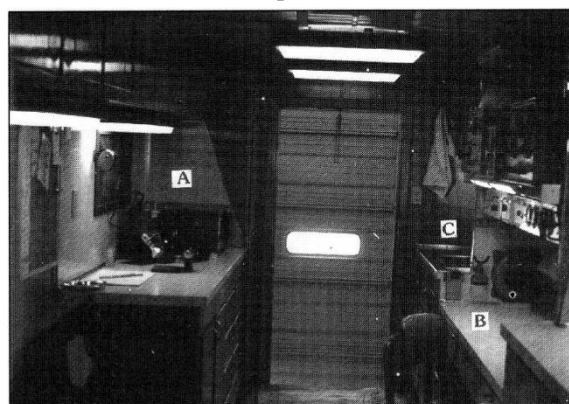
Στις παρακάτω εικόνες διακρίνονται τα βασικά όργανα μέτρησης μέσα σε μία καμπίνα mud logging. Στην εικόνα 3.4 φαίνονται ο χρωματογράφος (A) με τον καταγραφέα του (B), ένας δευτερεύον χρωματογράφος (C), ο αισθητήρας βάθους και χρόνου (D) και ο πίνακας με ενδείξεις παροχής ενέργειας (E). Στην εικόνα 3.5 υπάρχει ένας χρωματογράφος με ανιχνευτή ιονισμού φλόγας ενώ στην εικόνα 3.6 παρατηρούνται ο τομέας εξέτασης των δειγμάτων με στερεοσκόπιο (A), ο πάγκος εργασίας του mud logger (B) και το μέρος προετοιμασίας των δειγμάτων προς εξέταση (C). Τέλος στην εικόνα 3.7 φαίνεται εξωτερικά μία καμπίνα mud logging.



Εικόνα 3.4 Photo. Copyright: Long Co. Technical Service, Casper, WY.



Εικόνα 3.5 Photo. Copyright: Long Co. Technical Service, Casper, WY.



Εικόνα 3.6 Photo. Copyright: Long Co. Technical Service, Casper, WY.



Εικόνα 3.7 Photo. Copyright: Long Co. Technical Service, Casper, WY.

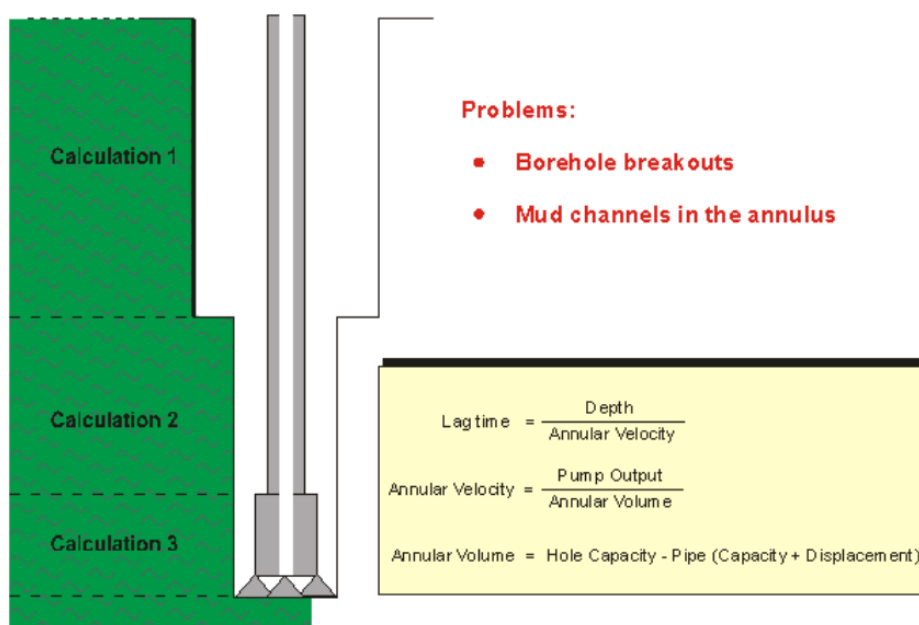
3. Lag Calculations (Υπολογισμός χρόνου ανόδου-καθόδου λάσπης)

Τα δείγματα τα οποία φθάνουν στην καμπίνα του mud logger προέρχονται από τον διαχωρισμό τους από την λάσπη στα shale shakers (δονούμενα κόσκινα). Καταφθάνουν στα χέρια του mud logger με τη χρονολογική σειρά που διατρήθηκαν. Είναι προφανές πως τη στιγμή που ένα διατρηθέν δείγμα φτάνει στα κόσκινα, η διάτρηση συνεχίζει εις βάθος και έτσι το δείγμα που πλέον βρίσκεται στην επιφάνεια θα προέρχεται από βάθος μικρότερο αυτού που βρίσκεται η γεώτρηση. Για παράδειγμα, εάν χρειάζεται μία ώρα για ένα δείγμα να φτάσει στην επιφάνεια από βάθος 6000 ποδιών και το κοπτικό άκρο που περιστρέφεται, τρυπάει 100 πόδια την ώρα, το βάθος, όταν το δείγμα φτάσει στην επιφάνεια, θα είναι 6100 πόδια. Αυτός ο χρόνος που απαιτείται για την άνοδο της λάσπης είναι εξαιρετικής σημασίας και ορίζεται ως lag (καθυστέρηση). Είναι απαραίτητο να γνωρίζεται επ' ακριβώς το lag σε μία διάτρηση και να προσμετράται στα συνεχώς ανερχόμενα δείγματα λάσπης.

Επίσης βασικό είναι το ότι το lag δεν είναι σταθερός χρόνος αλλά μεταβάλλεται όσο αυξάνεται το βάθος της γεώτρησης, με μία πληθώρα παραγόντων (είδος κοπτικού άκρου, ταχύτητα περιστροφής, λιθολογία κ. ά.). Ο προσδιορισμός του lag συνίσταται να γίνεται κάθε 24ωρο ή μία φορά ανά 500 πόδια διάτρησης. Σε γεωτρήσεις όπου η διάμετρος της οπής είναι

μεγαλύτερη των 10 ιντσών, ο προσδιορισμός του lag προτείνεται να γίνεται ανά 250 πόδια διάτρησης (PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide").

Το lag μπορεί να προσδιοριστεί με την έγχυση ενός ιχνογράφου (tracer) μέσα στην διατρητική στήλη, από την επιφάνεια, όταν αυτή αποσυναρμολογείται από το Kelly (βλέπε κεφάλαιο 1. Εισαγωγή). Μετρίεται ο αριθμός των διαδρομών-αντλήσεων που πρέπει να γίνουν μέσω αντλιών λάσπης στο διάστημα μεταξύ της έγχυσης και της εκ νέου ανάκτησης του ιχνογράφου στα κόσκινα. Από τον συνολικό αυτό κύκλο αφαιρείται ο αριθμός των αντλήσεων που χρειάστηκαν για να φτάσει ο ιχνογράφος από την αρχή της στήλης μέχρι και το κοπτικό άκρο. Ο αριθμός που προκύπτει αντιστοιχεί στο εκάστοτε lag. Ο υπολογισμός βάσει των χτυπημάτων-αντλήσεων υπερτερεί έναντι του υπολογισμού βάσει χρόνου. Αυτό συμβαίνει καθώς όταν οι αντλίες σταματούν, ο χρόνος συνεχίζει να κυλάει και έτσι μπαίνει ένας νέος παράγοντας που πρέπει να υπολογίζεται κάθε φορά. Το βασικότερο μειονέκτημα όμως είναι πως η μέτρηση βάσει χρόνου αναφέρεται στη συγκεκριμένη ταχύτητα άντλησης λάσπης που λαμβάνει χώρα την ώρα της μέτρησης ενώ στον υπολογισμό βάσει χτυπημάτων-αντλήσεων το lag αναφέρεται σε οποιοδήποτε ρυθμό άντλησης.



Εικόνα 3.8 Principles of the lag time calculation, "The onsite-geoscientist - Handbook for Drillsite Geology", Thomas Wöhrle, Dec 2002. Όπου annular velocity η δακτυλιοειδής ταχύτητα των ρευστών μέσα σε στήλη, "The Edge of the Universe: Celebrating Ten Years of Math Horizons", 2017. source: https://www.researchgate.net/figure/Principles-of-the-lag-time-calculation_fig50_262003381

4. Sample Collection and Description (Συλλογή και Περιγραφή δειγμάτων)

Όπως έγινε ήδη αντιληπτό, η συλλογή και η περιγραφή των δειγμάτων της γεώτρησης αποτελεί το αρχικό και καίριο στάδιο της υπηρεσίας mud logging. Επαρκής εμπειρία και κατάλληλη εκπαίδευση είναι απαραίτητα χαρακτηριστικά ενός ανερχόμενου (sample catcher) ή εν ενεργεία mud logger. Τα άτομα αυτά αναγνωρίζουν, με μεγάλη ευχέρεια, λιθολογικά και στρωματογραφικά χαρακτηριστικά παρ' όλο που στα τελευταία μεγάλη είναι και η συμβολή του συνόλου των μηχανικών διαγραφιών που λαμβάνουν χώρα πριν, αλλά και κατά τη διάρκεια της διάτρησης. Επειδή ο χρόνος είναι ο νούμερο ένα παράγοντας σε μία γεώτρηση υδρογονανθράκων, η ταχύτατη αλλά και ακριβής περιγραφή των δειγμάτων, που ανέρχονται με την λάσπη, κρίνεται καθοριστική.

4a. Collecting cuttings samples (Συλλογή θρυμμάτων)

Αν το πρωταρχικό αυτό στάδιο δεν γίνει σωστά, τότε ολόκληρη η υπηρεσία mud logging μπορεί να αποδειχθεί άνευ αξίας για τον γεωλόγο και των μηχανικό. Ένα θετικό της συλλογής θρυμμάτων είναι πως αυτά συνήθως αποθηκεύονται πράγμα που σημαίνει πως η πληροφορία που παρέχουν δεν χάνεται και μπορεί να ανατρέξει κανείς για να διορθώσει ή βελτιώσει τις εκτιμήσεις του. Η σωστή συλλογή θρυμμάτων απαιτεί και σωστό υπολογισμό του lag (*PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide"*). Γενικότερα η συλλογή γίνεται συνήθως απευθείας από τα δονούμενα κόσκινα (shale shakers) και πιο σπάνια από τα κουτιά καθίζησης (settling boxes).

➤ Shale shaker samples

Σχεδόν όλες οι γεωτρήσεις, παγκοσμίως, χρησιμοποιούν κόσκινα για τον διαχωρισμό της λάσπης από τα θρύμματα. Κάτω ακριβώς από την επιφάνεια της σήτας βρίσκεται ένα κουτί στο οποίο γίνεται η συλλογή των θρυμμάτων. Το κουτί αυτό πρέπει να καθαρίζεται πολύ καλά μετά από κάθε δειγματοληψία ώστε να μην υπάρχουν αναμίξεις θρυμμάτων από διαφορετικά βάθη. Η διαδικασία συλλογής και καθαρισμού επαναλαμβάνεται ουκ ολίγες φορές καθώς κάθε μία από αυτές αντιστοιχεί σε μόλις λίγα εκατοστά βάθους της γεώτρησης.

➤ Settling box samples

Σε ορισμένες περιπτώσεις η συλλογή θρυμμάτων, που ανέρχονται μαζί με την λάσπη, γίνεται μέσα από τα κουτιά καθίζησης, στα οποία καταλήγει η λάσπη επιβραδυνόμενη λόγω διαφορετικής κλήσεις της ροής της. Η επιβράδυνση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τα θρύμματα να

καθιζάνουν στον πυθμένα του κουτιού από τον οποίο λαμβάνεται με ένα ειδικό κουτάλι μόνο ένα μέρος τους, ενώ τα υπόλοιπα απομακρύνονται με ένα σύστημα που προσομοιάζει αποχέτευση. Συνήθως τα κουτιά καθίζησης χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που το σύστημα κυκλοφορίας έχει υποστεί κάποια βλάβη και η λάσπη προσπερνά ή δεν καταφθάνει ποτέ στα δονούμενα κόσκινα (PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide").

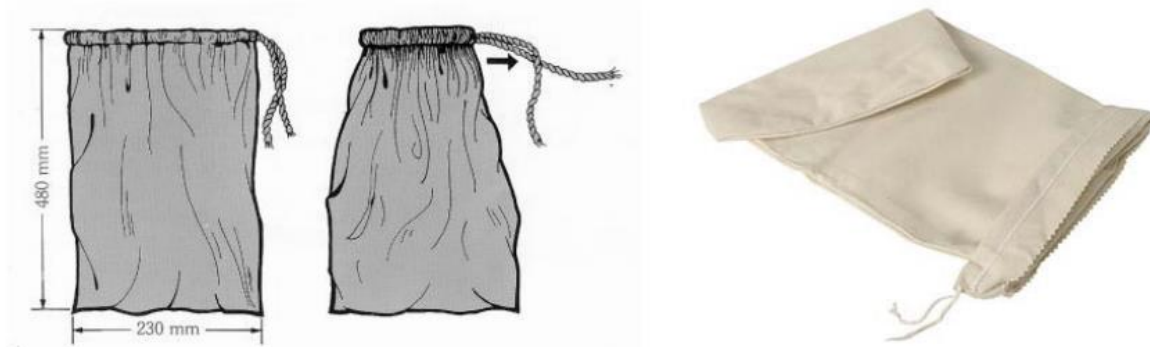
➤ Υποδείξεις και Προφυλάξεις

1. Αν κάποιο δείγμα χαθεί, για οποιοδήποτε λόγο, τότε αυτό θα πρέπει να σημειωθεί. Ένα χαμένο δείγμα είναι καλύτερο από ένα τυχαία χαρακτηρισμένο δείγμα.

2. Σε μία πιθανή παραγωγική ζώνη (π.χ. reservoir) προτείνεται να γίνεται δειγματοληψία πολύ συχνά ακόμα κι αν αυτό θα επιφέρει καθυστέρηση στην ολική διαδικασία της συλλογής των θρυμμάτων (PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide").

➤ Συλλογή "υγρών" δειγμάτων

Ένα υγρό δείγμα αποτελεί ένα τμήμα θρυμμάτων, μη διαχωρισμένο από τη λάσπη, το οποίο χρησιμοποιείται για παλαιοντολογική και πετρολογική ερμηνεία-έρευνα. Τα δείγματα αυτά τοποθετούνται, αμέσως μετά την συλλογή τους, σε υφασμάτινες τσάντες (εικόνα 3.9) και αφήνονται να στεγνώσουν προτού αρχειοθετηθούν. Σημαντικό είναι εδώ να λαμβάνεται υπόψιν πως τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται στη λάσπη (π.χ. για αύξηση ειδικού βάρους) μπορούν να αλλοιώσουν την εικόνα των θρυμμάτων που συλλέγονται.



Εικόνα 3.9 Wet sample bags examples, (PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide").

4b. Washing the cuttings (Πλύσιμο θρυμμάτων)

➤ Πλύσιμο θρυμμάτων από water based mud

Το πλύσιμο και η προετοιμασία των θρυμμάτων για εξέταση στο εργαστήριο είναι εξίσου σημαντική διαδικασία με την ίδια την εξέταση. Ο τρόπος πλυσίματος αναλογεί στην περιοχή και το είδους του εκάστοτε υλικού. Σε περιοχές με σκληρά πετρώματα, τα θρύμματα είναι ευκολότερο να καθαριστούν. Το μεγαλύτερο τμήμα της διαδικασίας αυτής αναλογεί στην εισπίεση νερού απευθείας πάνω στα θρύμματα ώστε να αφαιρεθεί το στρώμα λάσπης που τα περικλείει (*PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide"*).

Εκεί που εμφανίζεται μεγαλύτερη δυσκολία είναι σε θρύμματα περιοχών πρόσφατων γεωλογικών χρόνων όπου η συνεκτικότητα είναι σχετικά μικρή και πρέπει να παρθούν ορισμένες προφυλάξεις ώστε να διατηρηθεί η ποιότητα των δειγμάτων μετά το πλύσιμο. Ο mud logger, για παράδειγμα, πρέπει να λαμβάνει υπόψιν του, στην έκθεση που παρουσιάζει, την πιθανή άργιλο ή ιλύ που υπήρχε στο δείγμα αλλά απομακρύνθηκε μαζί με την λάσπη κατά το πλύσιμο (*PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide"*).

Όσον αφορά τη διαδικασία, αφού τα θρύμματα πλυθούν με εισπίεση νερού, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, πρέπει να τοποθετηθούν σε κόσκινα πλέγματος 5 χιλιοστών και στη συνέχεια σε κόσκινα 20 και 80 Mesh (μονάδα μέτρησης οπών ενός κόσκινου ανά ίντσα επιφάνειας, *KMI ZEOLITE, Mesh to micron conversion chart*). Τα υλικά που μένουν στο πλέγμα των 5 χιλιοστών είναι σημαντικό να εξετασθούν λεπτομερώς. Μία απότομη μείωση της μέσης περιεκτικότητας σε τέτοιου μεγέθους υλικά μπορεί να σημαίνει πως η διάτρηση έφτασε σε περιοχή ασταθούς ή ευδιάλυτου σχηματισμού οπότε και τα υλικά του τεμαχίζονται εύκολα σε μικρά μεγέθη. Μετά την διαδικασία στα κόσκινα, επιλέγεται ένα μέρος των θρυμμάτων και οδηγούνται στην καμπίνα του mud logger όπου και θα εξετασθούν μικροσκοπικά. Σημαντικό είναι, τα θρύμματα προς εξέταση να αποτελούν ένα μόνο στρώμα, από το ολικό δείγμα των κοσκίων, ώστε να γίνεται σωστή εκτίμηση των ποσοστών του κάθε υλικού κάτω από το μικροσκόπιο (*PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide"*). Ένα άλλο μεγαλύτερο μέρος των θρυμμάτων στεγνώνεται και τοποθετείται σε σακούλες προς αρχειοθέτηση για την εταιρία της γεώτρησης.



Εικόνα 3.10 Κόσκινα διαφορετικών μεγεθών κλίμακας Mesh, (*PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide"*).

➤ **Πλύσιμο θρυμμάτων από oil based mud**

Στην περίπτωση του oil based mud, τα θρύμματα είναι πιο αντιπροσωπευτικά των σχηματισμών του βάθους στο οποίο αντιστοιχούν. Την ίδια στιγμή, όμως, υπάρχει μεγαλύτερη δυσκολία στην διαχείριση και στον καθαρισμό τους. Δεν είναι δυνατό να πλυθούν με απλή εισπίεση νερού όπως στην περίπτωση των θρυμμάτων με water based mud. Είναι απαραίτητα να γίνει χρήση ειδικού απορρυπαντικού για να απομακρυνθεί η πιο παχύρρευστη oil based mud.

Στήνονται δύο κοντέινερ, συνήθως δύο κουβάδες χωρητικότητας 5 γαλονιών. Ένα πρέπει να περιέχει διαλύτη όπως νάφθα και χρησιμοποιείται σε πρώτο στάδιο για την απομάκρυνση του εξωτερικού περιβλήματος της λάσπης. Στο άλλο κοντέινερ περιέχεται ένα μίγμα από 5 γαλόνια νερό και ένα οποιοδήποτε απορρυπαντικό του εμπορίου, και χρησιμοποιείται για την περαιτέρω πλύση των θρυμμάτων αφού πρώτα έχει απομακρυνθεί το εξωτερικό περίβλημα λάσπης. Για να γίνει καλύτερη λιθολογική εκτίμηση μετά, τα θρύμματα σπάζονται σε μικρότερα κομμάτια (*PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide"*).

4c. Sample description (Περιγραφή δειγμάτων)

Η ποιότητα του mud log είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ποιότητα των δειγμάτων που λαμβάνονται και προετοιμάζονται. Καθαρά και καλής ποιότητας δείγματα είναι περισσότερο η εξαίρεση παρά ο κανόνας. Ο mud logger πρέπει να μπορεί να κάνει αντιστοίχως καλές περιγραφές σε καλής και κακής ποιότητας δείγματα. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι εξέτασης δειγμάτων. Κάποιοι mud loggers εξετάζουν ένα δείγμα την φορά, άλλοι απλώνουν τα δείγματα σε σειρά ανάκτησης για να εξετάσουν την μετάβαση από μία λιθολογία σε μία άλλη. Η υφή και οι δομικές λεπτομέρειες γίνονται ευκολότερα εμφανείς κατά την μικροσκοπική εξέταση των δειγμάτων αφού πρώτα προετοιμαστούν σε λεπτές τομές για το οπτικό μικροσκόπιο.

➤ **Σειρά περιγραφής ενός δείγματος**

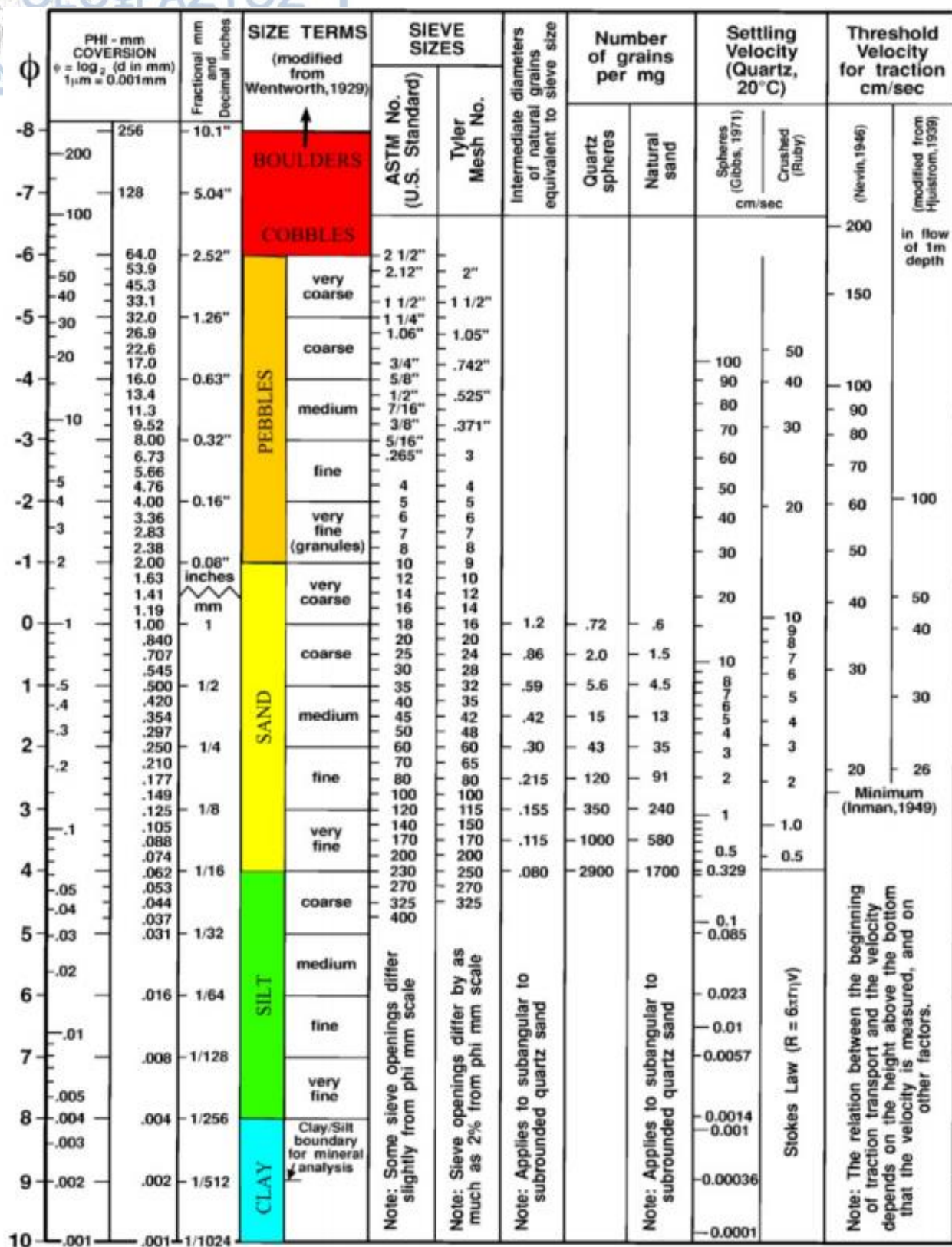
Η περιγραφή των δειγμάτων θα πρέπει να ακολουθεί μία συγκεκριμένη σειρά για να ελαχιστοποιούνται οι πιθανότητες να ξεχαστεί κάποια σημαντική πληροφορία, να έχει ένα πιο επίσημο ύφος στην έκθεση που θα δοθεί από τον mud logger και να εξοικονομείται χρόνος λόγω καλύτερης οργάνωσης (*PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide"*).

Η ακόλουθη σειρά είναι η κοινώς αποδεκτή:

1. Τύπος πετρώματος - Αποτελείται από την βασική ονομασία του πετρώματος ακολουθούμενη από την δομική του ταξινόμηση π.χ. ωολιθικός ασβεστόλιθος.
2. Χρώμα - Αποτελεί στις περισσότερες περιπτώσεις το χρώμα που προσδίδει το υλικό πλήρωσης παρά το χρώμα των κόκκων. Επηρεάζεται αρκετά από συνθήκες περιβάλλοντος όπως οξείδωση. Ονοματίζεται όταν το δείγμα είναι ακόμα υγρό συγκρίνοντάς το με μία κλίμακα χρωμάτων (*Munsell Color System, munsell.com*).
3. Υφή - Περιλαμβάνει μέγεθος κόκκων, στρογγυλότητα και ταξινόμηση. Με βάση το μέγεθος των κόκκων, δίδεται χαρακτηρισμός σύμφωνα με την εικόνα 3.12. Το σχήμα των κόκκων είναι απόρροια της σφαιρικότητας και της στρογγυλότητας τα οποία προκύπτουν με σύγκριση απευθείας με την κλίμακα που φαίνεται στην εικόνα 3.11. Τέλος η ταξινόμηση των κόκκων αποτελεί ένα συνδυασμό της ύπαρξης των κόκκων μέσα στο πέτρωμα με την στρογγυλότητά τους, την ειδική τους βαρύτητα και την περιεκτικότητα σε συγκεκριμένα ορυκτά. Ένα καλά ταξινομημένο δείγμα αποτελείται κατά 90% από μέχρι και δύο διαφορετικές τάξεις μεγέθους, ένα μέτρια ταξινομημένο από τρεις ή τέσσερις τάξεις μεγέθους και ένα κακώς ταξινομημένο από 5 τάξεις μεγέθους.

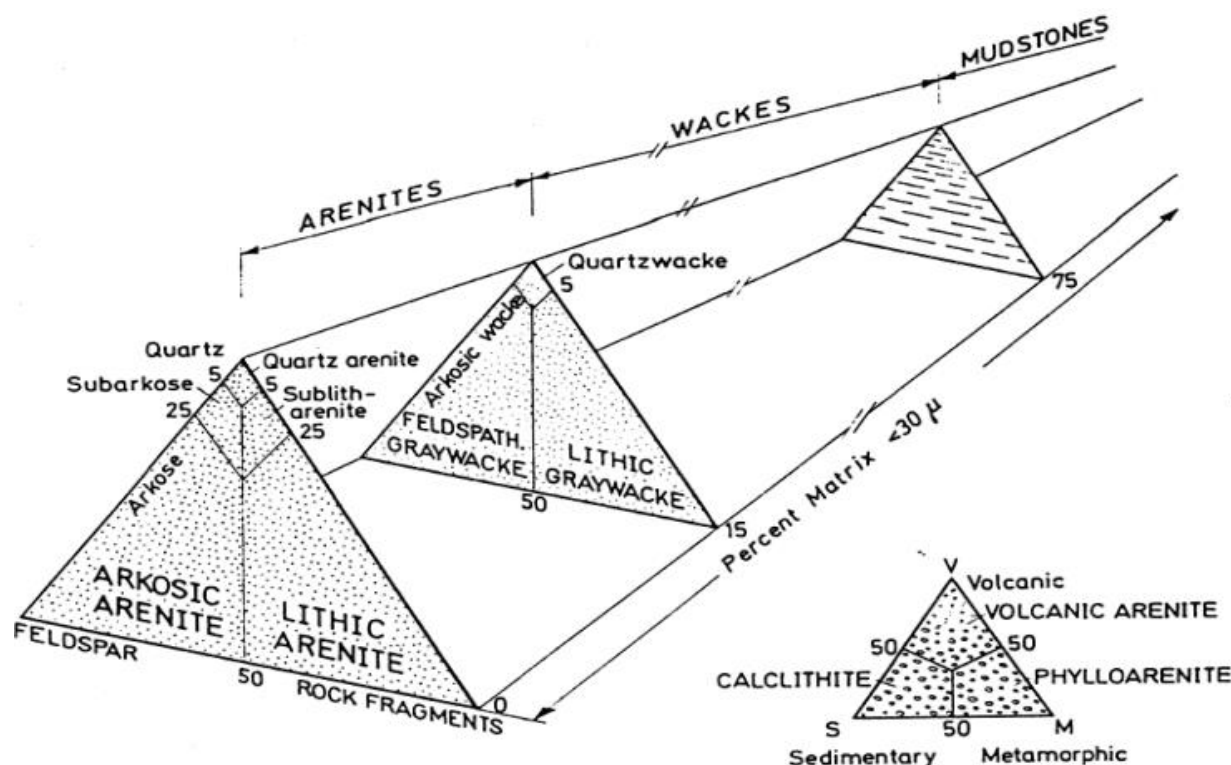
High Sphericity						
Medium Sphericity						
Low Sphericity						
	Very Angular	Angular	Sub-Angular	Sub-Rounded	Rounded	Well Rounded

Εικόνα 3.11 Η ταξινόμηση με βάση την στρογγυλότητα και την σφαιρικότητα στην μικροσκοπική εξέταση των θρυμμάτων, Ugur Ulusoy, modified from Krumbein, August 2019.



Εικόνα 3.12 Η κλίμακα των Udden-Wentworth και νομόγραμμα μετατροπής φ σε mm, United States Geological Survey Open-File Report, 2006-1195.

4. Συγκολλητικό υλικό ή/και υλικό πλήρωσης - Η παρουσία και η ποσότητα των SiO_2 , CaCO_3 κ.τ.λ. ως συγκολλητικό υλικό είναι πολύ σπουδαία τόσο για την διάκριση των ψαμμιτών όσο και για την ερμηνεία του περιβάλλοντος απόθεσης. Όσον αφορά το υλικό πλήρωσης, αν αυτό είναι $<15\%$ τότε δίδεται ο χαρακτηρισμός αρενίτης (arenites), ενώ αν είναι $>15\%$ τότε δίδεται ο χαρακτηρισμός βάκης (wackes). Γενικά οι αρενίτες αποτελούν καλούς ταμιευτήρες υδρογονανθράκων εκτός εάν οι πόροι έχουν πληρωθεί με δευτερογενή ασβεστίτη, Γεωργακόπουλος, "Κοιτασματολογία Πετρελαίου".



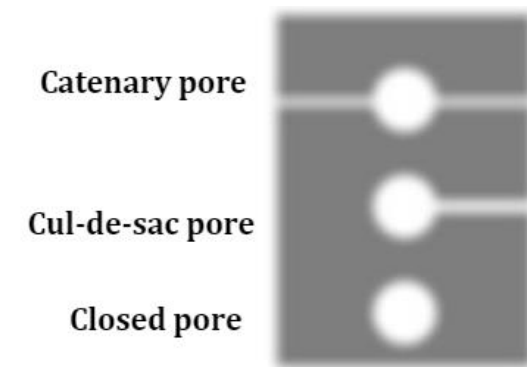
Εικόνα 3.13 Η ταξινόμηση των ψαμμιτών, Potter, Pettijohn and Siever, 1987).

5. Απολιθώματα - Μικροαπολιθώματα που εμφανίζονται στα θρύμματα χρησιμοποιούνται επίσης για την ερμηνεία του περιβάλλοντος απόθεσης. Παρ' όλο που ο mud logger θα πρέπει να ξέρει να αναγνωρίζει βασικά χαρακτηριστικά απολιθώματα, σε ορισμένες περιστάσεις κρίνεται απαραίτητη και η συμβολή ενός παλαιοντολόγου.
6. Ιζηματογενείς δομές - Οι περισσότερες ιζηματογενείς δομές (διάβρωση, στρώση, πλευρική κίνηση, βιογενείς δομές, Δρ. Αβραμίδης Παύλος, University of Patras, 2015) δεν είναι εμφανείς στα θρύμματα. Από την άλλη, όμως, μπορεί να βρεθούν στις πυρηνοληψίες. Σε γενικές γραμμές, οι ιζηματογενείς δομές, σχηματίζονται είτε κατά τη διάρκεια της ιζηματογένεσης είτε μετά από αυτήν. Οι πρώτες (συνγενετικές δομές) είναι σημαντικοί δείκτες του περιβάλλοντος

απόθεσης των ιζημάτων (PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide").

7. Πορώδες και διαπερατότητα - Η εκτίμηση των δύο αυτών παραμέτρων είναι μία από τις σημαντικότερες αρμοδιότητες του mud logger. Το ενδιαφέρον έγκειται στο ενεργό πορώδες ή αλλιώς διαπερατότητα δηλαδή τον όγκο των ανοιγμάτων, ενός σχηματισμού, που επικοινωνούν μεταξύ τους. Υπάρχουν τρεις τύποι επικοινωνίας μεταξύ πόρων σε έναν κλαστικό σχηματισμό, (Mohamed El Ghali, *Classification of porosity morphologically catenary, Geology 3000, Al Fateh University*):

- ~ Αλυσοειδές (Catenary) πορώδες - πόροι που επικοινωνούν μεταξύ τους με τουλάχιστον δύο οπές,
- ~ Cul-de-sac πορώδες - πόροι που επικοινωνούν μέσω μίας μόνο οπής και
- ~ Κλειστοί πόροι - χωρίς επικοινωνία (ανενεργό πορώδες).



Εικόνα 3.14 Mohamed El Ghali, *Classification of porosity morphologically catenary, Geology 3000, Al Fateh University*.

8. Εμφανίσεις υδρογονανθράκων - Παρ' όλο που η πετροφυσική ανάλυση μπορεί να δώσει ενδείξεις παρουσίας πετρελαίου, είναι καθήκον του mud logger να αναφέρει κάθε εμφάνιση ανεξαιρέτως. Δυστυχώς, όμως, δεν υπάρχουν κριτήρια που θα καθορίσουν αν μία εμφάνιση πετρελαίου στα θρύμματα σημαίνει αυτομάτως ότι η γεώτρηση βρίσκεται σε παραγωγική ζώνη, ωστόσο δίνει πιθανότητες εύρεσής της στο άμεσο μέλλον. Ως εκ τούτου σε μία πιθανή εμφάνιση υδρογονανθράκων στα ανερχόμενα θρύμματα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν όλες οι σημαντικές παράμετροι όπως η διαπερατότητα, η πετροφυσική αξιολόγηση και η ποιότητα των τεστ υδρογονανθράκων (hydrocarbon detection tests) (PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide").

5. Routine Hydrocarbon Detection Methods (Τεστ-Δοκιμές Υδρογονανθράκων)

Μερικές από τις πιο κοινές μεθόδους ανίχνευσης υδρογονανθράκων είναι η οσμή (odor), η χρώση πάνω σε θρύμματα (**staining and bleeding**), αντίδραση πετρελαιοφόρων θρυμμάτων σε οξύ, φθορισμός (fluorescence), **cut test**, διαβρεξιμότητα (wettability) και κάποιες δευτερεύουσες δοκιμές όπως acetone water test, hot water test, pyrolysis test, solid hydrocarbon and dead oil (*PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide"*). Παρακάτω αναφέρονται επιγραμματικά πληροφορίες για τις δύο βασικότερες δοκιμές ανίχνευσης που χρησιμοποιούνται, το staining and bleeding και το cut test.

➤ **Staining and Bleeding**

Το πόσο θα ξεπλυθεί ένα θρύμμα κατά την άνοδο του προς την επιφάνεια σχετίζεται άμεσα με την διαπερατότητά του (το ενεργό πορώδες). Σε πολύ διαπερατά πετρώματα το ποσό πετρελαίου που διατηρείται μέσα σε αυτά και καταφθάνει έως την επιφάνεια είναι πολύ μικρό. Συχνότερα παρατηρείται σε πιο συμπαγή πετρώματα, πετρέλαιο το οποίο εξέρχεται από τις οπές είτε των πυρήνων κατά τις πυρηνοληψίες, είτε από τα θρύμματα. Το φαινόμενο αυτό θυμίζει αιμορραγία και για αυτό αποκαλείται bleeding.

Από την άλλη, το ποσό του πετρελαίου που κηλιδώνει ή λερώνει ή αφήνει μια χρώση στα θρύμματα (staining oil) εξαρτάται από την κατανομή των πόρων στο πέτρωμα αλλά και την κατανομή του πετρελαίου μέσα στους πόρους αυτούς. Το χρώμα της κηλίδας είναι χαρακτηριστικό του βάρους του πετρελαίου. Τα βαριά πετρέλαια τείνουν να είναι πιο σκουρόχρωμα ενώ τα ελαφριά πετρέλαια αφήνουν σχετικά άχρωμες κηλίδες. Το χρώμα τόσο των κηλίδων όσο και του bleeding πρέπει να αναφέρονται στην έκθεση του mud logger (*PetroServices GmbH Training Centre, "Basic Mud Logging Guide"*).

➤ **Cut Tests**

Δείγματα με κηλίδες υδρογονανθράκων που είναι αρκετά παλιές μπορεί να μην φθορίζουν (λεκέδες πετρελαίου φθορίζουν στο υπεριώδες φως και ως εκ τούτου πρέπει να γίνεται τέτοια δοκιμή σε κάθε δείγμα). Κάτι τέτοιο δεν πρέπει να λαμβάνεται όμως ως απόδειξη έλλειψης υδρογονανθράκων. Κάθε δείγμα στο οποίο υπάρχει υποψία ύπαρξης πετρελαίου πρέπει να επέρχεται σε δοκιμή με κάποιο αντιδραστήριο (reagent). Τα πιο συνηθισμένα αντιδραστήρια είναι χλωροθένιο, πετρελαϊκός αιθέρας και ακετόνη. Η χρήση του αιθέρα δίνει καλύτερα αποτελέσματα ενώ το χλωροθένιο αποτελεί αντιδραστήριο γενικής χρήσης και η ακετόνη προτιμάται κυρίως σε

βαριά πετρέλαια.

Η όλη διαδικασία πρέπει να ξεκινήσει με καλό στέγνωμα των θρυμμάτων καθώς οποιαδήποτε παρουσία νερού μπορεί να εμποδίσει την δράση των αντιδραστηρίων. Τοποθετούνται μερικά κομμάτια θρυμμάτων σε ένα λευκό πορσελάνινο πιάτο (ειδικά ρηγά μπολ με, στόμιο, που χρησιμοποιούνται για δοκιμές εξάτμισης, *fisher scientific, fishersci.com/us/en/browse/90111020/evaporating-dishes*) και καλύπτονται από το αντιδραστήριο που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί. Το δείγμα υδρογονάνθρακα που εξέρχεται ως αποτέλεσμα της δράσης του αντιδραστηρίου ονομάζεται “cut” εξ ου και η ονομασία cut test της δοκιμής. Εξετάζεται κάτω από απλό φως, όχι σε υπεριώδες, και περιγράφεται με βάση την απόχρωση που αφήνει, η οποία κυμαίνεται από σκούρο καφέ έως μη ορατό. Η απόχρωση αυτή εξαρτάται άμεσα από το βάρος τους πετρελαίου (μέση πυκνότητα σε μονάδες API) και πρέπει να δίνεται αυξημένη προσοχή στο σύνθηρες λάθος ότι σκούρα χροιά κατά το cut test σημαίνει αυξημένη ποσότητα υδρογονανθράκων.

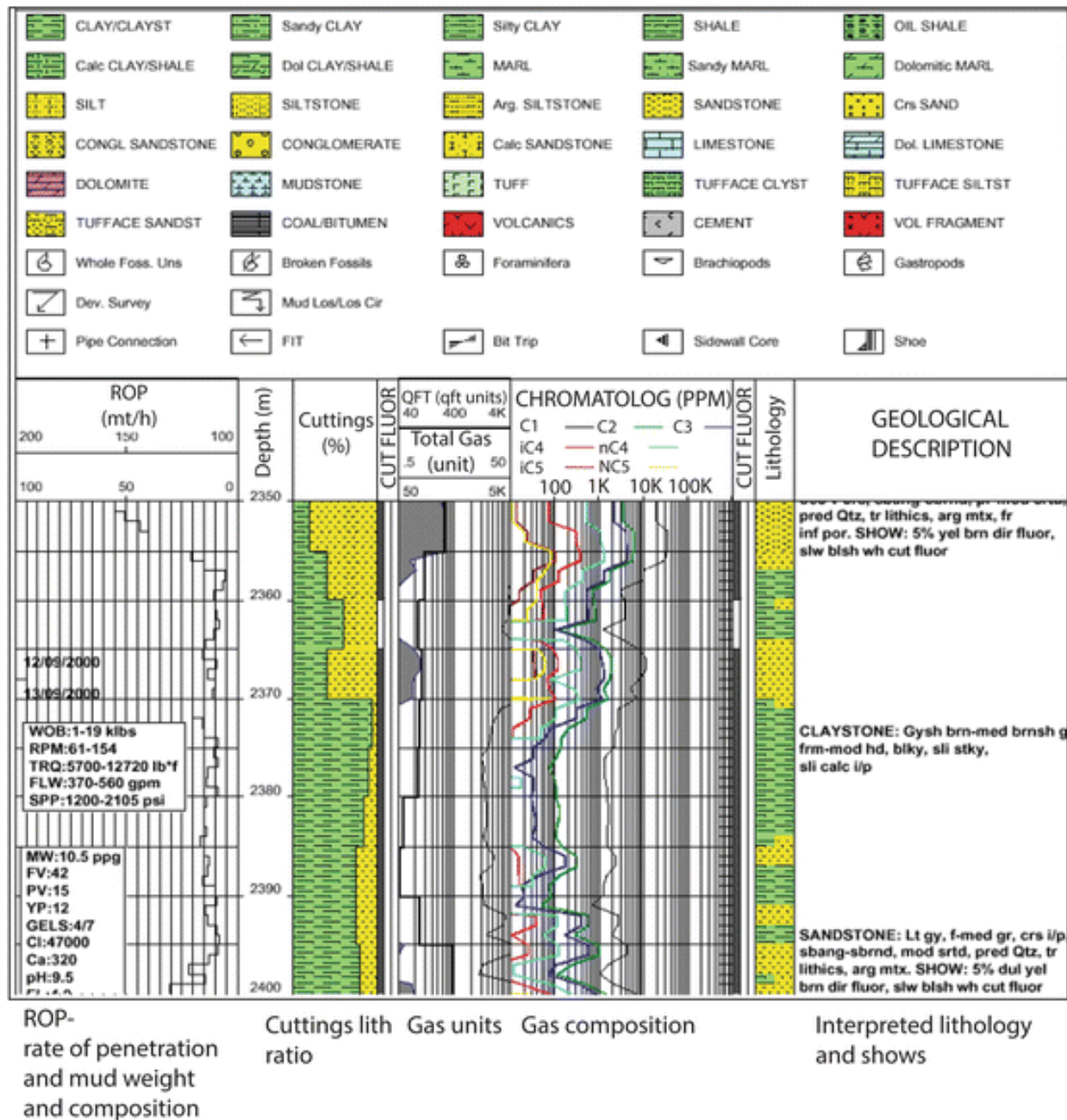
Υπάρχει και προτιμάται, επίσης, αντίστοιχο φθορίζον cut test κατά το οποίο η παρατήρηση γίνεται κάτω από υπεριώδες φως όπου εδώ ισχύει η υπόθεση σύμφωνα με την οποία όσο πιο έντονη είναι η χρωματική αντανάκλαση τόσο πιο σίγουρη η παρουσία υδρογονανθράκων (*PetroServices GmbH Training Centre, “Basic Mud Logging Guide”*). Λόγω της αξιοπιστίας αυτού του τεστ, προτείνεται να πραγματοποιείται οπουδήποτε υπάρχει η παραμικρή υποψία παρουσίας υδρογονανθράκων, ώστε να μην χαθεί καμία πιθανή ένδειξη.

Γενικότερα, χρώμα ανοιχτό μπλε ή λευκό αντιστοιχεί σε πετρέλαιο υψηλής βαρύτητας (υψηλές μονάδες API) δηλαδή ελαφρύ πετρέλαιο, το κίτρινο χρώμα αντιστοιχεί σε πετρέλαιο μεσαίας βαρύτητας ενώ το πορτοκαλί προς καφέ χρώμα φθορισμού αντιστοιχεί στα βαριά πετρέλαια.

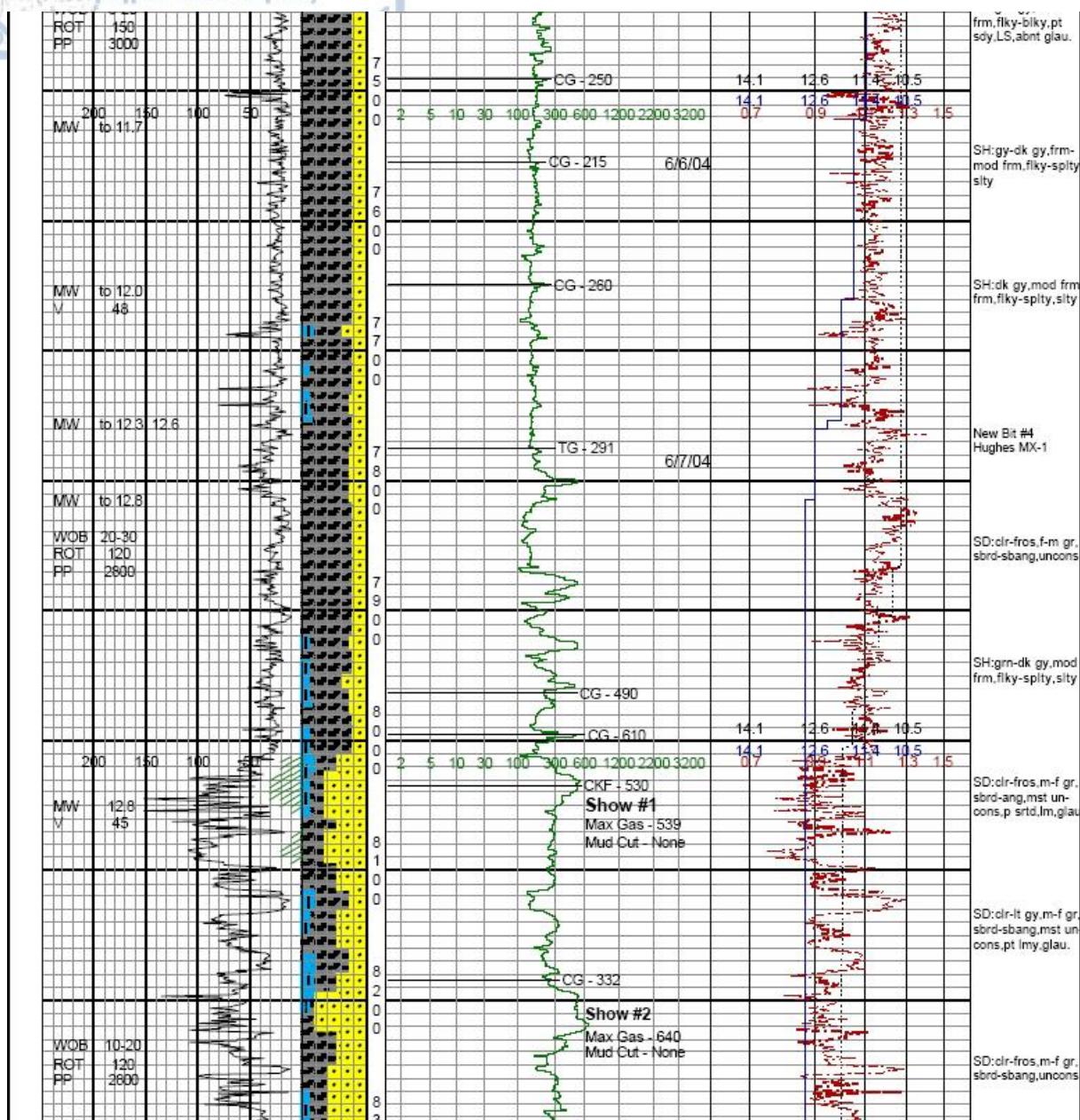
Τέλος, σε κάθε είδους cut test, εάν χρησιμοποιείται ο πετρελαϊκός αιθέρας ως αντιδραστήριο, θα πρέπει να υπάρχει επαρκής εξαερισμός καθώς μπορεί να προσδώσει τοξικότητα σε κλειστούς χώρους. Επίσης τόσο ο πετρελαϊκός αιθέρας όσο και η ακετόνη είναι ιδιαίτερα εύφλεκτα (*PetroServices GmbH Training Centre, “Basic Mud Logging Guide”*).

Όλες οι προαναφερθείσες πληροφορίες καθώς και κάθε άλλη λεπτομέρεια κατά τη διαδικασία και υπηρεσία του mud log από τον mud logger και data logger συντίθενται σε ένα ενιαίο report. Μερικά παραδείγματα φαίνονται παρακάτω.

A typical mud log presentation



Εικόνα 3.15 Παράδειγμα Mud Log από John Dolson, *Drilling, Mud-Logging, Wireline Logs and Cores*, 2016.



Εικόνα 3.16 Παράδειγμα Mud Log από *Mudgineer*, File: *Mud Log cDExp1.jpg*, 2014.

Πλήρες παράδειγμα έκθεσης Mud Log από την DHISERVICES στην περιοχή Niland των ΗΠΑ :
<https://gdr.openei.org/files/904/wister%2012-27%20composite%20log.pdf>

Όπως φαίνεται στα παραπάνω παραδείγματα, σε μία έκθεση Mud log χρησιμοποιούνται ορισμένες συντομογραφίες (abbreviations) μερικές από τις οποίες φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

ABBREVIATIONS

NB	New Bit	LAT	Lagged After Trip
RRB	Re Run Bit	LAS	Lagged After Survey
CB	Core Bit	NR	No Returns
Cnxn	Connection	PR	Poor Returns
CG	Cnxn Gas	LC	Lost Circulation
TG	Trip Gas	CO	Circulate Out
SG	Survey Gas	SVY	Survey
SWG	Swab Gas	AZI	Azimuth
WOB	Weight On Bit	Inc	Inclination
RPM	Rotary RPM	CSG	Casing
PP	Pump Pressure		
SPM	Strokes/Min.		
MW	Mud Weight		
VIS	Funnel Viscosity		
PV	Plastic Viscosity		
YP	Yield Point		
FL	Fluid Loss		
CI	ppm Chloride Ion		
SOL%	Solids %		
SD%	Sand %		
MB	Methylene Blue		
Ca	ppm Calcium		
FC	Filter Cake thick		
Rm	Mud Resistivity		
Rmf	Filtrate Resistivity		

Εικόνα 3.17 Πίνακας συντομογραφιών (abbreviations) από την DHISERVICES κατά την εκτέλεση Mud Log στην περιοχή Niland των Η.Π.Α.



Oilfield Abbreviation List (Abbreviated further for Mudlogging)

A		Cement	cmt	Debris	deb	Firm	frm
Abundant	abun	Cemented	cmtd	Decrease, d, ing	decr	Fissile	fis
Accretion, ary	accr	Cephlapod	ceph	Deepened	dpnd	Flake	flk
Acicular	acic	Chalk	chk	Dense	dns	Flakey	flky
Aglomerate	AGL	Chert	cht	Dessication	dess	Flesh	fls
Aggregate	agg	Chloritic	chl	Determine	dtrm	Fluorescence	flor
Altered, ing	alt	Chocolate	choc	Detrital, us	dtrl	Foliated	fol
Amount	amt	Clastic	cl	Diameter	dia	Foraminifera	Foram
Amorphous	amor	Clay	CL	Difference	dif	Formation	fm
And	&	Claystone	CLST	Direction	dir	Fossil, iferous	fos
Angle	angl	Clean	cln	Directional Survey	DS	Fracture, d, s	frac
Angular	ang	Clear	clr	Dirty	drty	Fragment, ed, al	frag
Anhedral	anhed	Cluster	clus	Discontinuous	discont	Friable	fri
Anhydrite	ANHY	Coarse, ly	crs	Displace, ed, ment	disp	From	fr
Anhydritic	anhyc	Coated	ctd	Disseminated	dis		
Apparent	apr	Cobble	cbl	Distinct	dist	G	
Appear, s	app	Colour	col	Distributed	distr	Gastropod	Gast
Approximate, ly	approx	Colourless	clss	Disturbed	dstrbd	Geologist	geol
Arenaceous	aren	Common	com	Dolerite	DOLR	Glassy	glsy
Argillaceous	arg	Compact	cpt	Dolomite	DOL	Glaucinite, ic	glauc
Associated	assoc	Concentrated	conc	Dolomitic	dol	Gloss	glos
Average	av	Concentric	cncn	Drilled	drlld	Gneiss	GNS
		Conchiodal	conch	Drilling Break	DB	Good	gd
B		Concretion, ary	concr	Dusky	dsky	Grade, d	grd
Band, ed	bnd	Condensate	cond			Grading	grdg
Become, ing	bcm	Conglomerate	CGL	E		Grain, s, ed	gr
Bed	bd	Conglomeritic	cgl	Earthy	rthy	Grainstone	grst
Bedded	bdd	Considerably	consid	Echinoid, erm	Ech	Granular	granlr
Bedding	bdg	Consolidated	cons	Elliptical	elip	Granule	gran
Biotite	biot	Contact	cont	Elongate	elg	Greasy	gsy
Black	blk	Contaminated	contam	Embedded	embd	Green	gn
Block	blk	Contorted	contor	Emulsion	emul	Grey	gy
Blocky	blky	Convolute	conv	Enlarge	enlrg	Greywacke	gywk
Blue	bl	Coprolites	copr	Equivalent	equiv	Ground	gr
Botryoidal	botry	Coral	cor	Estimate	est	Group	gp
Boulder	bldr	Correlate, ion	corr	Euhedral	eu	Gypsum	GYP
Brachiopod	Brac	Covered	cov	Evaporite	evap	Gypsiferous	gyp
Break	brk	Cream	crm	Excellent	ex		
Bright	br	Crenulation	cren	Exploration, ary	expl	H	
Brittle	brit	Crinoid	Crin	Exposed	exp	Halite	HAL
Broken	brkn	Cross bedded	xbdd	Extremely	extr	Haematite, ic	haem
Brown	brn	Cross bedding	xbdg			Hairline	hrln
Bryozoa	bry	Cross laminated	xlam	F		Hard	hd
Buff	bf	Crumbly	cmb	Facet	fac	Heavy	hvy
Bulbous	bulb	Crypto crystalline	cryptxln	Faint	fnt	Heterogenous	heterog
		Crytal	xl	Fair	fr	High	hi
C		Crystalline	xln	Fault, ed	flt	Homogenous	homog
Calcareous/	calc	Cubic	cu	Feldspar	fld	Horizontal	hor
Calcite, ic		Cuttings	ctgs	Feet/foot	ft	Hornblende	hmbd
Carbonaceous	carb			Ferro- magnesian	femg	Hydrocarbons	HC
Carbonate	CO ₃	D		Ferruginous	fe		
Casing	csg	Dark	dk	Fibrous	fib	I	
Caving	cvg	Dead	dd	Fill, ed, ing	fil	Igneous	ig
Cavity	cvt	Dead Oil	ddo	Fine, ly	f	Illite	il
Imbedded	imbd	Little	ltl	No show	NS	Pyroxene	pyrxn
Immediate, ly	imed	Long, length	lg	Nodule, or	nod		
Imperfect	imperf	Loose	lse	Normal	norm	Q	
Impermeable	imperm	Low	lw	Number	no.	Quartz	qtz



Impression	imp	Lower	lwr	Numerous	num	Quartzite	qtzt
Include, sion, d	incl	Lumpy	lmpy			Quartzitic	qtzc
Increase, d, ing	incr	Lustre	lstr	O		Quartzose	qtzs
Indeterminate	indet	Lutite	lut	Object	obj		
Indistinct	indst			Occasional	occ	R	
Interbedded	intbd	M		Ochre	och	Range, ing	rng
Intercrystalline	intxln	Macrofossil	macrfos	Odour	od	Rare	rr
Interest	int	Magnetic	magn	Oil	O or o	Recover, y, ies	rec
Intergranular	intgran	Magnetite	mag	Olive	olv	Recrystallised	rxln
Intergrown	intgwn	Manganese	mang	Olivine	olvn	Red	rd
Interlaminated	intlamin	Mark	mk	Oolite, ic	ool	Regular	reg
Interpretation	intpt	Marl	MAL	Opaque	opq	Remains	rem
Interval, s	int	Marly	mrly	Open, ed	op	Replace, ment	rep
Intraclast	intcl	Maroon	mar	Orange	ornng	Reservoir	resvr
Intraformational	intfm	Massive	mass	Organic	org	Residue, al	resd
Intragranular	intragran	Material	mat	Othoclase	orth	Resinous	rsns
Intrusive, ion	intr	Matrix	mtx	Ostracod	Ost	Returns	ret
Invertebrate	inv	Maximum	max	Oxidised	ox	Rhombic	rhmb
Iridescent	irid	Measured	meas			Rhyolite	RHY
Iron	fe	Measured	MD	P		Ripple	rip
		Depth					
Irregular	irreg	Medium	med	Packstone	pkst	Rock	rk
		Metal, ic	met	Pale	pa	Round, ed	rnd
J		Metamorphic	metam	Part, ly	pt	Rounding	rndg
Jasper	jasp	Mica	mic	Patch, y	ptch	Rough	rgh
Joint, ed, s	jt	Micaceous	micac	Pearly	prly	Rubby	rub
		Micro	micr	Pebble	pbl		
K		Microcrystalline	micrxln	Petroleum	petr	S	
Kaolin, ite, itic	kaol	Microfossil	micrfos	Phosphatic	phos	Saline	sal
Kick Off Point	KOP	Micrograined	micrgr	Pink	pk	Salinity	S
		Micromicaceous	micrmic	Pinpoint	pp	Sample, s	smpl
L		Middle	mid	Pitted	pitd	Sand	SD
Laminae, ted	lam	Milky	mky	Plagioclase	plag	Sandstone	SST
Laminations	lamss	Mineral, ised	mnrl	Plastic	plas	Sandy	sdv
Large	lrg	Minimum	min	Platy	plty	Scarce	scr
Layer	lyr	Minor	mnr	Polished	pol	Scattered	scat
Leach	lch	Miscellaneous	misc	Polyhalite	polyh	Schist	SCH
Leached	lchd	Moderate, ly	mo	Poor	p	Secondary	2ndry
Lens	lms	Mollusc, a	Mol	Poorly	ply	Sediment, ary	sed
Lenticular	lent	Montmorillonite	mont	Poor Returns	PR	Serpentine	serp
Light	Lt	Most	mst	Porosity	por	Shale	SH
Lignite	LIG	Mostly	mstly	Possible	pos	Shaley	shy
Lignitic	lig	Mottled	mot	Predominantly	pred	Shell, s	shls
Lime	lm	Mud Cake	CK	Preserved	presv	Silica	sil
Limestone	LST	Mudstone	MDST	Pressure	press	Siliceous	silic
Limy	lmy	Muscovite	musc	Probably	prob	Silt	SLT
Limonite, ic	lim			Prominant	prom	Siltstone	SLTST
Liquid	liq	N		Psuedo	psdo	Silty	slty
Lithic	Lithic	No, non, nil	n	Purple	purp	Size	sz
Lithoclast	Lithcl	No returns	NR	Pyrite	pyr	Slight, ly	sl
Lithology	lith	No sample	nsmpl	Pyroclastic	pyro	Small	sm
Smooth	Sm	Upper	up				
Soft	sft						
Soluble	sol	V					
Solution	soln	Variable	var				
Some	sm	Varicoloured	varic				
Sorted	srt	Vein	vn				
Sorting	srtg	Veribrate	vtb				
Sperry (calc)	spar	Very	v				
Sphericle	sph	Vesicular	ves				
Splinter	splt	Visible	vis				
Splintery	sply	Vitreous	vit				
Spot	spt	Volcanic	volc				
Spotted	sptd	Volume	vol				
Stain	stn	Vuggy	vug				
Sticky	stcky						
Stippled	stip	W					

Stone	st	Wackstone	wkst
Stratified	strat	Washed	wshd
Streak, s	strts	Water	wtr
Streaming	strmng	Wavy	wvy
Striated	stri	Waxy	wxy
Stringer	strgr	Weak	wk
Strong	strg	Weathered	wthrd
Structure	struc	Weight	w
Sub	sb	Well	w
Sub Angular	sb ang	White	wh
Sub Rounded	sb rnd	With	w/
Sucrosic	suc		
Swab, bing, bed	swbd		
Swelling	swlg	X	
		Xenomorphic	xeno
T			
Tabular	tab	Y	
Tan	tn	Yellow	yel
Texture	text		
Thick	thk	Z	
Thickness	thkns	Zeolite	zeo
Thin	thn	Zone	zn
Throughout	thru		
Tight	tite		
To	-		
Tough	tgh		
Trace	tr		
Translucent	transl		
Transparent	transp		
Tubing	tub		
Tuff	TF		
Tuffaceous	tf		
U			
Unconformity	unc		
Unconsolidated	uncons		
Unidentifiable	unid		
Uniform	uni		
Unsorted	unsrt		

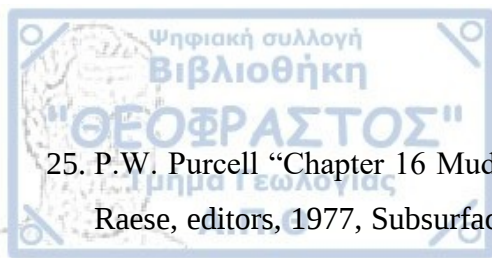
Εικόνα 3.18 Πίνακας συντομογραφιών Mud Logging από Sneetsher Crispy, *A list of Oilfield Terms Abbreviation (Most of the time used in the rig)*, 2008.



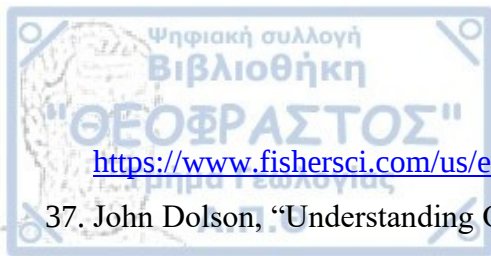
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. PetroServices GmbH Training Centre, “Basic Mud Logging Guide”, Version 2.0.
2. Καθ. Ανδρέας Γεωργακόπουλος, “Κοιτασματολογία Πετρελαίου”, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
<http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo760e/shmeiwseis.htm>
3. United States Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, Oil and Gas Well Drilling and Servicing eTool, Drilling, Tripping Out/In.
https://www.osha.gov/SLTC/etools/oilandgas/drilling/trippingout_in.html
4. Schlumberger, Oilfield Glossary, leakoff test.
https://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/l/leakoff_test.aspx
5. PetroWiki, Mud logging, 2015.
https://petrowiki.org/Mud_logging#cite_ref-r1_1-0
6. Schlumberger, Oilfield Glossary, flocculation.
<https://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/f/flocculation.aspx>
7. Microscope World, Mud Logging Microscopes, 2014.
<http://blog.microscopeworld.com/2014/12/mud-logging-microscopes.html>
8. Rahul Rawat, Drilling Mud Weight, Petroleumroughnecks, Petroleum Engineering-Drilling Basics and calculations-Oil Economic-Oil field Calculation-Hole Problem, 2017.
<https://petroleumroughnecks.wordpress.com/2017/06/30/drilling-mud-weight/>
9. AAPG Wiki, Drilling Fluid, 2019.
https://wiki.aapg.org/Drilling_fluid
10. Rahul Rawat, Fluid viscosity, Petroleumroughnecks, Petroleum Engineering-Drilling Basics and calculations-Oil Economic-Oil field Calculation-Hole Problem, 2017.
<https://petroleumroughnecks.wordpress.com/2017/07/01/fluid-viscosity/>
11. Presmarmethuen.org, Βασική διαφορά μεταξύ του ιξώδους και του πλαστικού ιξώδους.
<https://presmarmethuen.org/el/dictionary/what-is-basic-difference-between-viscosity-and-plastic-viscosity/>
12. Rahul Rawat, yield point and Gel strength, Petroleumroughnecks, Petroleum Engineering-Drilling Basics and calculations-Oil Economic-Oil field Calculation-Hole Problem, 2017.
<https://petroleumroughnecks.wordpress.com/2017/07/02/yield-point-and-gel-strength/>

13. Schlumberger, Oilfield Glossary, gel strength.
https://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/g/gel_strength.aspx
14. Schlumberger, Oilfield Glossary, mudcake & formation damage, from Wikipedia, 2015.
[https://en.wikipedia.org/wiki/Mud_cake_\(oil_and_gas\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Mud_cake_(oil_and_gas))
15. PetroWiki, Glossary: Mud cake, 2013.
https://petrowiki.org/Glossary:Mud_cake
16. Eritia, Filtration, Wall Building, and Resistivity of Drilling Fluid, 2017.
<https://drillingfluid.org/drilling-fluids-handbook/filtration-wall-building-resistivity-drilling-fluid.html>
17. RAHA Gilsonite Co, Gilsonite in Drilling Fluids, Drilling Fluids.
<http://gilsoniteco.com/drilling-fluids/>
18. Schlumberger, Oilfield Glossary, fluid loss.
https://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/f/fluid_loss.aspx
19. fann Instruments Company, Sand Content Test Kit.
<https://www.fann.com/fann/products/drilling-fluids-testing/sand-content.html>
20. Harris, Daniel C. Quantitative Chemical Analysis, W.H. Freeman and Company, 2007. ISBN 0-7167-7041-5, Calmagite, Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Calmagite#cite_ref-1
21. Hach, CalVer 2 Calcium Indicator Powder Pillows, pk/100.
<https://www.hach.com/calver-2-calcium-indicator-powder-pillows-pk-100/product?id=7640190189>
22. Schlumberger, Oilfield Glossary, make up water.
https://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/m/make_up_water.aspx
23. Meriam-Webster Dictionary, Fluoroscopy, Encyclopedia Britannica Online, 2015.
https://en.wikipedia.org/wiki/Fluoroscopy#cite_note-1
24. “What is Data Engineering: Explaining the Data Pipeline, Data Warehouse, and Data Engineer Role”, altexsoft, 2019.
<https://www.altexsoft.com/blog/datascience/what-is-data-engineering-explaining-data-pipeline-data-warehouse-and-data-engineer-role/>



25. P.W. Purcell “Chapter 16 Mud Logging” pp. 347-354 in L.W. Leroy, D.O. Leroy, and J.W. Raese, editors, 1977, Subsurface Geology, Colorado School of Mines, Golden, 941 pp. ISBN 0-918062-00-4.
26. Alun Whittaker, Methods in Exploration, Chapter Mudlogging: equipment, services, and personnel, from AAPG Wiki.
<https://wiki.aapg.org/Mudlogging: equipment, services, and personnel>
27. <https://feet-to-meters.appspot.com/>
28. Helga de Wall, Fig 4, Principles of the lag time calculation.
https://www.researchgate.net/figure/Principles-of-the-lag-time-calculation_fig50_262003381
29. Deanna Haunsperger and Stephen Kennedy Editors, “The Edge of the Universe, Celebrating Ten Years of Math Horizons”, 2017.
https://books.google.gr/books?id=I9oVP8TlyqIC&pg=PA70&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
30. KMI Zeolite, Mesh to micron conversion chart.
<https://www.kmizeolite.com/mesh-chart/>
31. Δρ. Αβραμίδης Παύλος, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, “Ιζηματολογία”.
<https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/GEO337/>
32. Ugur Ulusoy, Fig 1, The classification by roundness and sphericity in the microscope evaluation of particles (modified from Krumbein), 2019.
https://www.researchgate.net/figure/The-classification-by-roundness-and-sphericity-in-the-microscopic-evaluation-of-particles_fig1_335105613
33. <https://munsell.com/>
34. Ulusoy, Ugur. (2019). Quantifying of particle shape differences of differently milled barite using a novel technique: Dynamic image analysis. Materialia. 8. 100434. 10.1016/j.mtla.2019.100434.
35. Mohamed El Ghali, GEOLOGY 3000, Al Fateh University, “Classification of porosity morphologically catenary”, 2016.
<https://www.coursehero.com/file/p56i3ne/Classification-Of-Porosity-Morphologically-Catenary-pore-Cul-de-sac-pore-Closed/>
36. Fisher Scientific, Evaporating Dishes.



- <https://www.fishersci.com/us/en/browse/90111020/evaporating-dishes>
37. John Dolson, “Understanding Oil and Gas Shows and Seals in the search for Hydrocarbons”, Chapter: Drilling, Mud-Logging, Wireline Logs and Cores, 2016.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-29710-1_3
38. Mudgineer, Mud log with corrected d-exponent trending into pressure, 2004.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mud_Log_cDExp1.jpg
39. DHI Services, Mud Log report from Wister 12-27, Niland, Ca, USA, Engineers: Tim Jayne and Terry Crowson, 2010.
<https://gdr.openei.org/files/904/wister%2012-27%20composite%20log.pdf>
40. Sneetsher Crispy, Oilfield Abbreviation List, “A list of Oilfield Terms Abbreviations (Most of the time used in the rig)”, 2008.
<https://www.scribd.com/document/3470294/Oilfield-Abbreviation-List#download>
41. https://petrowiki.org/images/5/5c/Vol5_Page_0359_Image_0001.png
42. Oilfield Team, Shale shakers and gas cutting, 2017.
<https://oilfieldteam.com/en/a/learning/Shale-shakers-and-gas-cutting>