



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΣΟΥΛΟΓΙΑΝΝΗΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΚΕΚΛΙΜΕΝΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2022





ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΣΟΥΛΟΓΙΑΝΝΗΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5485

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΚΕΚΛΙΜΕΝΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-
Κοιτασματολογίας,
Εργαστήριο Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων

Καθηγητής Γεωργακόπουλος Ανδρέας

© Γεώργιος Τσουλογιάννης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας-
Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, 2022



Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΚΕΚΛΙΜΕΝΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ –

Διπλωματική Εργασία

© George Tsoulogiannis, School of Geology, Dept. of Mineralogy-Petrology-Economic Geology, 2022

All rights reserved.

DIRECTIONAL DRILLING – *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

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

Εικόνα Εξωφύλλου: www.teahub.io



ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύονται τα στοιχεία που συνιστούν και καθορίζουν τις κατευθυνόμενες γεωτρήσεις. Οι γεωτρήσεις που σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ούτως ώστε να παρεκκλίνουν του κατακόρυφου άξονα, αποτελούν δύσκολες επιχειρήσεις και χρίζουν λεπτομερούς επίβλεψης.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας αναλύονται τα χαρακτηριστικά και οι λειτουργίες του γεωτρητικού πολφού. Ενός μέσου εξέχουσας σημασίας για κάθε γεώτρηση, καθώς λειτουργεί ως μεσάζοντας για τη λήψη πληροφοριών του υπεδάφους στην επιφάνεια. Ταυτόχρονα, αναλύονται οι διαφορές στην χρήση, αλλά και στη σύσταση μεταξύ των τριών κύριων κατηγοριών πολφών διάτρησης, όπως επίσης και οι διαδικασίες μέσω των οποίων μετρώνται τα χαρακτηριστικά τους ως ρευστά μέσα.

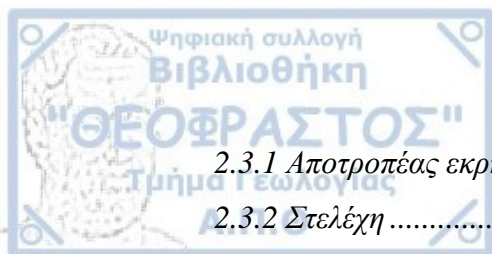
Στο δεύτερο κεφάλαιο πραγματοποιείται η καταγραφή των μηχανικών μέσων μέσω των οποίων λαμβάνει χώρα μια κεκλιμένη ή οριζόντια γεώτρηση. Αναφέρονται τα τεχνικά μέσα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περάτωση των κεκλιμένων ή οριζόντιων γεωτρήσεων, καθώς και ο σχεδιασμός της γεωτρητικής στήλης, ώστε να μπορεί η επιχείρηση διάτρησης να εκτυλίσσεται με τον προβλεπόμενο τρόπο ανάλογα με τις συνθήκες.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται όλες οι εφαρμογές, οι λειτουργίες και τα χαρακτηριστικά που έχουν οι κατευθυνόμενες γεωτρήσεις, διαχωρίζοντας τις κεκλιμένες από τις οριζόντιες. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στις γεωμετρικές, αλλά και τις κατασκευαστικές διαφορές μεταξύ των δύο ειδών, καθώς επίσης και στις εκάστοτε παραμέτρους. Τέλος, γίνεται καταγραφή των διαγραφιών που πραγματοποιούνται τόσο κατά τη διάρκεια της γεώτρησης, όσο και όταν η γεώτρηση δε βρίσκεται σε λειτουργία, καθώς και των πληροφοριών που αντλούνται από τα όργανα.

Θα ήθελα προσωπικά να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Γεωργακόπουλο Ανδρέα, για τη συμβολή του ως επιβλέπων της παρούσας εργασίας, για τις συμβουλές, τις παροτρύνσεις και για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε στη συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας.



ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ	I
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.ΡΕΥΣΤΑ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ.....	2
1.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΟΥ ΠΟΛΦΟΥ.....	2
1.2 ΕΙΔΗ ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΩΝ ΠΟΛΦΩΝ	2
1.2.1 Ταξινόμηση.....	3
1.2.2 Λειτουργίες	4
1.2.3 Πρόσθετες ουσίες	5
1.3 ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΟΙ ΠΟΛΦΟΙ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΝΕΡΟ	6
1.4 ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΟΙ ΠΟΛΦΟΙ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	8
1.5 ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΟΙ ΠΟΛΦΟΙ ΜΕ ΒΑΣΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ.....	10
1.6 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΩΝ ΠΟΛΦΩΝ	11
1.6.1 Πίεση	11
1.6.2 Πυκνότητα	12
1.6.3 Ιζώδες.....	13
1.6.4 pH	16
1.6.5 Απώλειες πολφού και mud cake.....	17
1.6.6 Αλκαλικότητα.....	19
1.6.7 Άλατα και Χλωρίδια	20
1.6.8 Ασβέστιο και Μαγνήσιο	20
1.6.9 Άμμος	21
1.6.10 Στερεά και υγρά πρόσθετα.....	21
2.ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ	21
2.1 ΘΩΡΑΚΙΣΗ	21
2.2 ΤΣΙΜΕΝΤΩΣΗ	23
2.3 ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΗ ΣΤΗΛΗ.....	25



2.3.1 Αποτροπέας εκρήξεων (BOP).....	25
2.3.2 Στελέχη.....	26
2.3.3 Σύνδεσμοι.....	28
2.3.4 Αντίβαρα.....	29
2.3.5 Σταθεροποιητές.....	31
2.3.6 Αποξεστήρες.....	32
2.3.7 Προφυλακτήρες υποστήριξης.....	33
2.3.8 Key seat wiper.....	34
2.3.9 Αποσβεστήρες κραδασμών.....	35
2.3.10 Τουρμπίνες.....	36
2.3.11 Κινητήρες πυθμένα.....	37
2.3.12 Drain sub.....	39
2.3.13 Σφήνες.....	39
2.3.14 Κοπτικά άκρα.....	43
3. ΚΑΤΕΥΘΥΝΟΜΕΝΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ.....	48
3.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	48
3.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ.....	52
3.2.1 Στόχος.....	52
3.2.2 Τύποι τροχιάς.....	52
3.3 ΠΛΑΝΟ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ.....	59
3.3.1 Βάθος.....	59
3.3.2 Κλίση.....	60
3.3.3 Συστήματα αναφοράς αζιμούθιου.....	60
3.4 ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ.....	63
4. ΔΙΑΓΡΑΦΙΕΣ.....	64
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	67
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	68
ABSTRACT.....	68



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....69



Οι γεωτρήσεις παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου αποτελούν μεθόδους όρυξης που εντοπίζονται χρονικά ήδη από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα. Η ανάγκη του ανθρώπου για εκμετάλλευση των κοιτασμάτων υδρογονανθράκων ανά τον κόσμο, έχει ωθήσει την επιστήμη στην εξέλιξη και συνεχή αναζήτηση βελτιώσεων του ερευνητικού, κατασκευαστικού, αλλά και επιχειρησιακού τομέα των γεωτρήσεων.

Οι κεκλιμένες γεωτρήσεις αποτελούν, ίσως, τις πιο απαιτητικές επιχειρήσεις που μπορούν να συναντηθούν στον τομέα των εξορύξεων. Παρόλα αυτά, συνιστούν στις περισσότερες των περιπτώσεων και τις πιο οικονομικά συμφέρουσες λύσεις. Οι κεκλιμένες και οι οριζόντιες γεωτρήσεις δίνουν τη δυνατότητα εξερεύνησης μεγάλων στρωμάτων του υπεδάφους που πιθανολογείται πως μπορούν να είναι ταμιευτήρες υδρογονανθράκων. Η ικανότητα των επιχειρήσεων αυτών να τοποθετούν πολλαπλές γεωτρήσεις ταυτόχρονα από τον ίδιο χώρο εκκίνησης και με παρέκκλισή τους να δημιουργούν ένα πλέγμα ερευνών ή και άντλησης ταμιευτήρων, αποτέλεσαν σημαντικούς παράγοντες για την εξέλιξη και διεύρυνση των γεωτρήσεων σε όλα τα επίπεδα.

Οι κεκλιμένες και οριζόντιες γεωτρήσεις έδωσαν τη δυνατότητα στους ερευνητές να μπορούν να προσεγγίσουν κοιτάσματα των οποίων η άντληση ήταν αδύνατη με τις συμβατικές κατακόρυφες γεωτρήσεις. Ταμιευτήρες – στόχοι που ήταν τοποθετημένοι κάτω ή περίξ αδιαπέρατων σχηματισμών ή κάτω από τοποθεσίες που είτε για περιβαλλοντικούς λόγους, είτε για πρακτικούς δεν μπορούσαν να αντληθούν, πλέον καθίστανται απολήψιμοι λόγω της υπάρχουσας μεθοδολογίας και τεχνολογίας.

Σαφέστατα, οι συνθήκες και οι παράμετροι όταν πρόκειται να πραγματοποιηθούν γεωτρήσεις μέσω παρέκκλισης, δυσκολεύουν. Οι εταιρείες κατασκευής του εξοπλισμού πλέον διαθέτουν την τεχνογνωσία και κατασκευάζουν όργανα πολλές φορές για αποκλειστική χρήση σε συγκεκριμένη γεώτρηση. Επιπλέον, οι βαθύτεροι ταμιευτήρες, σε συνθήκες υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών, πλέον αποτελούν ρεαλιστικούς στόχους για μια γεώτρηση, αλλά το γεγονός αυτό αυξάνει τις απαιτήσεις, και απαιτεί προσοχή, καθώς οι ακραίες συνθήκες πολλαπλασιάζουν και τους κινδύνους αστοχιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΡΕΥΣΤΑ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

1.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΟΥ ΠΟΛΦΟΥ

Το σύστημα των ρευστών διάτρησης αποτελεί μέρος της διαδικασίας μιας γεώτρησης, το οποίο βρίσκεται σε λειτουργία καθ' όλη τη διάρκειά της. Χαρακτηρίζεται από μια συνεχή κίνηση ρευστών μέσα και έξω από τη γεώτρηση ολοκληρώνοντας μια κυκλική κλειστή πορεία γνωστή και ως "Σύστημα κυκλοφορίας γεωτρητικής λάσπης", το οποίο μπορεί να περιγραφεί ως εξής: Αρχικά, πετρελαιοκίνητοι ή ηλεκτρικοί κινητήρες θέτουν σε κίνηση τα έμβολα των αντλιών θετικής μετατόπισης εισάγοντας πίεση η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις ξεπερνά τα 5.000 psi. Η λάσπη της γεώτρησης αντλείται από τις δεξαμενές λάσπης και δεχόμενη την πίεση των αντλιών κινείται μέσα σε ειδικούς εύκαμπτους σωλήνες καθώς διοχετεύεται στη διατρητική στήλη, καταλήγοντας στο επάνω μέρος του τετραγωνικού ή εξαγωνικού στελέχους Kelly ή στο πάνω μέρος του top-drive system. Το στέλεχος αυτό (swivel) μπορεί να περιστρέφεται, δίνοντας τη δυνατότητα στη διατρητική λάσπη να ρέει μέσα στη διατρητική στήλη. Στο κάτω μέρος της διατρητικής στήλης βρίσκεται το κοπτικό άκρο, που ανεβάζει θερμοκρασία όσο τρυπά τα πετρώματα. Μέσω της ροής της η διατρητική λάσπη, η οποία περνά μέσα από τη διατρητική στήλη και βγαίνει μέσα από οπές του κοπτικού άκρου, εκτός του ότι λειτουργεί ως λιπαντικό βοηθώντας στην καλύτερη περιστροφή των στελεχών, βοηθά και στην ψύξη του κοπτικού άκρου. Έτσι, μετά την επαφή της λάσπης με τον πυθμένα της γεώτρησης, παρασέρνει τα θρύμματα των πετρωμάτων που προκύπτουν από την γεώτρηση (drill cuttings) και επιστρέφει στην επιφάνεια διαμέσου του χώρου μεταξύ των στελεχών της διατρητικής στήλης και των τοιχωμάτων της γεώτρησης. Στη συνέχεια, η λάσπη οδηγείται στα κόσκινα καθαρισμού (shale shakers), στα οποία πραγματοποιείται ο διαχωρισμός και η απομάκρυνση των θρυμμάτων, με τη λάσπη να επιστρέφει και πάλι στις δεξαμενές, απ' όπου επαναπροωθείται στη γεώτρηση για να ολοκληρωθεί ο κύκλος ροής της.⁵

1.2 ΕΙΔΗ ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΩΝ ΠΟΛΦΩΝ

Η σύσταση των ρευστών διάτρησης ποικίλει καθώς εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων όπως το οικονομικό κόστος, η απόδοση και το περιβαλλοντικό κόστος. Για το λόγο αυτό έχουν εφευρεθεί ρευστά που χρησιμοποιούν ως βάση τους το νερό, το πετρέλαιο, συνθετικά υλικά ή πεπιεσμένο αέρα μαζί με ορισμένα συστατικά με τα οποία ρυθμίζεται το ιξώδες τους. Προκειμένου τα ρευστά να προσδώσουν την απαραίτητη υδροστατική πίεση ώστε να αντισταθμιστεί η πίεση των πόρων του εκάστοτε σχηματισμού (formation pressure), προστίθεται ή αφαιρείται ποσότητα βαρύτη για τον έλεγχο του ειδικού βάρους των ρευστών.⁷

1.2.1 ΤΑΞΙΝΟΜΙΣΗ

Τα ρευστά διάτρησης συνιστούν διάφορα συστήματα ανάλογα με την χρήση ή τη λειτουργία που επιτελούν κατά τη διάρκεια μιας γεώτρησης. Έτσι, προκύπτουν οι εξής κατηγορίες συστημάτων:

Αδιάλυτα συστήματα: Περιλαμβάνουν είτε «φυσικές» λάσπες, είτε διατρητικές λάσπες, είτε άλλα συστήματα πιο χαμηλής επεξεργασίας. Συνήθως η χρήση τους εντοπίζεται στα ανώτερα τμήματα ενός πηγαδιού.

Διαλυτά συστήματα: Στα συστήματα αυτά η διαλυτότητα επιτυγχάνεται με την προσθήκη αντιπηκτικών και στοιχείων που εμποδίζουν τις απώλειες των ρευστών διάτρησης και χρησιμοποιούνται στις γεωτρήσεις μεγάλου βάθους ή στις περιπτώσεις που εντοπίζονται προβλήματα με το ιξώδες. Τα συστήματα αυτά αναφέρονται και ως «Λιγνοσουλφονικά» συστήματα, καθώς περιλαμβάνουν λιγνίτη και άλλα χημικά στοιχεία που συμβάλουν στη διατήρηση συγκεκριμένων ιδιοτήτων των ρευστών.

Συστήματα επεξεργασμένης λάσπης με ασβέστιο: Ως κύρια συστατικά μπορούν να λειτουργήσουν ο μοντμοριλλονίτης, η γύψος, ο ενυδατωμένος ασβεστίτης, το χλωριούχο ασβέστιο και το μαγνήσιο, μέσω των οποίων περιορίζεται η ενυδάτωση των σχιστολιθικών ή αργιλικών σχηματισμών. Με την προσθήκη Ca^{2+} επιτυγχάνεται η έναρξη της διαδικασίας της κροκίδωσης, καθώς αντικαθιστούν τα μόρια Na^{2+} και εμποδίζουν τη συσσωμάτωση των αργιλικών φύλλων. Επίσης, ο μοντμοριλλονίτης δεν προσφέρει ενυδάτωση. Επομένως, με δεδομένο πως οι περισσότεροι αργιλικοί σχηματισμοί είναι ευάλωτοι στην ανταλλαγή ιόντων, στο συγκεκριμένο σύστημα μειώνεται το ιξώδες του γεωτρητικού πολφού και διευκολύνεται η επιστροφή των θρυμμάτων στην επιφάνεια.⁴

Συστήματα λάσπης πολυμερών: Τα πολυμερή χρησιμοποιούνται για την αύξηση του ιξώδους, την στερεοποίηση των αργίλων, τη μείωση των διαφυγών και την σταθεροποίηση της γεώτρησης. Επίσης, συχνά χρησιμοποιούνται βιοπολυμερή και πολυμερή με σταυρωτούς δεσμούς, λόγω της δυνατότητάς τους να ενισχύουν την αραίωση και τη διάτμηση.

Σύστημα διατρητικής λάσπης χαμηλών στερεών: Τα συστήματα αυτά ελέγχουν το είδος και το περιεχόμενο των στερεών, όπου δεν πρέπει να υπερβαίνουν το 6% με 10%. Επίσης, η περιεκτικότητα σε άργιλο πρέπει να είναι σε ποσοστό μικρότερο του 3%, ενώ τα στερεά διάτρησης με τον μπεντονίτη πρέπει να βρίσκονται σε αναλογία 2:1.

Συστήματα διατρητικής λάσπης εμπλουτισμένης με άλας: Το σύστημα αυτό περιέχει χλωρίδια της τάξεως των 189.000 ppm, ενώ στα συστήματα αλατούχου νερού περιέχονται χλωρίδια από 6.000 ppm έως 189.000 ppm. Τα συστήματα με μικρές

ποσότητες χλωριδίων αποκαλούνται συστήματα «αλατούχου νερού». Οι λάσπες διάτρησης αυτής της κατηγορίας αποτελούνται είτε από γλυκό, είτε από αλατούχο νερό στο οποίο προσθέτονται χλωρίδια του νατρίου ή άλλα άλατα όπως κάλιο κλπ. Για τον έλεγχο και τη διατήρηση του ιξώδους προστίθεται άργιλος με ατταπουλγίτη, CMC (άλας με νάτριο της καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης) ή άμυλο.

Συστήματα διατρητικής λάσπης με βάση το πετρέλαιο: Σε αυτή την κατηγορία εντοπίζονται δύο ειδών συστήματα. Στο πρώτο σύστημα το νερό είναι το στοιχείο που διαλύεται μέσα στο πετρέλαιο που βρίσκεται σε φάση συνεχούς ροής και ονομάζεται αντίστροφο γαλάκτωμα (water-in-oil mud). Στο δεύτερο σύστημα το πετρέλαιο βρίσκεται σε φάση διάλυσης μέσα στη φάση συνεχούς ροής του νερού, μια διαδικασία που δημιουργεί τη γαλακτώδη διατρητική λάσπη (oil-in-water mud). Τα στοιχεία αυτά και στα δύο συστήματα χρησιμοποιούνται ως παράγοντες γαλακτοποίησης, ώστε να ελέγχονται οι ιδιότητες ροής της διατρητικής λάσπης, καθώς το νερό προκαλεί αύξηση του ιξώδους, ενώ το πετρέλαιο μειώσή του.

1. **Συστήματα αέρα, ατμού και διατρητικής λάσπης με βάση τον αφρό:** Τέσσερις τύποι συστημάτων εντοπίζονται σε αυτή την κατηγορία. Ο πρώτος περιλαμβάνει την εισαγωγή αέρα ή φυσικού αερίου μέσα στη γεώτρηση για την απομάκρυνση των θρυμμάτων που προκύπτουν κατά τη διάτρηση και η εφαρμογή του είναι εφικτή έως ότου να προκύψουν αρκετά μεγάλες ποσότητες νερού εντός της γεώτρησης. Στη συνέχεια, τροφοδοτείται αέρας μαζί με παράγοντες που προσθέτουν αφρό, συνθέτοντας τον ατμό διάτρησης. Όταν προκύπτουν μεγάλες ποσότητες νερού, χρησιμοποιείται αφρός στον οποίο έχουν προστεθεί χημικά απορρυπαντικά και πολυμερή που βοηθούν στον σχηματισμό του. Τέλος, τα αεριούχα ρευστά χαρακτηρίζουν το σύστημα όπου η γεωτρητική λάσπη τροφοδοτείται μαζί με αέρα για τη μείωση της υδροστατικής πίεσης. Όλες οι παραπάνω διαδικασίες αυτού του συστήματος χαρακτηρίζονται ως συστήματα χαμηλότερης πίεσης από την υδροστατική.
2. **Συστήματα γεωτρητικής λάσπης για την ολοκλήρωση της διαδικασίας:** Τα συστήματα αυτά αποτελούνται συνήθως από άλμη και ρευστά αναμειγμένα με αλάτι και είναι υπεύθυνα για την ελαχιστοποίηση της φθοράς των σχηματισμών, για τη συμβατότητα με τα ρευστά που ρυθμίζουν την οξύτητα και προκαλούν φραγμούς και τέλος για τη μείωση της ενυδάτωσης των σχιστών ή/και της αργίλου.¹

1.2.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ

Τα ρευστά γεώτρησης επιτελούν σημαντικές και ποικίλες διεργασίες όντας απαραίτητα για την ομαλή διεξαγωγή μιας γεώτρησης. Οι λειτουργίες στις οποίες παίρνουν μέρος είναι οι εξής:

1. Απομακρύνουν τα θρύμματα των πετρωμάτων που προκύπτουν από την περιστροφή του κοπτικού άκρου και τα μεταφέρουν στην επιφάνεια.¹

2. Διατηρούν τα θρύμματα σε αιώρηση (όταν διακόπτεται η κυκλοφορία) μη αφήνοντάς τα να καθιζήσουν.
3. Διαχωρίζονται από τα θρύμματα, ώστε τα τελευταία να μπορούν να μελετηθούν και να αξιολογηθούν.
4. Αντισταθμίζουν την πίεση των πόρων των σχηματισμών μέσω της υδροστατικής πίεσης που ασκούν και φράζουν τα σημεία στα οποία η γεώτρηση περνά από περατούς σχηματισμούς.
5. Ενισχύουν την σταθερότητα της γεώτρησης εμποδίζοντας την κατάρρευσή της ή την δημιουργία εγκοίλων κατά μήκος της.¹
6. Μεταφέρουν την απαιτούμενη υδραυλική ενέργεια για τη λειτουργία των εξαρτημάτων της διατρητικής στήλης.
7. Αποτρέπουν την οξειδωση των μεταλλικών εξαρτημάτων.
8. Επιταχύνουν τη διαδικασία τσιμέντωσης και την ολοκλήρωσή της.⁵
9. Αποτρέπουν τη φθορά των σχηματισμών που αποτελούν τον ταμιευτήρα του κοιτάσματος.
10. Μειώνουν τη θερμοκρασία και λιπαίνουν το κοπτικό άκρο, καθαρίζοντας ταυτόχρονα και τη γεώτρηση.⁵
11. Χρησιμοποιούνται για τη συλλογή πληροφοριών είτε μέσω των αναλύσεων των θρυμμάτων, είτε μέσω των διαγραφιών.⁷
12. Μειώνουν την επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τη γεώτρηση.⁵

1.2.3 ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

Μία σειρά από διάφορες ουσίες (δραστικές ή αδρανείς) προσθέτονται στα διατρητικά ρευστά, ώστε να επιτευχθούν ορισμένες λειτουργίες αλλά και για τον έλεγχο διαφόρων παραγόντων, όπως:

1. Έλεγχος της αλκαλικότητας και του pH χρησιμοποιώντας ασβέστη, υδροξείδιο του νατρίου (καυστική σόδα) και διττανθρακικό νάτριο.
2. Βακτηριοκτόνα, όπως η παραφορμαδεϋδη, το υδροξείδιο του νατρίου, ο ασβέστης και το άμυλο, τα οποία προστίθενται για τη μείωση των βακτηριδίων.
3. Υδροξείδιο του νατρίου, ανθρακικό νάτριο, διττανθρακικό νάτριο και ορισμένα πολυφωσφορικά άλατα χρησιμοποιούνται για την πρόληψη ή την αντιμετώπιση της μόλυνσης των ρευστών από θειικό ασβέστιο (ανυδρίτη ή γύψο).
4. Αντιδιαβρωτικά, όπως ο ένυδρος ασβέστης και τα αμινικά άλατα, χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση του προβλήματος της οξειδωσης εξαιτίας του οξυγόνου και του υδρόθειου. Επίσης, οι διατρητικές λάσπες που έχουν ως βάση το πετρέλαιο έχουν έντονη αντιδιαβρωτική δράση.
5. Αντιαφριστικά, τα οποία μειώνουν την επιφανειακή τάση εμποδίζοντας την εμφάνιση αφρού στα συστήματα αλάτων και κορεσμένου αλατόνευρου.
6. Παράγοντες γαλακτοποίησης, όπως το λιγνοσουλφονικό νάτριο, τα λιπαρά οξέα και τα αμινικά παράγωγα, οι οποίοι λειτουργούν ως σταθεροποιητές επιτρέποντας την ομογενή ανάμειξη υγρών στοιχείων τα οποία υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν είναι εφικτό να αναμειχθούν (π.χ. νερό και

- πετρέλαιο).
7. Άργιλος με μπεντονίτη, άλας με νάτριο της καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (CMC) και προζελατινοποιημένο άμυλο, τα οποία χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση των διαφυγών του νερού προς τους σχηματισμούς.
 8. Κροκιδωτικά, όπως το άλας, ο ένυδρος ασβέστης, η γύψος και το τετραφωσφορικό νάτριο, τα οποία αδρανοποιούν τα κολλοειδή μόρια με αποτέλεσμα τη δημιουργία συσσωμάτων, τον διαχωρισμό των στερεών και την καθίζησή τους.
 9. Αφριστικοί παράγοντες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται συνήθως στις γεωτρήσεις με χρήση αέρα και με την παρουσία νερού δημιουργούν αφρό δρώντας επιφανειακά.
 10. Μαρμαρυγίες και κελύφη καρπών χρησιμοποιούνται εντός της γεώτρησης για να καλύψουν μεγάλα ανοίγματα στους σχηματισμούς, απ' όπου μπορεί να υπάρξουν διαφυγές διατρητικών ρευστών [lost circulation materials].
 11. Ορισμένα έλαια και σαπούνια χρησιμοποιούνται ως λιπαντικά, ώστε να μειωθεί η ροπή του κοπτικού άκρου, καθώς μειώνουν τον συντελεστή τριβής.
 12. Έλαια, απορρυπαντικά, τασιενεργές ουσίες και σαπούνια, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις όπου η σωλήνωση της διατρητικής στήλης έχει κολλήσει. Μειώνοντας την τριβή, αυξάνοντας τη λίπανση στο συγκεκριμένο σημείο και αποτρέποντας την ενυδάτωση των σχηματισμών, βοηθούν την ελευθέρωση των σωλήνων.
 13. Η γύψος, το πυριτικό νάτριο και το λιγνοσουλφονικό νάτριο χρησιμοποιούνται για να περιορίζεται η ενυδάτωση, ο κατακερματισμός και η δημιουργία εγκοίλων στους σχηματισμούς που αποτελούνται από άργιλο ή/και σχίστες.
 14. Επιφανειοδραστικοί παράγοντες χρησιμοποιούνται για τη μείωση της τραχύτητας στις επιφάνειες επαφής μεταξύ νερού-πετρελαίου, νερού-στερεών, κλπ.
 15. Ο βαρύτης, ο αιματίτης, το ανθρακικό ασβέστιο και ο γαληνίτης λειτουργούν ως παράγοντες που αυξάνουν το ειδικό βάρος των ρευστών όταν προστίθενται σε αυτά.

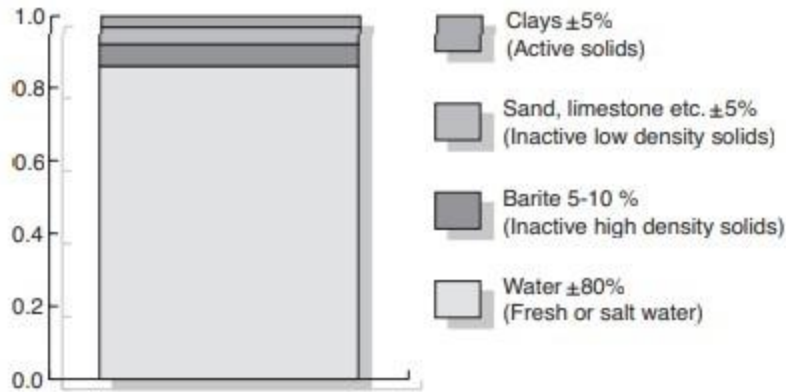
1.3 ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΟΙ ΠΟΛΦΟΙ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΝΕΡΟ

Τα ρευστά με βάση το νερό αποτελούνται από στερεά, υγρά και χημικά πρόσθετα. Τα στερεά χωρίζονται σε ενεργά ή αδρανή. Ενεργά στερεά ονομάζονται αυτά τα οποία αντιδρούν με τα υπόλοιπα συστατικά (νερό και χημικά), οι ιδιότητες των οποίων πρέπει να ελέγχονται προκειμένου η διαδικασία της γεώτρησης να συνεχίζεται αδιάκοπα. Τα αδρανή στερεά είναι τα υλικά τα οποία δεν αντιδρούν με τον πολφό και κατά κύριο λόγο παράγονται κατά τη γεώτρηση (θρύμματα γεώτρησης). Ως βάση χρησιμοποιείται συνήθως γλυκό νερό, αλλά επίσης κατά περίπτωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες βάσεις, όπως το θαλασσινό νερό στις περιπτώσεις των υπεράκτιων γεωτρήσεων καθώς βρίσκεται σε αφθονία και είναι εύκολα προσβάσιμο, το αλατόνερο, το κορεσμένο αλατόνερο και το μυρμηκικό αλατόνερο.⁴

Τα ρευστά με βάση το νερό χωρίζονται σε διαλυτά και αδιάλυτα συστήματα. Τα διαλυτά συστήματα προκύπτουν με προσθήκη ουσιών που βοηθούν τη διάλυση, όπως ταννίνες, λιγνοσουλφίδια και λιγνιτικά πρόσθετα. Αυτά τα χημικά αντιδραστήρια ουσιαστικά αδρανοποιώντας τα κολλοειδή σωματίδια αποτρέπουν τη δημιουργία συσσωμάτων αργίλου, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την ευκολία ροής ακόμη και στους πολφούς υψηλής πυκνότητας. Επιπροσθέτως, για τη διατήρηση του pH στα επιθυμητά επίπεδα (9.5-10.5) είναι απαραίτητη η προσθήκη καυστικής σόδας (NaOH), υδροξειδίου του καλίου ή υδροξειδίου του ασβεστίου. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν ευεργετικά τόσο στη μείωση του ρυθμού διάτρησης διαβρώνοντας τους σχηματισμούς και βοηθώντας το κοπτικό άκρο να τους διαπεράσει, όσο και στην αύξηση της φέρουσας ικανότητας του πολφού σε στερεά ξεπερνώντας τα 20 prpg σε βάρος.⁷

Τα αδιάλυτα συστήματα τα οποία όπως προαναφέρθηκε χρησιμοποιούνται κυρίως στο άνω μέρος της γεώτρησης, περιλαμβάνουν ελάχιστη ποσότητα μεπτονίτη (ή και καθόλου), φυσική άργιλο προερχόμενη από τους σχηματισμούς, ενώ τα πολυμερή χρησιμοποιούνται για καλύτερη μεταφορά των θρυμμάτων που προκύπτουν από τη λειτουργία του κοπτικού άκρου στην επιφάνεια. Τα πολυμερή αυτά είναι μακρομόρια υψηλού ή χαμηλού μοριακού βάρους που προσδίδουν το επιθυμητό ιξώδες, αποτρέπουν τις διαφυγές διατρητικού ρευστού προς τους σχηματισμούς, ενώ άλλα είναι κατάλληλα για συνθήκες υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών αντιμετωπίζοντας τα προβλήματα πήξης που προκύπτουν.⁷

Ωστόσο, όταν κατά τη διάτρηση συναντώνται σχίστες, τα συστήματα που έχουν ως βάση το νερό προκαλούν αντιδράσεις που εμποδίζουν τη συνέχιση της γεώτρησης. Το πρόβλημα εντοπίζεται στα αργιλικά συστατικά των σχιστών, τα οποία όταν έρχονται σε επαφή με το νερό αποσταθεροποιούνται εξαιτίας της ενυδάτωσής τους, με αποτέλεσμα την διόγκωσή τους. Έτσι, αυξάνονται οι πιθανότητες να κολλήσουν οι σωλήνες της διατρητικής στήλης εντός της γεώτρησης και να υπάρξει πιο έντονη στροφορμή που βοηθάει την αύξηση της θερμοκρασίας στον πυθμένα της γεώτρησης. Τα προβλήματα αυτά ήταν τόσο επιχειρησιακά, όσο και χρηματικά καθώς οποιαδήποτε καθυστέρηση στο χρονοδιάγραμμα των γεωτρήσεων αύξανε και το συνολικό χρηματικό κόστος της γεώτρησης.



Εικόνα 1.1: Ποσοστά υλικών στους πολφούς με βάση το νερό, Πηγή: John Ford, 2017

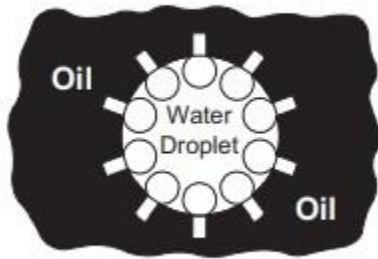
Κατά τη πρόοδο της γεώτρησης υπάρχει μια σειρά από ουσίες οι οποίες επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα και την αποτελεσματικότητα του πολφού. Επομένως, η δέσμευση και απομάκρυνσή τους είναι αναγκαία. Το ασβέστιο (Ca^{2+}) προκαλεί μεγάλη αύξηση του pH του πολφού και συνήθως η ύπαρξή του προκύπτει από το τσιμέντο, τη γύψο ή το αλατόνερο, προκαλώντας τη δυσλειτουργία του μπεντονίτη. Η απομάκρυνση του ασβεστίου επιτυγχάνεται με την προσθήκη ανθρακικού νατρίου (Na_2CO_3), καθώς δημιουργείται ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) το οποίο είναι αδιάλυτο και μπορεί να απομακρυνθεί. Επιπροσθέτως, το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) είναι ένα στοιχείο το οποίο πρέπει να απομακρυνθεί από τη σύσταση του πολφού με τη προσθήκη CaCO_3 . Ένας παράγοντας που μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα είναι το οξυγόνο το οποίο προκαλεί οξείδωση στη διατρητική στήλη, όπου για την απομάκρυνσή του χρησιμοποιείται θειώδες νάτριο, ενώ συχνή είναι και η εμφάνιση υδρόθειου (H_2S) προερχόμενου από τους σχηματισμούς που συναντώνται κατά την πρόοδο της γεώτρησης το οποίο είναι εξαιρετικά τοξικό, καθιστώντας εύθραυστα στο οξυγόνο τα μεταλλικά μέρη της διατρητικής στήλης και αντιμετωπίζεται με προσθήκη NaOH και Na_2SO_3 για την αύξηση του pH.

1.4 ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΟΙ ΠΟΛΦΟΙ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ

Δεδομένου ότι οι σχίστες είναι ένας από τους πιο συχνά εμφανιζόμενους σχηματισμούς κατά τη διάνοιξη μιας γεώτρησης, η ανάγκη για λύση στο πρόβλημα της αντίδρασής τους με το νερό οδήγησε στην δημιουργία της γεωτρητικής λάσπης που έχει ως βάση το πετρέλαιο. Ο συγκεκριμένος τύπος λάσπης περιέχει νερό, ωστόσο αυτό βρίσκεται σε μη συνεχή φάση, είτε στις λάσπες που αποτελούνται πλήρως από πετρέλαιο, είτε στις ανάστροφες, γεγονός που δεν του επιτρέπει να αντιδράσει με την άργιλο. Αυτό που αλλάζει μεταξύ των δύο ειδών είναι η περιεκτικότητά τους σε νερό, καθώς στην πρώτη

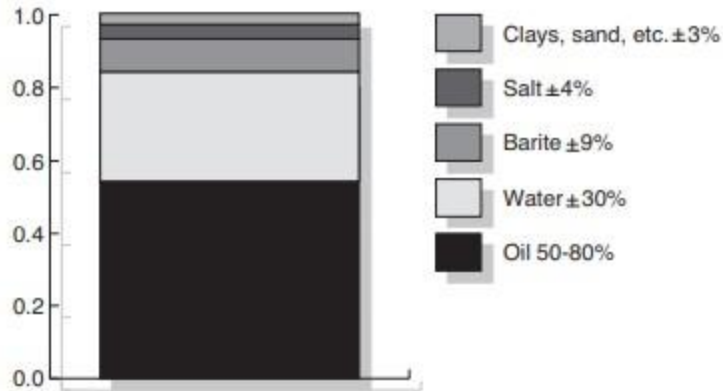
περίπτωση το νερό βρίσκεται σε ποσοστό κάτω του 5%, ενώ στη δεύτερη περίπτωση κυμαίνεται μεταξύ 5% και 50%.⁴

Σε κάθε περίπτωση η συνεχής φάση είναι το πετρέλαιο, με την πιο συχνή αναλογία πετρελαίου/νερού να συναντάται μεταξύ 80/20 και 90/10.



Εικόνα 1.2: Σχηματική απεικόνιση σταγόνας νερού σε περιβάλλον πετρελαίου, Πηγή: John Ford, 2017

Η γεωτρητική λάσπη μπορεί να αποτελείται από πετρέλαιο κίνησης, ορυκτό πετρέλαιο ή από χαμηλής τοξικότητας γραμμικές παραφίνες, που προέρχονται από το αργό πετρέλαιο. Στα παραπάνω προστίθεται αλατούχο νερό του οποίου η ηλεκτρική σταθερότητα παρακολουθείται συνεχώς, καθώς είναι αυτό που κρατά σταθερό το γαλάκτωμα ακόμη και στην περίπτωση που προστεθεί επιπλέον ποσότητα νερού (αν αυτό εντοπιστεί εντός της γεώτρησης) και ασβεστικά πρόσθετα που ρυθμίζουν το pH και αποτρέπουν τη διαρροή των αέριων αποβλήτων του διοξειδίου του θείου και του διοξειδίου του άνθρακα. Όπως και στα υπόλοιπα είδη γεωτρητικής λάσπης, έτσι και σε αυτό, ρυθμιστής της πυκνότητάς της είναι ο βαρίτης, ενώ το ιξώδες ρυθμίζεται με την προσθήκη ή αφαίρεση ποσότητας μπεντονίτη. Επιπλέον, διάφορες επιφανειοδραστικές ουσίες χρησιμοποιούνται για την αραίωσή της όποτε αυτό είναι απαραίτητο και λιγνιτικά υλικά προσθέτονται για να αποτραπεί η διαφυγή ρευστών στις περιπτώσεις γεωτρήσεων χαμηλής πίεσης/χαμηλής θερμοκρασίας (LP/LT) ή υψηλής πίεσης/υψηλής θερμοκρασίας (HP/HT).⁷



Εικόνα 1.3.: Ποσοστά υλικών σε πολφούς πετρελαίου, Πηγή: John Ford, 2017

Παρ' όλη την εύρυθμη λειτουργία που προσφέρει η γεωτρητική λάσπη με βάση το πετρέλαιο, δημιουργεί και ορισμένα προβλήματα με κυριότερο τα απόβλητα που προκύπτουν έπειτα από τον διαχωρισμό της λάσπης με τα θρύμματα που απομονώνονται για περαιτέρω ανάλυση. Τα απόβλητα αυτά έχουν αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον όντας τοξικά, γεγονός που οδήγησε στη δημιουργία νομοθετικών ρυθμίσεων για τη μείωση ή εξάλειψή τους.⁴

Ειδικότερα, στις υπεράκτιες γεωτρήσεις το σύνολο της γεωτρητικής λάσπης μαζί με τα θρύμματα συλλέγονται και μεταφέρονται στην στεριά, όπου γίνεται ο διαχωρισμός και η επεξεργασία τους για την αποφυγή μόλυνσης των υδάτων.⁷

1.5 ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΟΙ ΠΟΛΦΟΙ ΜΕ ΒΑΣΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

Τα τελευταία χρόνια, οι περιορισμοί που έχουν θεσπιστεί για την προστασία του περιβάλλοντος στο χώρο των γεωτρήσεων, έφεραν στο προσκήνιο ένα νέο είδος γεωτρητικού ρευστού το οποίο έχει ως βάση συνθετικά στοιχεία, όπως εστέρες και αιθέρες. Οι πολφοί αυτής της κατηγορίας έχουν εξίσου υψηλή αποδοτικότητα με τους αντίστοιχους του πετρελαίου επιτρέποντας τον υψηλό ρυθμό διάνοιξης κατά την γεώτρηση, προσφέροντας λίπανση αλλά και χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ ταυτόχρονα δεν προκαλούν αντιδράσεις όταν έρχονται σε επαφή με τους σχίστες, σε αντίθεση με τους πολφούς που έχουν ως βάση το νερό. Το χρηματικό τους κόστος είναι υψηλό, ωστόσο έδωσαν λύση στις υπεράκτιες γεωτρήσεις, καθώς είναι πολύ λιγότερο τοξικοί για το περιβάλλον. Επιπλέον, η σταθερότητα που προσφέρουν οι συγκεκριμένοι πολφοί στα τοιχώματα της γεώτρησης είναι από τα στοιχεία που τους καθιστούν ιδανικούς για χρήση στις κεκλιμένες και οριζόντιες γεωτρήσεις.

Τα συνθετικής βάσης γεωτρητικά ρευστά έχουν επίδραση και στις αυξομειώσεις του ιξώδους. Έτσι, τα ρευστά που συνίστανται από γραμμικές α-ολεφίνες ή ισομερείς ολεφίνες λειτουργούν ως ρυθμιστές του ιξώδους όταν αυτό τείνει να αυξηθεί κατά την

εισχώρηση σε μεγάλα βάθη, καθώς εμφανίζουν χαμηλό κινηματικό ιξώδες. Ίσο ή και χαμηλότερο ιξώδες παρουσιάζουν και οι εστέρες οι οποίοι θεωρούνται ως η ασφαλέστερη προς το περιβάλλον επιλογή. Η απουσία αργιλικών και λιγνιτικών πρόσθετων στο συγκεκριμένο σύστημα λάσπης το καθιστά ιδανικό για τον έλεγχο του συστήματος κυκλοφορίας τόσο ως προς τη ροή του πολφού, όσο και ως προς τις απώλειες γεωτρητικού ρευστού, προκαλώντας μείωση τους καθ' όλα τα στάδια της γεώτρησης.

1.6 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΩΝ ΠΟΛΦΩΝ

Τα γεωτρητικά ρευστά απαιτούν συνεχείς αναλύσεις και ελέγχους για κάθε τους ιδιότητα. Η γνώση των χαρακτηριστικών τόσο του ρευστού, όσο και των γεωλογικών στρωμάτων που διαπερνά μια γεώτρηση είναι εξαιρετικά σημαντική.

1.6.1 ΠΙΕΣΗ

Αρχικά, μία από τις σημαντικότερες ιδιότητες που πρέπει να υπολογίζονται κατά τη γεώτρηση είναι η πίεση, η οποία διακρίνεται σε υδροστατική, υδραυλική και επιτηδευμένη.

Υδροστατική πίεση: Αναφέρεται στην πίεση που ασκεί μια στήλη ρευστού, λόγω της πυκνότητας και του κάθετου ύψους της είτε αυτό βρίσκεται σε συνεχή ροή, είτε είναι σταθερό και υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$H_p = MW \times TVD \times 0.0519$$

Όπου: H_p = Υδροστατική πίεση σε psi

$$MW = \text{Πυκνότητα του ρευστού σε Kg/m}^3$$

$$TVD = \text{Πραγματικό κάθετο βάθος σε ft}$$

$$0.0519 = \text{Σταθερά}$$

Υδραυλική πίεση: Αναφέρεται στην δύναμη που πρέπει να ασκηθεί στον πολφό διάτρησης από την αντλία, ώστε να τεθεί σε λειτουργία το σύστημα κυκλοφορίας του από την επιφάνεια στον πυθμένα της γεώτρησης, έως και την επαναφορά του στην επιφάνεια μαζί με τα θρύμματα. Ο υπολογισμός της απαιτούμενης υδραυλικής πίεσης είναι σημαντικός, καθώς καθορίζονται και τα υπόλοιπα στοιχεία της γεώτρησης. Το είδος και το μέγεθος του κοπτικού άκρου, η διαμόρφωση των διατρητικών στελεχών του

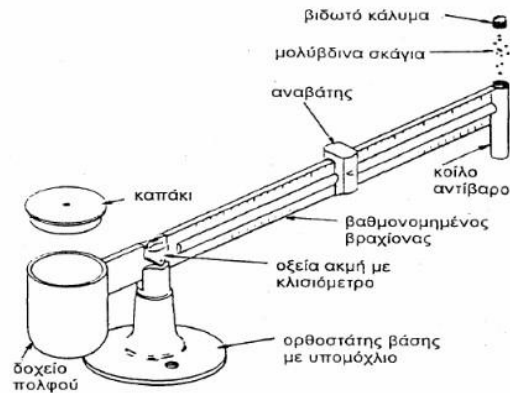
τρυπανιού, η πυκνότητα του πολφού, ο ρυθμός ροής και το μέγεθος του χώρου στον οποίο θα τεθεί σε λειτουργία το κοπτικό άκρο, σε συνδυασμό με την υδροστατική πίεση είναι τα στοιχεία που καθορίζουν και την πίεση που θα ασκηθεί από την αντλία, καθώς επίσης και τη διάμετρο των ακροφύσιων που θα έχει το κοπτικό άκρο για τον ψεκασμό του ρευστού διάτρησης.

Επιτηδευμένη πίεση: Αναφέρεται στην πίεση που προέρχεται είτε από την αντλία, είτε από τους σχηματισμούς του υποστρώματος, όταν η γεώτρηση φτάσει στο σημείο να σφραγιστεί. Σε πολλές περιπτώσεις η άσκηση πίεσης μέσω της ροής του πολφού από την αντλία, γίνεται σκόπιμα για τον προσδιορισμό της αντοχής της τσιμέντωσης. Η ομοιόμορφη δύναμη που ασκείται εντός της γεώτρησης βοηθά στον υπολογισμό της συνοχής που έχει η τσιμέντωση, στον εντοπισμό τυχών ρωγμών, αλλά και στην διαρροή του πολφού εντός των σχηματισμών, ώστε να κλείσει οριστικά η γεώτρηση και να σταματήσει η λειτουργία της αντλίας σε περίπτωση που κριθεί σκόπιμο.

Γενικότερα, η πίεση σε οποιοδήποτε σημείο της κυκλοφορίας του πολφού εντός της γεώτρησης έχει την ίδια τιμή και ισούται με το άθροισμα όλων των πιέσεων που ασκούνται στο συγκεκριμένο σημείο (Υδροστατική, Υδραυλική και 'Επιτηδευμένη'). Σύμφωνα με τον νόμο του Pascal, οποιαδήποτε αλλαγή στην πίεση σε κάποιο σημείο, μεταδίδεται σε όλη τη στήλη του ρευστού. Έτσι, στην περίπτωση που η πίεση ενός σχηματισμού ξεπεράσει την υδροστατική πίεση της γεωτρητικής λάσπης και εισχωρήσουν εντός της γεώτρησης τα ρευστά του σχηματισμού ("Kick"), καθίσταται δυνατός ο εντοπισμός του προβλήματος καθώς γίνεται αντιληπτή η διαφορά της πίεσης στην επιφάνεια, ανεξάρτητα από το βάθος στο οποίο υπάρχει η εισροή.

1.6.2 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

Πρακτικά ονομάζεται το βάρος του ρευστού ανά μονάδα όγκου. Η μέτρηση της πυκνότητας γίνεται με τη βοήθεια οργάνου που ονομάζεται ζυγός γεωτρητικού πολφού.



Εικόνα 1.4.: Ζυγός γεωτρητικού πολφού⁸

Για τη μέτρηση της πυκνότητας τοποθετείται πολφός μέχρι την πλήρωση του δοχείου στη μία άκρη του ζυγού, κλείνει το καπάκι και καθαρίζεται το εξωτερικό. Έπειτα, με κίνηση του αναβάτη και του αντίβαρου στο κατάλληλο σημείο, ο ζυγός έρχεται σε ισορροπία. Η τιμή της πυκνότητας αναγράφεται ακριβώς στο σημείο που έχει επιτευχθεί η ισορροπία. Η πυκνότητα μπορεί να υπολογιστεί σε g/cm³, lb/gal, lb/ft³ ή SG (Ειδική βαρύτητα), μονάδες οι οποίες συνδέονται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$SG = \frac{\text{lb/gal}}{8.345} \text{ or } \frac{\text{lb/ft}^3}{62.3} \text{ or } \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Εικόνα 1.5.: Μονάδες μέτρησης ειδικής πυκνότητας⁵

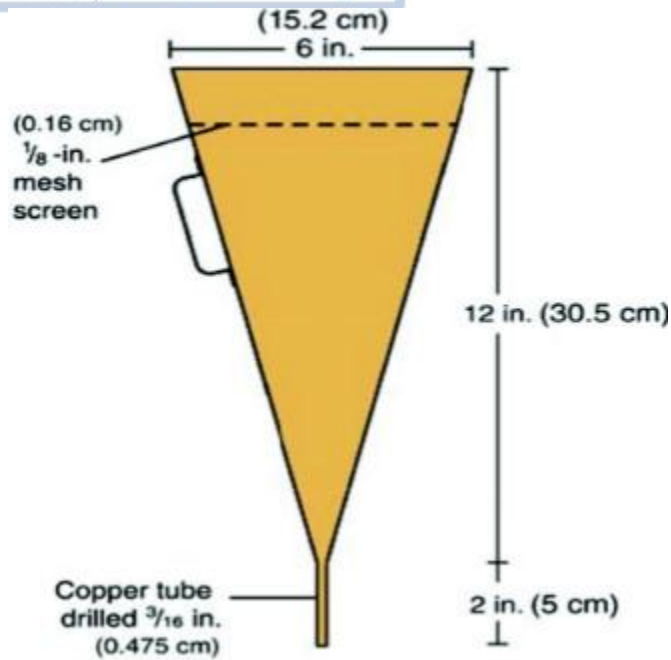
Σημαντική για την ακρίβεια των μετρήσεων είναι η απομάκρυνση όλων των αερίων από τον πολφό που τοποθετείται στο δοχείο, μέσω της απαέρωσης.

1.6.3 ΙΞΩΔΕΣ

Ως ιξώδες ονομάζεται η ιδιότητα ενός ρευστού να αντιστέκεται στην κίνηση. Το ιξώδες μπορεί να μετρηθεί με το Ιξωδόμετρο Fann (Εικόνα 1.6) και το Ιξωδόμετρο χοάνης Marsh (Εικόνα 1.5). Η χοάνη Marsh βοηθά στον υπολογισμό του ιξώδους επιτόπου στο πεδίο όπου πραγματοποιείται η εξέλιξη της γεώτρησης, αλλά δεν μπορεί να δώσει πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο ή την αιτία αλλαγής του ιξώδους. Έτσι, χρησιμοποιείται το Ιξωδόμετρο Fann το οποίο προσφέρει αναλυτικότερες μετρήσεις και περισσότερες πληροφορίες.

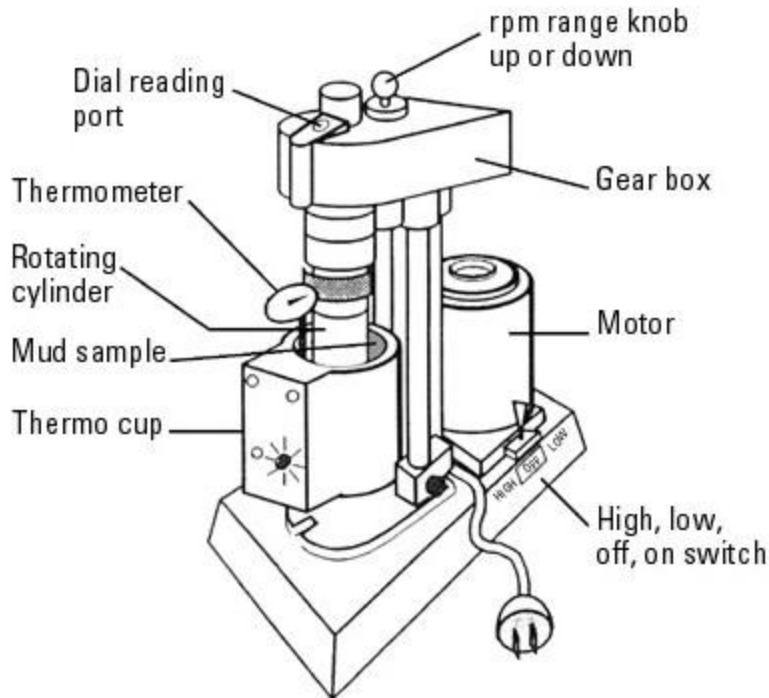
Η χοάνη Marsh έχει απλή λειτουργία, καθώς αφού πληρωθεί το εσωτερικό της με τον πολφό (κλείνοντας το κάτω στόμιο με το δάχτυλο) ελευθερώνεται το κάτω άκρο και

γίνεται η μέτρηση του χρόνου που απαιτείται για να εξέλθει ορισμένος όγκος του πολφού από το στόμιο.



Εικόνα 1.5.: Χοάνη Marsh

Απαραίτητη είναι η αναφορά της θερμοκρασίας του ρευστού. Το ιξωδόμετρο Fann προσφέρει τη δυνατότητα του υπολογισμού τόσο του ιξώδους του ρευστού, όσο και το πλαστικό ιξώδες, το όριο ροής και την αντοχή γέλης (gel strength).



Εικόνα 1.6.: Ιξωδόμετρο Fann

Ποσότητα γεωτρητικού ρευστού τοποθετείται στο δοχείο, το οποίο ανασηκώνεται και ξεκινάει η λειτουργία του οργάνου. Ο κύλινδρος εντός του πολφού μπορεί να ρυθμιστεί σε 600 και 300 rpm στα όργανα των 12-volt, ενώ στα αντίστοιχα των 115-volt μπορεί αναπτυχθούν ταχύτητες 600, 300, 200, 100, 6, και 3 rpm. Η εναλλαγή των ταχυτήτων γίνεται με διακόπτη, ενώ ένας μοχλός στο άνω μέρος του οργάνου δίνει την τιμή της αντοχής της γέλης.

Το δοχείο στο οποίο τοποθετείται ο πολφός είναι θερμαινόμενο. Έτσι, για τον υπολογισμό του ιξώδους, του πλαστικού ιξώδους και του ορίου πλαστικότητας το δείγμα θερμαίνεται στους 49°C (120°F) και αρχικά τίθεται σε λειτουργία ο κύλινδρος στα 600 rpm. Στο ανώτερο τμήμα του οργάνου (Dial reading port) αναγράφεται μία τιμή η οποία καταγράφεται. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για 300 rpm και η τιμή επίσης καταγράφεται.⁵

Το πλαστικό ιξώδες προκύπτει από την αφαίρεση των δύο ενδείξεων (600 και 300 rpm) με μονάδα μέτρησης το centipoise. Το πλαστικό ιξώδες υπολογίζεται για τα μη Νευτώνεια ρευστά. Οι δυνάμεις που επηρεάζουν το πλαστικό ιξώδες είναι αυτές που αναπτύσσονται μεταξύ των στερεών στοιχείων και της λάσπης, αλλά και μεταξύ των μορίων του ίδιου του πολφού. Είναι επομένως σημαντικό να επιτυγχάνεται μια ισορροπία μεταξύ της φέρουσας ικανότητας και της πυκνότητας του πολφού, ώστε να

μπορεί να μεταφέρει στην επιφάνεια τα πρόσθετα στερεά υλικά των θρυμμάτων, αλλά ταυτόχρονα να μη δημιουργεί προβλήματα στην πορεία της γεώτρησης το ιξώδες, αυξάνοντας την πίεση στο δακτύλιο διαμέσου του οποίου ρέει ο πολφός. Η αύξηση του ιξώδους μπορεί να αποφευχθεί με αραιώση του πολφού προσθέτοντας νερό, με φυγοκέντρηση για τον διαχωρισμό των στερεών με βάση τη μάζα και μέγεθός τους, με επιφάνειες δόνησης που δεν επιτρέπουν να τις διαπερνούν στερεά μεγαλύτερα από το επιθυμητό μέγεθος και με τη χρήση συστημάτων «Desander» και «Desilter» για τη μηχανική απομάκρυνση της άμμου ή της αργίλου αντίστοιχα.¹

Το φαινόμενο ιξώδες (σε centipoise) προκύπτει από την ένδειξη στα 600 rpm διαιρούμενη με το 2 .

Ως όριο ροής (Yield point) ορίζεται ως η τιμή μιας τάσης που ασκείται σε ένα υλικό, όπου με την υπέρβασή της το υλικό ξεκινά να ρέει. Το όριο ροής προκύπτει από την αφαίρεση της ένδειξης στα 300 rpm με την τιμή του πλαστικού ιξώδους με μονάδα μέτρησης τις lb/100 f2.

Στους παραπάνω υπολογισμούς πρέπει να αναφερθεί πως η ένδειξη του οργάνου για να χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να υποστεί μετατροπές. Επομένως, πολλαπλασιάζοντας την ένδειξη με 1.067 δίνει το αποτέλεσμα σε lb/100 ft², ενώ αν πολλαπλασιαστεί με 478.8 και διαιρεθεί με τη διατμητική τάση (S-1) προκύπτει αποτέλεσμα σε Dynes/cm².

Για τον υπολογισμό της αντοχής της γέλης, ο κύλινδρος τίθεται σε λειτουργία για 15 sec στα 600 rpm, έπειτα το δείγμα αφήνεται σε ακινησία για 10 sec. Τότε, ο μοχλός που αναφέρει την τιμή της αντοχής ξεκινά να μετρά δεξιόστροφα, αργά και σταθερά. Η μεγαλύτερη τιμή που θα αναδειχθεί πριν το σημείο διάσπασης της γέλης αντιστοιχεί στην αντοχή της γέλης και μετριέται σε lb/100ft². Ιδανικά, για τα γεωτρητικά ρευστά προτιμώνται οι εύθραυστες γέλες.⁵

1.6.4 pH

Για την ομαλή λειτουργία του διατρητικού πολφού είναι αναγκαία η διατήρηση της αλκαλικότητάς του. Το pH επηρεάζει τόσο το ιξώδες του πολφού, όσο και την κατάσταση των μεταλλικών στελεχών της διατρητικής στήλης. Το ιδανικό είναι να κυμαίνεται μεταξύ 8.5 και 9.5. Η μείωση του pH κάτω από τα όρια της αλκαλικότητας βοηθά την οξείδωση των μεταλλικών στελεχών, αλλά και στη τσιμέντωση του φρέατος, ενώ αντίστοιχα η αύξησή του πάνω από 10 μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα όταν έρθει σε επαφή με σχιστολιθικούς σχηματισμούς. Είναι, επομένως, απαραίτητο να απομακρύνονται ή να αδρανοποιούνται τα στοιχεία που επηρεάζουν το pH του πολφού.



Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα στοιχείο που κατά την επαφή του με το νερό αντιδρά και προκύπτει ανθρακικό οξύ, το οποίο μειώνει το pH του γεωτρητικού ρευστού, επιταχύνοντας την οξειδωση. Για την αποφυγή αυτού, θα πρέπει είτε να βρεθεί η εστία διαρροής του διοξειδίου του άνθρακα, είτε να επανέλθει η αλκαλικότητα του πολφού τεχνητά με την προσθήκη NaOH ή CaO.

Επίσης, το H₂S σε συνδυασμό με πιθανή παρουσία CO₂ ή O₂ μπορεί να προκαλέσει τα ίδια προβλήματα οξειδωσης και η αντιμετώπισή του γίνεται είτε με τη διατήρηση του pH του πολφού στο 10+ όταν είναι γνωστό πως θα διαπεραστούν σχηματισμοί που περιέχουν H₂O, είτε με την προσθήκη παραγόντων δέσμευσης σουλφιδίων όπως ZnCO₃, ZnCrO₄, Fe₃O₄, ZnO και ανθρακικού χαλκού.¹

Η μέτρηση του pH γίνεται είτε με pH-μετρικό χαρτί, είτε με ηλεκτρονικό pH-μετρο.

Το pH-μετρικό χαρτί είναι ένα κομμάτι χαρτιού το οποίο έρχεται σε επαφή με τον πολφό μέχρι να εμποτιστεί και αλλάζει χρωματικό δείκτη ανάλογα με το pH. Στον χρωματικό πίνακα γίνεται η αντιστοίχιση της ένδειξης και βγαίνει η τελική τιμή του pH του ρευστού.

Το ηλεκτρονικό pH-μετρο είναι μεγαλύτερης ακρίβειας μετρητής και αυτό που συνιστάται προς χρήση. Για τη μέτρηση αρχικά πρέπει τα ηλεκτρόδια και ο πολφός να έχουν την ίδια περίπου θερμοκρασία (περίπου 75°F). Τα ηλεκτρόδια αρχικά τοποθετούνται σε περιβάλλον με pH 7.0 και το όργανο ρυθμίζεται στην αντίστοιχη θερμοκρασία. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται και σε περιβάλλον με pH 4.0 για χαμηλού pH δείγματα και σε περιβάλλον pH 10.0 για δείγματα υψηλού pH. Αφού οι ενδείξεις σταθεροποιηθούν, τα ηλεκτρόδια στεγνώνονται και τοποθετούνται στο εξεταζόμενο δείγμα, όπου και ο ενδείκτης αναφέρει την τιμή του pH του.⁵

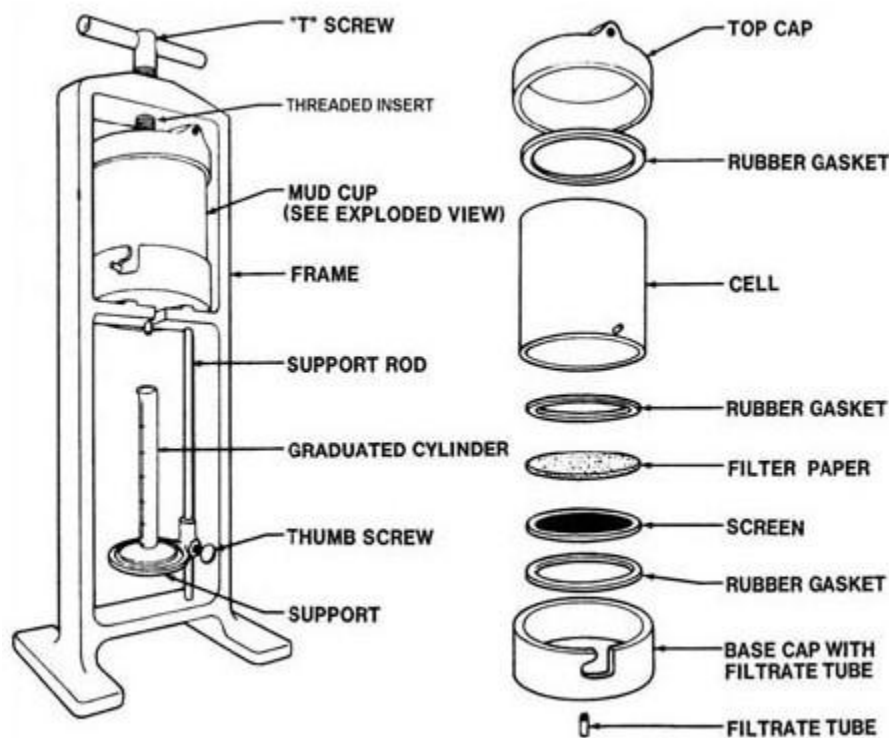
1.6.5 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΠΟΛΦΟΥ ΚΑΙ MUD CAKE

Η απώλεια ρευστών είναι σύνηθες και αναμενόμενο πρόβλημα όταν η γεώτρηση συναντά διαπερατούς σχηματισμούς. Η μείωση των απωλειών από το φρέαρ προς τους σχηματισμούς επιτυγχάνεται μέσω μιας λεπτής στρώσης επικαθήμενου πολφού στα τοιχώματα της γεώτρησης (mud cake). Η λεπτή αυτή στρώση καταφέρνει να αντισταθμίσει την πίεση των πόρων του σχηματισμού και να εμποδίσει τη διαρροή των ρευστών της γεώτρησης. Η δημιουργία του «mud cake» ή «filter cake» μπορεί να πραγματοποιηθεί τόσο κατά τη συνεχή ροή της διατρητικής λάσπης εντός της γεώτρησης, όσο και στην περίπτωση που έχει σταματήσει η κυκλοφορία της.

Η πρώτη περίπτωση ονομάζεται δυναμική και επιτυγχάνεται όταν ο ρυθμός επικάλυψης του πολφού στα τοιχώματα είναι ίσος με τον ρυθμό διάβρωσης της ήδη υπάρχουσας στρώσης. Αυτό επιτρέπει στο λεπτό στρώμα να διατηρεί σταθερό το πάχος του.

Στη δεύτερη περίπτωση όπου ο πολφός είναι σταθερός, το πάχος του στρώματος αυξάνει καθώς εναποτίθεται όλο και περισσότερη λάσπη στα τοιχώματα, μειώνοντας σημαντικά τις απώλειες με την πάροδο του χρόνου.

Η αύξηση του πάχους του «mud cake» μειώνει τη διάμετρο του φρέατος αυξάνοντας τις δυνάμεις αντίστασης που συναντά η γεωτρητική στήλη προκαλώντας πιθανόν και την σφήνωσή της σε διάφορα σημεία, αυξάνει την πίεση καθώς μειώνεται η ακτίνα του δακτυλίου μεταξύ της στήλης και των σχηματισμών και δημιουργεί δυσκολίες στις μετρήσεις κατά τη διαδικασία των διαγραφιών. Η μέτρηση επομένως των απωλειών αλλά και του πάχους που δημιουργεί ο γεωτρητικός πολφός είναι αναγκαία και πραγματοποιείται μέσω ενός οργάνου που ονομάζεται «Filter press».¹



Εικόνα 1.7.: Filter press

Το εξεταζόμενο δείγμα πολφού τοποθετείται εντός του δοχείου και του ασκείται πίεση 100 psi για 30 min. Στο κάτω μέρος του οργάνου τοποθετείται χάρτινο φίλτρο. Μετά το



πέρασ των 30 min σταματά η υπό πίεση δοκιμή και καταγράφεται η απώλεια ρευστού, όπως και το πάχος του στρώματος που έχει αποτεθεί στο χαρτί.⁵

Ο υπολογισμός του όγκου απώλειας γίνεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$Q_2 = (Q_1 \times T_2)/T_1 \quad \text{ml/30min}$$

Όπου,

Q_1 = Ο γνωστός όγκος που έχει διαφύγει σε χρόνο T_1

Q_2 = Ο ζητούμενος όγκος που θα έχει διαφύγει σε χρόνο T_2

Ωστόσο, οι μετρήσεις στα 100 psi δεν είναι αντιπροσωπευτικές των συνθηκών που επικρατούν στα μεγάλα βάθη της γεώτρησης. Για το λόγο αυτό, το δείγμα πρέπει να δοκιμαστεί σε συνθήκες υψηλής πίεσης και υψηλών θερμοκρασιών μέσω του «HP/HT Filter press». Αρχικά, λοιπόν τοποθετείται σε προθερμασμένο δοχείο και του ασκείται πίεση 100psi. Η πίεση αυτή τη φορά προέρχεται από CO₂ και όχι από αέρα. Μόλις η θερμοκρασία φτάσει τους 300°F τότε αυξάνεται η πίεση στα 600psi. Η αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας αποτρέπει την εξάτμιση μέρους του ρευστού. Η διαδικασία ολοκληρώνεται μετά από 30min και η μέτρηση των απωλειών καταγράφεται αφού πρώτα διπλασιαστεί, ενώ καταγράφεται και το πάχος του στρώματος που έχει δημιουργηθεί στο χαρτί.¹

1.6.6 ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ

Η μέτρηση του pH ενός διατρητικού ρευστού, όπως προαναφέρθηκε, γίνεται είτε με το ηλεκτρονικό pH-μετρο, είτε με pH-μετρικό χαρτί. Παρόλα αυτά, στην περίπτωση που το pH του ρευστού είναι πολύ υψηλό, μπορεί η ένδειξη να διαφέρει από το πραγματικό του pH. Αυτό συμβαίνει διότι η κλίμακα μετρήσεων είναι λογαριθμική. Για τον λόγο αυτό, η αλκαλικότητα του ρευστού μπορεί να μετρηθεί με τη βοήθεια της φαινολοφθαλεΐνης. Στην περίπτωση που το δείγμα είναι το ρευστό που έχει εκχυλισθεί εργαστηριακά (Filtration press), τοποθετείται 1ml του ρευστού αραιωμένο με 5ml απιονισμένου νερού. Στη συνέχεια, προστίθενται 2 με 3 σταγόνες φαινολοφθαλεΐνης, η οποία στα βασικά δείγματα έχει την ιδιότητα να προσδίδει ροζ χρώμα. Έπειτα, προστίθενται σταγόνες νιτρικού ή θεικού οξέος. Η αλκαλικότητα του δείγματος εκφράζεται από τα ml του οξέος που απαιτούνται για να αποχρωματίσουν τα ml του δείγματος. Αντίστοιχα, στην περίπτωση που το δείγμα είναι ο ίδιος ο γεωτρητικός πολφός, η αλκαλικότητα εκφράζεται με τον ίδιο τρόπο, μόνο που στο δείγμα αυτή τη φορά προστίθενται 25ml με 30ml νερού για την αραιώσή του και 4 με 5 σταγόνες φαινολοφθαλεΐνης για τον χρωματισμό του διαλύματος.¹



1.6.7 ΑΛΑΤΑ ΚΑΙ ΧΛΩΡΙΔΙΑ

Ο υπολογισμός της ποσότητας αλάτων στους γεωτρητικούς πολφούς έχει παρόμοια διαδικασία με αυτή του υπολογισμού της αλκαλικότητας. Σε 1ml του εκχυλισμένου ρευστού, προστίθεται φαινολοφθαλεΐνη και έπειτα με την προσθήκη οξέος το διάλυμα αποχρωματίζεται. Έπειτα, προστίθενται CaCO_3 , 25ml με 50ml απιονισμένου νερού και 5-10 σταγόνες K_2CrO_4 (Κίτρινο χρώμα). Το διάλυμα ανακατεύεται και στη συνέχεια προστίθεται AgNO_3 μέχρι την αλλαγή του χρώματος σε πορτοκαλο-κόκκινο. Τα ml AgNO_3 που απαιτούνται για να αλλάξουν το χρώμα υπολογίζονται και βοηθούν στον υπολογισμό της ποσότητας των χλωριδίων σύμφωνα με τον τύπο:

Χλωρίδια = $(\text{ml AgNO}_3 \times 1000) / \text{ml}$ του αποσταγμένου δείγματος

Τα χλωρίδια μετρώνται σε ppm και για τον υπολογισμό των αλάτων πολλαπλασιάζονται με 1.65.¹

1.6.8 ΑΣΒΕΣΤΙΟ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΣΙΟ

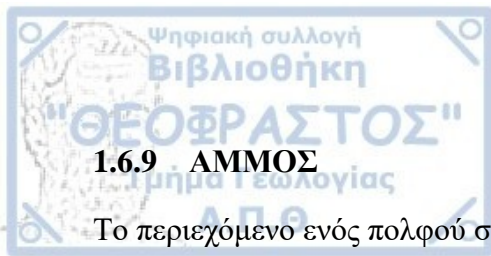
Το νερό στα οποία εντοπίζεται υψηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο ονομάζεται “Σκληρό”. Τα υψηλά αυτά ποσοστά αποτρέπουν τον μπεντονίτη να δράσει καταλλήλως, έχοντας αντίκτυπο στη λειτουργία του πολφού και κατ’ επέκταση στις απώλειες ρευστού.

Για τον υπολογισμό των δύο στοιχείων, 20ml απιονισμένου νερού και 1ml δείγματος (νερού ή αποστάγματος λάσπης) αναμειγνύονται με 1ml ρυθμιστικού διαλύματος NH_4OH και 6 σταγόνες Calmagite. Στη συνέχεια προσθέτονται και μετρώνται τα ml διαλύματος Versenate (Ποσότητα Α) που απαιτούνται, ώστε το χρώμα του διαλύματος να αλλάξει σε μπλε. Στην περίπτωση όμως που στο εξεταζόμενο δείγμα υπάρχει μαγνήσιο, πριν την προσθήκη του Versenate, το διάλυμα είναι κόκκινο. Για τον υπολογισμό και του μαγνησίου λοιπόν, σε εκείνο το σημείο, προστίθεται 1ml επικαλυπτικού μέσου, 1ml NaOH ή KOH και περίπου 0.2 g δείκτη Calcon. Έπειτα προστίθεται το διάλυμα Versenate και μετρώνται τα ml που απαιτήθηκαν (Ποσότητα Β), ώστε το διάλυμα να μετατραπεί από κόκκινο σε μπλε. Έπειτα, ο υπολογισμός γίνεται σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$C = (B \times 400) / \text{ml}$ του εξεταζόμενου δείγματος

$\text{Mg} = [(A - B) \times 243] / \text{ml}$ του εξεταζόμενου δείγματος

Τα αποτελέσματα αναφέρονται σε mg/l.⁵



1.6.9 ΑΜΜΟΣ

Το περιεχόμενο ενός πολφού σε άμμο υπολογίζεται με την χρήση κόσκινου μεγέθους 200 mesh. Η λάσπη ξεπλένεται με νερό πάνω στο κόσκινο και το ποσοστό της άμμου συλλέγεται, καθαρίζεται και μετριέται σε ποσοστό (% vol).¹

1.6.10 ΣΤΕΡΕΑ ΚΑΙ ΥΓΡΑ ΠΡΟΣΘΕΤΑ

Η ποσότητα στερεών και υγρών στοιχείων ενός πολφού υπολογίζεται μέσω της εξάτμισης. Το δείγμα θερμαίνεται μέχρι το υγρό στοιχείο να εξατμιστεί και να παραμείνουν μόνο τα στερεά στοιχεία. Το εξατμιζόμενο τμήμα περνά από συμπυκνωτές και μετριέται ξεχωριστά από τα στερεά τα οποία αφαιρούνται από την αρχική ποσότητα του δείγματος για τον υπολογισμό τους. Και τα δύο μέρη εκφράζονται σε ποσοστά (% vol).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

2.1 ΘΩΡΑΚΙΣΗ

Κατά τη διάνοιξη μιας γεώτρησης πρέπει να αναπτυχθεί ένας τρόπος ώστε να αντιμετωπιστεί η πιθανότητα δημιουργίας εγκοίλων κατά τη διάτρηση των σχηματισμών, να αποφευχθεί πιθανή μόλυνση των παραγόμενων ρευστών, να υπάρχει έλεγχός τους καθ' όλη τη διάρκεια της επιχείρησης και να απομονώνονται ή να προστατεύονται σχηματισμοί όταν αυτό απαιτείται. Οι διαδικασίες αυτές γίνονται με την προσθήκη θωράκισης, μια διαδικασία υψηλού κόστους που μπορεί να φτάσει έως και το 20% του κόστους μιας ολοκληρωμένης γεώτρησης. Η θωράκιση μιας γεώτρησης χωρίζεται και πέντε βασικά είδη:

Η σωλήνωση οδηγός ή επαφής (**Conductor Casing**) είναι το πρώτο είδος θωράκισης που χρησιμοποιείται. Ξεκινά από βάθος 10 ft έως 300 ft και έχει διάμετρο 16-36 ίντσες. Το πλάτος της πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο, ώστε εσωτερικά της να μπορούν να τοποθετηθούν και τα υπόλοιπα είδη θωράκισης. Η σωλήνωση οδηγός έχει ως στόχο την αύξηση της στάθμης του ρευστού διάτρησης, ώστε να μπορεί να φτάνει στην επιφάνεια και να αποτρέπει την διάβρωση των στρωμάτων που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους.



Επιφανειακή σωλήνωση (Surface Casing): Η τοποθέτηση αυτής της θωράκισης εξαρτάται από το βάθος των μη συνεκτικών επιφανειακών στρωμάτων. Συνήθως η εξωτερική διάμετρος της κυμαίνεται από 20 ίντσες έως 13-3/8 ίντσες. Η επιφανειακή σωλήνωση αποτρέπει τη μόλυνση των υπόγειων υδροφορέων και τη διαρροή των ρευστών της διάτρησης στους μη συνεκτικούς σχηματισμούς σφραγίζοντας τα τοιχώματα της γεώτρησης, προσφέρει στήριξη στα τοιχώματα των κεκλιμένων γεωτρήσεων και λειτουργεί ως θέση για την τοποθέτηση του BOP (Blow out preventer).

Ενδιάμεση σωλήνωση (Intermediate Casing): Αμέσως μετά την επιφανειακή σωλήνωση, τοποθετείται η ενδιάμεση. Το μήκος της εξαρτάται από την έκταση της ζώνης που απαιτεί την τοποθέτησή της για να σφραγιστεί και να μην υπάρξουν απώλειες. Η διάμετρος της ποικίλει μεταξύ 9-5/8 και 13-3/8 ίντσες.

Σωλήνωση liner (Liner casing): Ο συγκεκριμένος τύπος θωράκισης δεν φτάνει μέχρι την επιφάνεια, αλλά βρίσκεται συνδεδεμένος με την ενδιάμεση θωράκιση και φτάνει έως τον πυθμένα. Αποτελεί μια χαμηλή κόστους λύση θωράκισης της γεώτρησης έως το τελευταίο στάδιο σε σύγκριση με την επιλογή να γίνονται συνεχώς νέες τσιμεντώσεις, ενώ δίνει και τη δυνατότητα επέκτασή της έως την επιφάνεια αν αυτό κριθεί απαραίτητο.

Παραγωγική σωλήνωση (Production Casing): Το μέγεθος αυτής της θωράκισης κυμαίνεται από 3 ίντσες έως 7 ίντσες. Όσο μεγαλύτερη είναι η παραγωγή σε ημερήσια βαρέλια, τόσο μεγαλύτερη είναι και η διάμετρος. Ουσιαστικά αποτελεί το τελευταίο τμήμα θωράκισης που απομονώνει τους σχηματισμούς παραγωγής και επιτρέπουν την επιλεκτική άντληση στις περιπτώσεις των πολλαπλών γεωτρήσεων.

Οι σωληνώσεις θωράκισης κατατάσσονται σύμφωνα με το Αμερικανικό Ινστιτούτο Πετρελαίου σε κατηγορίες ανάλογα με το όριο ελαστικότητάς τους (Yield strength), την θλιπτική τους αντοχή (Collapse strength) και την αντοχή τους στη διάρρηξη από τις εσωτερικές πιέσεις (Burst strength) σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

API Grade	Yield Strength (min), psi	Tensile Strength (min), psi
H-40	40,000	60,000
J-55	55,000	75,000
K-55	55,000	95,000
C-75	75,000	95,000
L-80	80,000	100,000
N-80	80,000	100,000
C-90	90,000	105,000
C-95	95,000	105,000
P-110	110,000	125,000

2.2 ΤΣΙΜΕΝΤΩΣΗ

Η διαδικασία της τσιμέντωσης περιλαμβάνει την διοχέτευση τσιμέντου (συνήθως τύπου Portland) κάτω από τις σωληνώσεις θωράκισης και πίσω από αυτές στον ενδιάμεσο χώρο με τους σχηματισμούς, προκαλώντας την σταθερή προσκόλλησή τους. Επιπλέον, προστατεύουν τους ταμιευτήρες, υποστηρίζουν και προστατεύουν τις σωληνώσεις από τη διάβρωση και σφραγίζουν τους σχηματισμούς που μπορεί να προκαλέσουν αστοχίες, προστατεύοντας το φρεάτιο.

Για την παραγωγή τσιμέντου αναμειγνύονται αργιλικά και ασβεστίτικα υλικά με οξείδια του σιδήρου και του αλουμινίου είτε σε ξηρές συνθήκες, είτε με την προσθήκη νερού. Στη συνέχεια, θερμαίνονται στους 2600°F-3000°F και ψύχεται με την προσθήκη γύψου σε αναλογία 1.5% - 3% κατά βάρος για την παραγωγή τσιμέντου τύπου Portland.

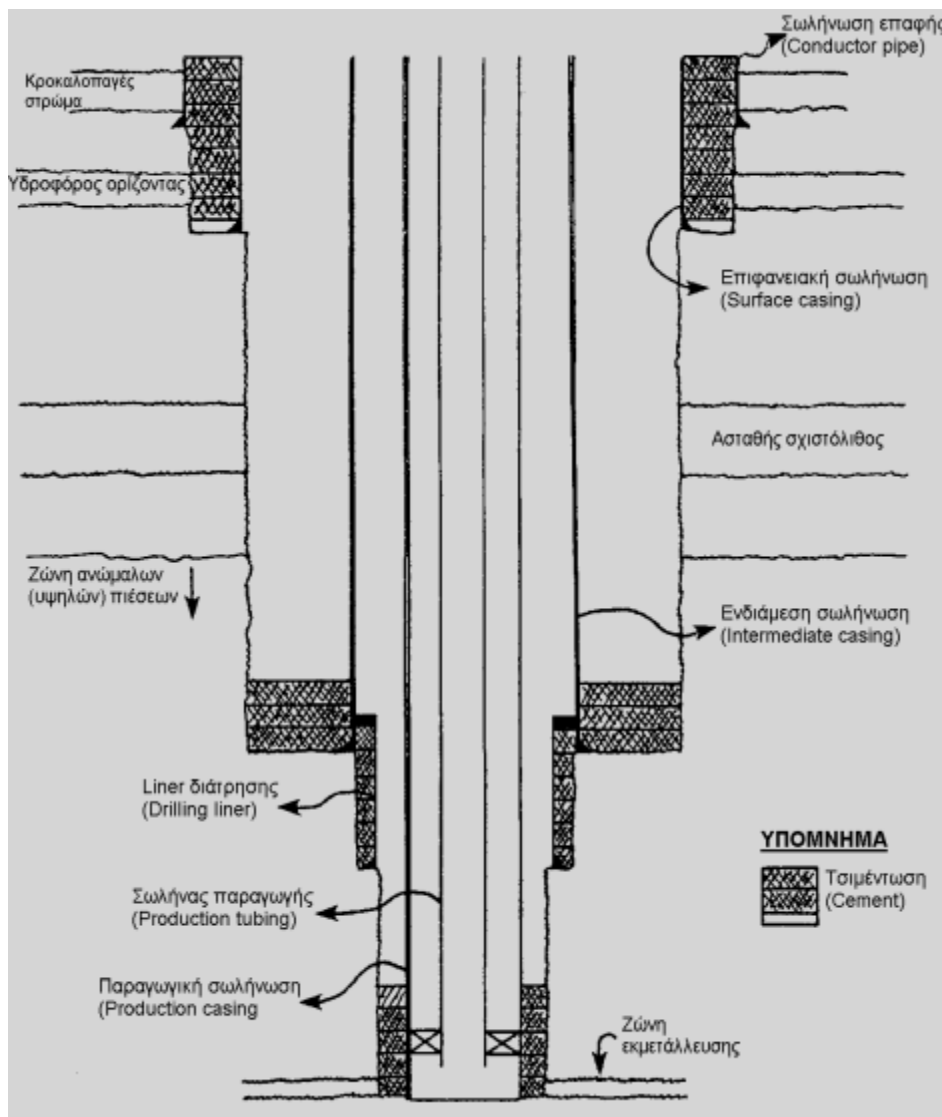
Στο τσιμέντο προσθέτονται διάφοροι παράγοντες, όπως οι επιταχυντές οι οποίοι επισπεύδουν την αντίδραση μεταξύ τσιμέντου και νερού, κερδίζοντας χρόνο και αυξάνοντας την αντοχή του τσιμέντου. Ως επιταχυντές λειτουργούν η γύψος, το χλωριούχο κάλιο, το άνυδρο καλιούχο ασβέστιο, το θαλασσινό νερό, το χλωριούχο νάτριο και το μεταπυριτικό νάτριο.

Ένα επιπλέον πρόσθετο είναι οι παράγοντες επιβράδυνσης οι οποίοι καθυστερούν τη διάγκωση του τσιμέντου στα επιθυμητά επίπεδα. Επηρεάζονται από τη θερμοκρασία και

το βάθος και περιλαμβάνουν τα σουλφονικά παράγωγα της λιγνίνης, τροποποιημένους πολυσακχαρίτες, οργανικά οξέα, οργανική ύλη και βόρακα.

Επίσης, μπορούν να προστεθούν και επεκτατικοί παράγοντες, όπως αιωρούμενη στάχτη, μπεντονίτης και γη διατόμων, οι οποίοι μειώνουν την υδροστατική πίεση στους αδύναμους σχηματισμούς επιμηκύνοντας τον χρόνο προώθησης του τσιμέντου, ενώ ταυτόχρονα επηρεάζουν και το ιξώδες του.

Τέλος, μπορεί να προστεθούν Ποζολάνες (Pozzolans) όπως ιπτάμενη τέφρα ή γη διατόμων, οι οποίες μειώνουν την πυκνότητα και το ιξώδες του τσιμέντου. Τέτοια υλικά μπορούν να είναι είτε ηφαιστειακή τέφρα, είτε άργιλοι με υψηλά ποσοστά πυριτίου.



Εικόνα 2.1.: Σχηματική απεικόνιση της θωράκισης και της τσιμέντωσης μιας γεώτρησης

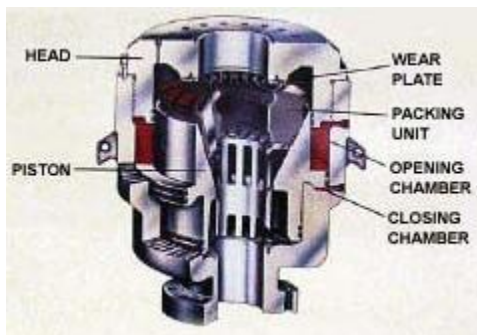
2.3 ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΗ ΣΤΗΛΗ

Μία γεωτρητική στήλη αποτελείται από το τετραγωνικό ή εξαγωνικό στέλεχος (Kelly) ή το top-drive system, τα διατρητικά στελέχη (Drill pipe), τα αντίβαρα (Drill collars) και το κοπτικό άκρο (Drill bit). Οι διατάξεις της κατώτερης συνδεσμολογίας της γεώτρησης (BHA: Bottom Hole Assemblies) στις κεκλιμένες και οριζόντιες γεωτρήσεις προσφέρουν την στήριξη του κοπτικού άκρου, σταθεροποιούν τη γεώτρηση και καθορίζουν την κλίση της. Επιπλέον, η γεωτρητική στήλη λειτουργεί ως μέσο για την κυκλοφορία του γεωτρητικού πολφού έως το κοπτικό άκρο.

2.3.1 ΑΠΟΤΡΟΠΕΑΣ ΕΚΡΗΞΕΩΝ (BOP)

Ως σύστημα ασφαλείας τοποθετείται ένας μηχανισμός που αποτρέπει την πιθανότητα έκρηξης στην περίπτωση που υπάρξει ανεξέλεγκτη διαρροή ρευστών. Ο αποτροπέας εκρήξεων (BOP) μπορεί να είναι είτε δακτυλιοειδής, είτε εμβολοφόρος.

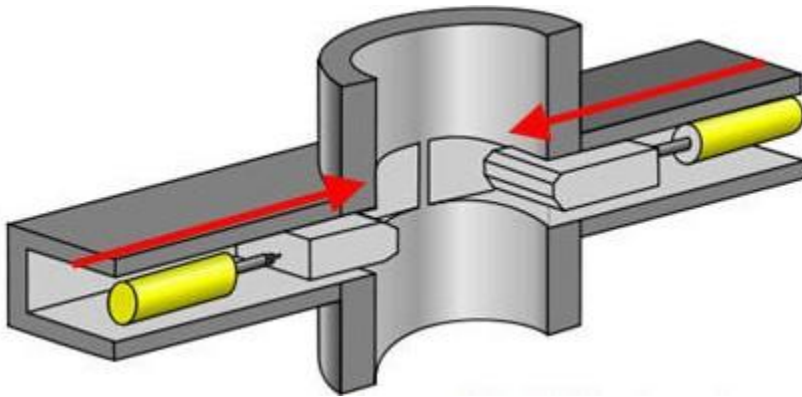
Ο δακτυλιοειδής αποτροπέας εκρήξεων (**Annular preventer**) αποτελείται από χαλύβδινο περίβλημα, μια βαλβίδα εισόδου και μία εξόδου, ένα έμβολο και ένα στοιχείο σφραγίσματος του δακτυλίου της γεώτρησης. Κατά τη λειτουργία του BOP το έμβολο υδραυλικά σπρώχνει το στοιχείο του σφραγίσματος, το οποίο έρχεται σε επαφή γύρω από την γεωτρητική στήλη σφραγίζοντας την έξοδο. Σημαντική είναι η δυνατότητα που προσφέρει για απομάκρυνση των διατρητικών στελεχών κατά τη λειτουργία του. Ο δακτυλιοειδής αποτροπέας εκρήξεων μπορεί να εφαρμόσει υδραυλική πίεση από 2.000 psi έως και 10.000 psi προκειμένου να αντισταθμίσει τις εσωτερικές πιέσεις. Ωστόσο μετά το σφράγισμα η πίεση πρέπει με μικρό ρυθμό να μειωθεί, ώστε να μην υποστεί ζημιά στο στοιχείο που σφραγίζει τη γεώτρηση.



Εικόνα 2.2.: Annular preventer

Ο εμβολοφόρος μηχανισμός ασφαλείας (**Ram-type BOP**) αποτελείται από τη συνδεσμολογία του εμβόλου, τους διάυλους του υδραυλικού ρευστού και ένα πλευρικό στόμιο για τον έλεγχο του εμβόλου. Ο συγκεκριμένος τύπος ασφαλείας περιλαμβάνει

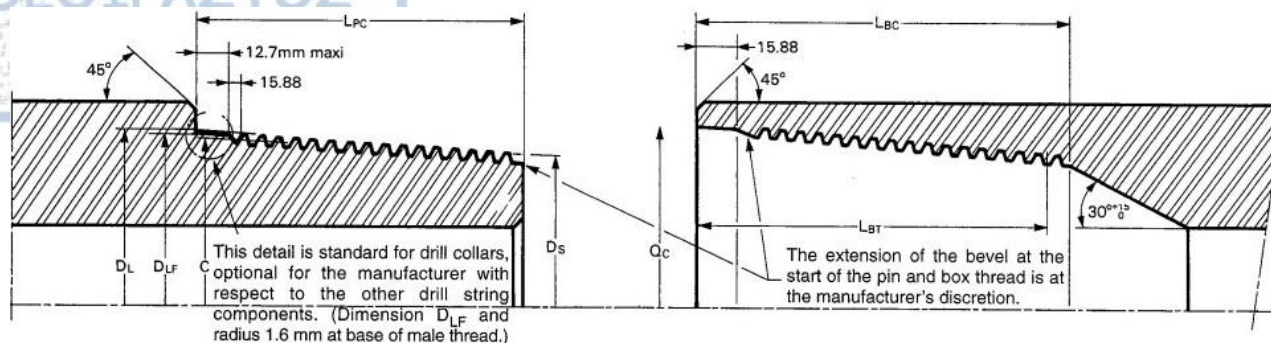
δύο στοιχεία σφραγίσματος τα οποία κλείνουν ταυτόχρονα για να σφραγίσουν τη γεώτρηση. Κατασκευάζεται για συγκεκριμένου διαμετρήματος και είδους γεωτρήσεις και χρησιμοποιείται αποκλειστικά γι' αυτές. Η λειτουργία του έχει την ιδιότητα να αντισταθμίζει τις πιέσεις μόνο μίας κατεύθυνσης, ενώ διακρίνεται σε διαφορετικά είδη ανάλογα με την κατάσταση για την οποία κατασκευάζεται. Στην περίπτωση που ο εμβολοφόρος μηχανισμός χρησιμοποιηθεί σε γεωτρητική στήλη, κατασκευάζεται με 2 ημικυκλικά ανοίγματα για τη σωστή εφαρμογή τους. Παρόμοιο σύστημα μπορεί να τοποθετηθεί και σε φρεάτια που δεν έχουν γεωτρητική στήλη. Μια τελευταία λύση για την αντιμετώπιση φαινομένων «Blowout», όταν όλες οι άλλες λύσεις έχουν αποτύχει, είναι η χρήση του «**Shear-Ram BOP**», το οποίο κόβει τη γεωτρητική στήλη, η οποία πέφτει εντός της γεώτρησης εκτός κι αν υπάρχει μηχανισμός συγκράτησής της) σφραγίζοντας την έξοδο.¹



Εικόνα 2.3: Ram-type BOP

2.3.2 ΣΤΕΛΕΧΗ

Το μεγαλύτερο μέρος της διατρητικής στήλης (90%-95%) αποτελείται από τα διατρητικά στελέχη. Κάθε στέλεχος-σωλήνας στην μία άκρη καταλήγει σε σπείρωμα (αρσενικό), ενώ στην άλλη άκρη περιέχει την υποδοχή για το επόμενο στέλεχος (θηλυκό). Η σύνδεση των στελεχών ουσιαστικά πραγματοποιείται με τη σχέση αρσενικού-θηλυκού, όπου το ένα στέλεχος βιδώνει μέσα στο άλλο.



Εικόνα 2.4.: Shoulder connection Πηγή: Institut Français du Pétrole Publications, 1999

Στο σημείο ένωσης τους, το πάχος των στελεχών είναι μεγαλύτερο σε σχέση με το υπόλοιπο μήκος, ώστε να υπάρχει ανθεκτικότητα στις πιέσεις και τις δονήσεις. Οι διαστάσεις ενός διατρητικού στελέχους ποικίλουν και η επιλογή τους γίνεται με προσοχή. Το μήκος ενός στελέχους δεν περιλαμβάνει τα σημεία των αρθρώσεων, αλλά το ενδιάμεσο πιο λεπτό τμήμα του και χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες (Πίνακας 2α). Μια διατρητική στήλη αποτελείται από στελέχη διαφορετικού μήκους, τα οποία πρέπει να καταγράφονται μαζί με τα μήκη όλων των υπολοίπων εξαρτημάτων, καθώς είναι ο μοναδικός τρόπος υπολογισμού του βάθους διάτρησης από το κοπτικό άκρο. Εκτός από το μήκος, τα διατρητικά στελέχη ποικίλουν στη διάμετρό τους και το βάρος τους και κατατάσσονται σε κατηγορίες (Πίνακας 2β) σύμφωνα με το Αμερικανικό Ινστιτούτο Πετρελαίου (API: American Petroleum Institute). Σε ότι αφορά το βάρος, η αναφορά γίνεται στο βάρος του στελέχους αυτού καθ' αυτού. Όταν, κατά τη διάρκεια της γεώτρησης, ξεκινήσει να ρέει το διατρητικό ρευστό εντός αυτού, το βάρος αλλάζει και προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του βάρους του στελέχους επί τον παράγοντα άνοσης. Αυτό συμβαίνει, διότι το γεωτρητικό ρευστό ασκεί δυνάμεις άνοσης εντός του στελέχους στο οποίο ρέει και η οποία εξαρτάται από το είδος του πολφού που έχει επιλεγεί (από το ειδικό βάρος του). Κατηγοριοποίηση έχει πραγματοποιηθεί και για την ποιότητα του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένα τα στελέχη, για τα οποία υπάρχουν επίσης καταγεγραμμένες οι αντοχές τους και η συμπεριφορά τους (Πίνακας 2γ).

API Range	Length (ft)
1	18-22
2	27-30
3	38-45

Πίνακας 2α: Μήκος διατρητικών στελεχών

<u>Size(OD)</u> (inches)	<u>Weight</u> (lb/ft)	<u>ID</u> (inches)
2 ³ / ₈	6.65	1.815
2 ⁷ / ₈	10.40	2.151
3 ¹ / ₂	9.50	2.992
3 ¹ / ₂	13.30	2.764
5	15.50	4.602
5	16.25	4.408
5	19.50	4.276
5	25.60	4.000
5 ¹ / ₂	21.90	4.776
5 ¹ / ₂	24.70	4.670

Πίνακας 2β: Διαστάσεις διατρητικών στελεχών

API Grade	Minimum Yield Stress (psi)	Minimum Tensile Stress (psi)	<u>Yield Stress</u> <u>Tensile Stress</u> ratio
D	55,000	95,000	0.58
E	75,000	100,000	0.75
X	95,000	105,000	0.70
G	105,000	115,000	0.91
S	135,000	145,000	0.93

Πίνακας 2γ: Χαρακτηριστικά υλικών κατασκευής διατρητικών στελεχών

Στις οριζόντιες γεωτρήσεις ή στις κεκλιμένες γεωτρήσεις μεγάλων κλίσεων απαιτούνται ανθεκτικά στελέχη τα οποία είναι δυσεύρετα στην αγορά, ώστε να αντέξουν τις πιέσεις που τους ασκούνται, αλλά και την περιστροφική κίνηση. Το ίδιο συμβαίνει και στις γεωτρήσεις μεγάλου βάθους. Ωστόσο, το βασικό μειονέκτημα των στελεχών που κατασκευάζονται από πολύ ανθεκτικό μέταλλο (Υψηλού API Grade) είναι το γεγονός πως η οξείδωση του υλικού είναι πολύ πιο έντονη.¹

2.3.3 ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ

Οι σύνδεσμοι είναι μικρά μέρη της γεωτρητικής στήλης που συνδέουν τα στελέχη μεταξύ τους. Η σωστή εφαρμογή των συνδέσμων στο σπείρωμα των στελεχών είναι εξαιρετικά σημαντική για την αποφυγή αστοχιών τόσο κατά τη διάρκεια της επιχείρησης λόγω των αυξημένων τάσεων (εφελκυστικές, θλιπτικές, περιστροφικές) που ασκούνται στα σημεία των ενώσεων, όσο και κατά τη διαδικασία όπου η στήλη ανασύρεται εκτός γεώτρησης, καθώς οι σύνδεσμοι επιβαρύνονται με όλο το βάρος όλης της στήλης. Για τη σωστή

εφαρμογή τους οι σύνδεσμοι μπορούν να θερμανθούν και έπειτα να βιδωθούν στο σπείρωμα των στελεχών. Με την ψύξη τους τα κομμάτια συνδέονται πολύ σφιχτά με αποτέλεσμα η ένωσή τους να είναι εξαιρετικά ισχυρή. Η διαδικασία αυτή έχει καλύτερα αποτελέσματα από τις προγενέστερες, κατά τις οποίες γινόταν συγκόλληση των συνδέσμων πάνω στα στελέχη, διότι δίνει τη δυνατότητα αφαίρεσης του εκάστοτε συνδέσμου με εκ νέου θέρμανσή του, όταν αυτός έχει φθαρεί.

Τα σημεία των συνδέσμων είναι πιο ανθεκτικά συγκριτικά με το κυρίως σώμα των στελεχών. Αυτό οφείλεται στο μεγαλύτερο πάχος τους, αλλά και σε ένα επιπλέον στρώμα που συγκολλάται εξωτερικά τους, το οποίο μειώνει την φθορά τους από τις τραχείς επιφάνειες των στρωμάτων κατά την εξέλιξη της γεώτρησης. Οι διαστάσεις και ο κάθε τύπος σύνδεσμου έχουν οριστεί από το Αμερικανικό Ινστιτούτο Πετρελαίου (Πίνακας 2δ).

SIZE	TYPE	OD	ID	TPI	TAPER	THREAD FORM
4 1/2"	API REG	5 1/2"	2 1/4"	5	3	V..040
4 1/2"	Full Hole	5 3/4"	3"	5	3	V..040
4 1/2"	NC 46 (4" IF)	6"	3 1/4"	4	2	V..038R
4 1/2"	NC 50 (4 1/2" IF)	6 1/8"	3 3/4"	4	2	V..038R
4 1/2"	H.90	6"	3 1/4"	3 1/2"	2	90° V..050

Πίνακας 2δ: API Στοιχεία συνδέσμων

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, οι σύνδεσμοι δεν εφάπτονται στα στελέχη, αλλά βιδώνονται. Αυτό, λοιπόν, έχει ως αποτέλεσμα το συνολικό μήκος της στήλης των σωληνώσεων να είναι μικρότερο από το άθροισμα του μήκους των στελεχών και των συνδέσμων.⁴

2.3.4 ANTIBARA

Τα αντίβαρα (**Drill collars**) είναι ένα είδος σωλήνων μεγαλύτερου πάχους απ' ότι τα υπόλοιπα στελέχη, τα οποία συνδέονται με την υπόλοιπη στήλη άμεσα δίχως να μεσολαβεί κάποιος σύνδεσμος. Κατασκευάζονται από κράμα χρωμίου και μολυβδαίνιου

και για τη σωστή εφαρμογή τους στο σημείο σύνδεσης είναι απαραίτητη η χρήση λιπαντικού υλικού, αποτελούμενο συνήθως από 40-60% σκόνης ψευδαργύρου ή μολύβδου. Η σωστή σύνδεση των αντίβαρων με τα υπόλοιπα στελέχη της γεωτρητικής στήλης είναι εξαιρετικής σημασίας, διότι και τα αντίβαρα δέχονται τάσεις, δονήσεις και έρχονται σε επαφή με πιθανές καταρρεύσεις ή διογκώσεις των στρωμάτων του υπεδάφους, δυνάμεις τις οποίες πρέπει να αντισταθμίσουν ώστε να μην υπάρξει αστοχία ή διαρροή του πολφού. Όπως και στους συνδέσμους, έτσι και στην περίπτωση των αντίβαρων, τα σημεία των ενώσεων μεταξύ των σωλήνων είναι και αυτά που δέχονται τις μεγαλύτερες τάσεις.

Η χρήση αντίβαρων στηρίζει την γεωτρητική στήλη αποφεύγοντας τις αστοχίες, προσδίδει το απαιτούμενο βάρος στο κοπτικό άκρο για να μπορέσει να συνεχίσει η διάτρηση και βοηθάει τις διατάξεις της κατώτερης συνδεσμολογίας προσφέροντας στιβαρότητα.

Για την εκπλήρωση των στόχων χρησιμοποίησης των αντίβαρων έχουν σχεδιαστεί διαφορετικά είδη που προσφέρουν διαφορετικά πλεονεκτήματα ανάλογα την περίπτωση:

Σπειροειδές αντίβαρο: Στην περίπτωση που κατά τη διάρκεια της γεώτρησης συναντηθούν σχηματισμοί με έντονο πορώδες, είναι απαραίτητη η αύξηση της πίεσης που ασκεί ο πολφός διάτρησης για να αντισταθμιστεί η πίεση των σχηματισμών. Για να επιτευχθεί αυτό, αυξάνεται το ειδικό βάρος του πολφού. Ωστόσο, αυτό ενέχει τον κίνδυνο να εμποδίσει την περιστροφή του αντίβαρου και να κολλήσει, καθώς έχει μεγαλύτερη εξωτερική διάμετρο από την υπόλοιπη στήλη και αυξάνεται η επιφάνεια επαφής του. Ειδικά στην περίπτωση της αύξησης της κλίσης της γεώτρησης, όταν χρειαστεί να παρεκκλίνει, αυξάνεται και η δυσκολία κίνησης, λόγω της αντίστασης. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, χρησιμοποιούνται αντίβαρα που έχουν σπειροειδές σχήμα με αυλακώσεις οι οποίες μειώνουν την επιφάνεια επαφής.



Εικόνα 2.5.: Σπειροειδές αντίβαρο, Πηγή: J. A. "Jim" Short, 1993

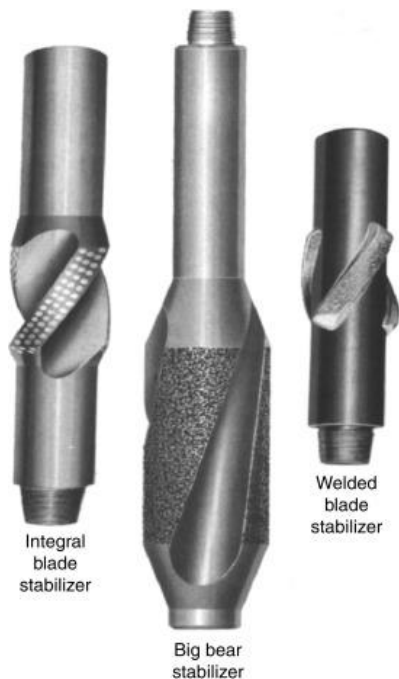
Τετραγωνικού σχήματος αντίβαρο: Το σχήμα των συγκεκριμένων αντίβαρων προσφέρει σταθερότητα στην κατεύθυνση του κοπτικού άκρου και προσφέρεται για διάτρηση σκληρών σχηματισμών. Είναι συνήθως μικρότερο κατά 1/16 του κοπτικού άκρου.

Μη μαγνητικό αντίβαρο: Το συγκεκριμένο είδος αντίβαρου κατασκευάζεται από μη μαγνητικό ανοξείδωτο ατσάλι και χρησιμοποιείται για να μην επηρεάζονται οι μετρήσεις των διαγραφιών από τον μαγνητισμό που προκαλείται είτε από τα διατρητικά στελέχη, είτε από την κατώτερη συνδεσμολογία. Απομονώνει τα όργανα των μετρήσεων και συνήθως είναι κυλινδρικού σχήματος.⁴

Μικρού μήκους αντίβαρο: Ένα αντίβαρο μπορεί να κοπεί σε μικρότερα κομμάτια ή να παραχθεί εξ αρχής με μικρότερο μήκος. Η χρησιμοποίηση μικρότερου μήκους αντίβαρων είναι ευρέως διαδεδομένη. Χαρακτηρίζονται και ως «Pony».³

2.3.5 ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΕΣ

Οι σταθεροποιητές (**Stabilizers**) είναι κυλινδρικά μέρη γεωτρητικής στήλης τα οποία φέρουν λεπίδες. Τα είδη των λεπίδων ποικίλουν και μπορεί να είναι σπειροειδή, γραμμικά, μικρού μήκους, περιστρεφόμενης βάσης, ενώ σε κάποιες λεπίδες υπάρχει η δυνατότητα αντικατάστασης όταν φθαρούν. Επιπλέον, ορισμένοι σταθεροποιητές φέρουν ρυθμιζόμενες λεπίδες που μπορούν να αλλάζουν τη διάμετρο του φρέατος.



Εικόνα 2.6.: Σταθεροποιητές



Η λειτουργία τους σταθεροποιεί την κατώτερη συνδεσμολογία τόσο στις κεκλιμένες, όσο και στις οριζόντιες γεωτρήσεις.

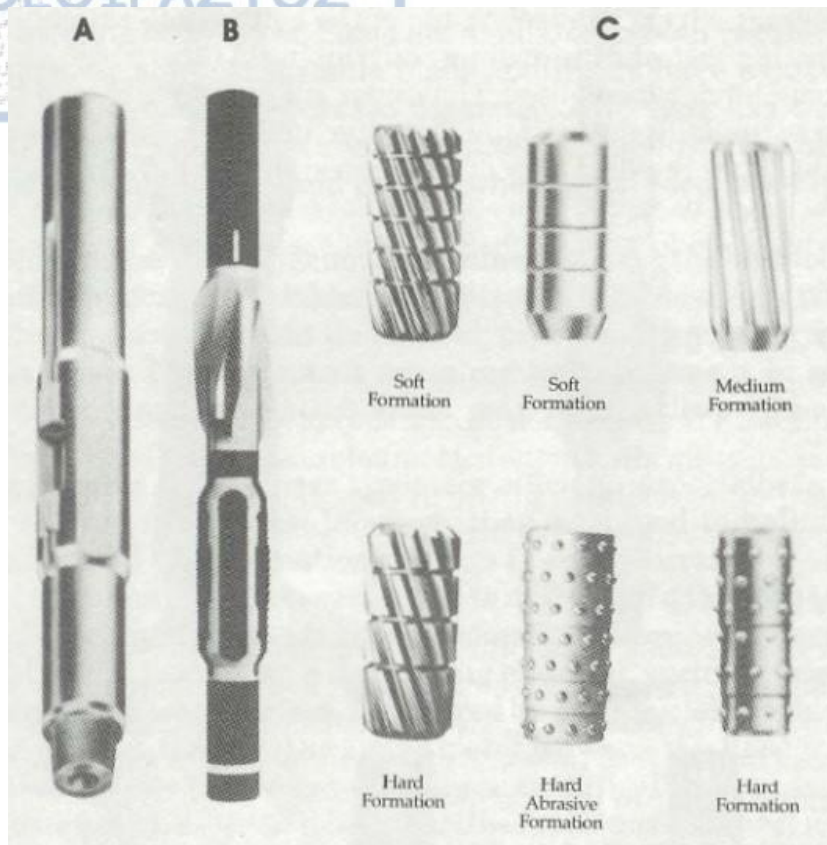
Οι σταθεροποιητές οι οποίοι φέρουν γραμμικές λεπίδες αποτελούνται από ένα μαλακό σώμα και μια πιο σκληρή εξωτερική επιφάνεια από καρβίδιο του βολφραμίου. Το μαλακό σώμα δίνει τη δυνατότητα μείωσης του ύψους της λεπίδας, καθώς μπορεί να αφαιρεθεί μέρος του με σχετική ευκολία.

Στους σταθεροποιητές που φέρουν λεπίδες οι οποίες μπορούν να αντικατασταθούν, υπάρχει ο κίνδυνος δυσκολίας της περιστροφής τους λόγω του μεγάλης διαμέτρου σώματός τους. Παρόλα αυτά, είναι εξαιρετικά αποτελεσματικά για τη διάτρηση σκληρών ή μέτριας σκληρότητας σχηματισμών.

Οι σταθεροποιητές κυρτών λεπίδων έχουν μεγαλύτερη επαφή με την επιφάνεια των σχηματισμών. Ωστόσο, το σχήμα των λεπίδων αποτρέπει τη διάβρωση του σταθεροποιητή από τους σχηματισμούς, ενώ ταυτόχρονα μειώνει και την επιβάρυνση των συνδέσμων από τις εξωτερικές τάσεις που δέχονται.

2.3.6 ΑΠΟΞΕΣΤΗΡΕΣ

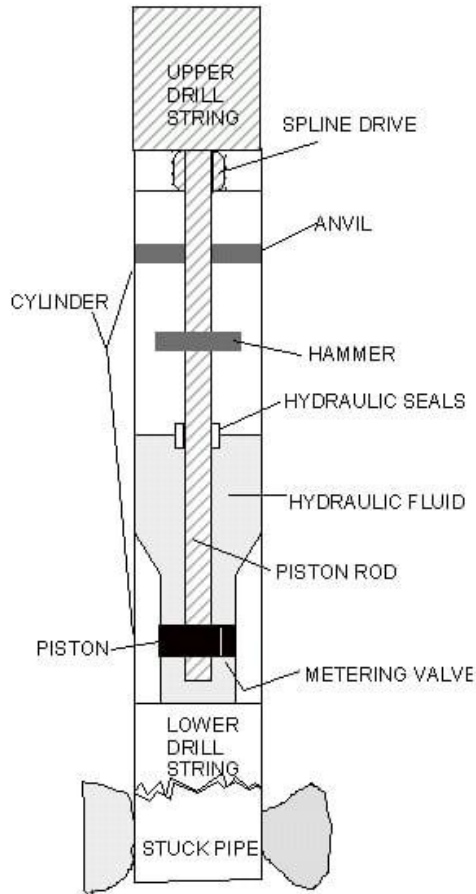
Οι αποξεστήρες (**Reamers**) λειτουργούν ως μέσο διάνοιξης ενός φρέατος, κάνοντας πιο ομαλά τα τοιχώματα του φρέατος ή αυξάνοντας τη διάμετρό του στο επιθυμητό επίπεδο. Αποτελούν μέρος της κατώτερης συνδεσμολογίας της διατρητικής στήλης και μπορούν να λειτουργούν εναλλάξ με τους σταθεροποιητές, καθώς έχουν παρόμοια λειτουργία.³



Εικόνα 2.7.: A: Περιστροφικός αποξεστήρας, B: Συνδυασμός περιστροφικού αποξεστήρα και σταθεροποιητή, C: Αποξεστήρες

2.3.7 ΠΡΟΦΥΛΑΚΤΗΡΑΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Το συγκεκριμένο εργαλείο (**Jar-bumper**) τοποθετείται κάτω από το 3ο-5ο αντίβαρο της διατρητικής στήλης, καθώς για τη λειτουργία του απαιτείται η εφαρμογή βάρους. Είτε η λειτουργία του είναι υδραυλική, είτε μηχανική, εφαρμόζει απότομα “χτυπήματα” διευκολύνοντας την ελευθέρωση του τμήματος το οποίο πιθανών να έχει κολλήσει κατά τη διάνοιξη της γεώτρησης.³



Εικόνα 2.8.:Hydraulic jar-bumper

2.3.8 KEY SEAT WIPER

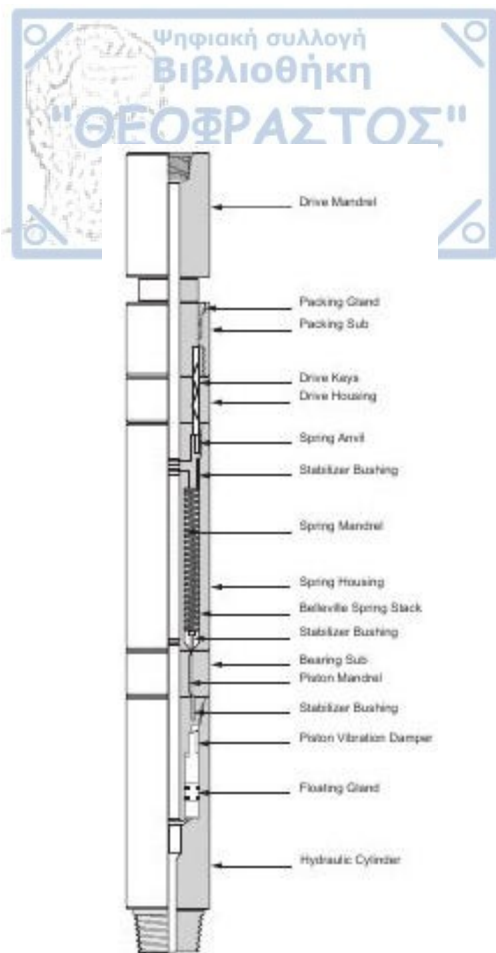
Κατά την πορεία των κεκλιμένων γεωτρήσεων, προκύπτουν θέσεις στα σημεία καμπής του φρέατος τα οποία μπορούν να δυσκολέψουν την κίνηση της διατρητικής στήλης ή να προκαλέσουν αστοχίες εφαρμόζοντας δυνάμεις αντίστασης στα τοιχώματα της στήλης. Για τον λόγο αυτό τοποθετείται στην αρχή της κατώτερης συνδεσμολογίας της στήλης το «key seat wiper», το οποίο αφαιρεί τα εξογκώματα που μπορούν να προκαλέσουν την αστοχία, επιτρέποντας την ελεύθερη κίνηση του μέρους της στήλης που πιθανών να συναντούσε δυσκολίες κατά την αύξηση της κλίσης της γεώτρησης. Το άνω άκρο του πρέπει να έχει ίση διάμετρο με τα στελέχη της διατρητικής στήλης, ενώ το κατώτερο άκρο του έχει τη διάμετρο του μεγαλύτερου αντίβαρου.³



Εικόνα 2.9.: Key seat wiper

2.3.9 ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑΣ ΚΡΑΔΑΣΜΩΝ

Κατά τη διάνοιξη της γεώτρησης το κοπτικό άκρο στην προσπάθειά του να τρυπήσει τους σχηματισμούς, δέχεται αντίσταση. Για την διατήρηση του κοπτικού άκρου σε συνεχή επαφή με τον σχηματισμό τοποθετείται ένας αποσβεστήρας κραδασμών, οποίος εκτός από την απορρόφηση των κραδασμών, ελαχιστοποιεί και τις δονήσεις που δέχονται τα όργανα της κατώτερης συνδεσμολογίας.³

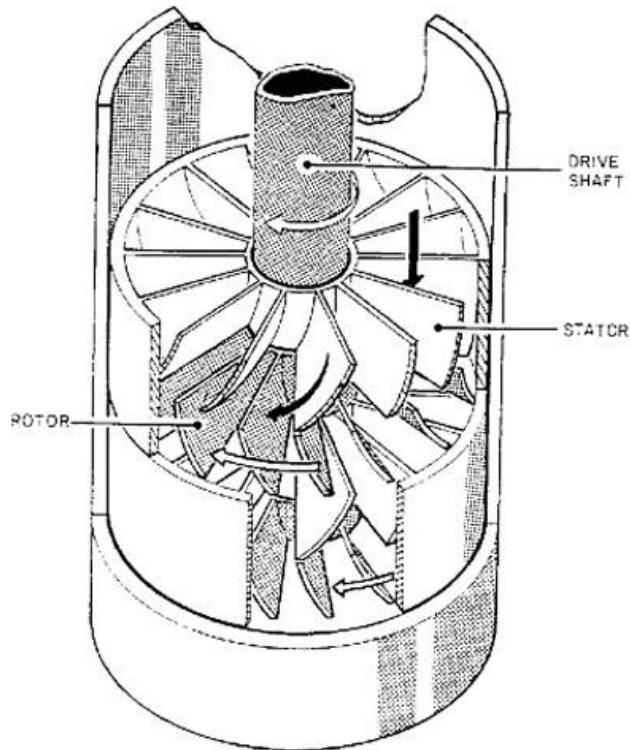


Εικόνα 2.10.: Αποσβεστήρας κραδασμών

2.3.10 ΤΟΥΡΜΠΙΝΕΣ

Οι τουρμπίνες (**Turbines**) αποτελούνται από πτερύγια και στάτορες, οι οποίοι εκτελούν περιστροφική κίνηση μεταφέροντάς την στον κεντρικό άξονα, ο οποίος εν τέλει καθορίζει και την περιστροφική κίνηση του κοπτικού άκρου. Κατά τη λειτουργία της τουρμπίνας, οι στάτορες (stator) στρέφουν τον πολφό διάτρησης προς τους δρομείς (rotors), προκαλώντας την περιστροφική κίνηση του άξονα (drive shaft). Χρησιμοποιούνται ως μέσα καθοδήγησης της πορείας του κοπτικού άκρου, καθώς και ως μέσα καθορισμού της αξονικής κίνησης στις κεκλιμένες και οριζόντιες γεωτρήσεις. Οι τουρμπίνες λειτουργούν υπό συνθήκες υψηλών περιστροφικών ταχυτήτων, περίπου στις 1.000 rpm και γι' αυτό απαιτούν μεγάλη υδραυλική ιπποδύναμη. Η απαίτηση υψηλής ιπποδύναμης περιορίζει και τις επιλογές στα κοπτικά άκρα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επιχειρήσεις με χρήση τουρμπινών, καθώς απαιτούνται ισχυρά κοπτικά άκρα με συμπαγές σώμα, ώστε να αντέχει τις υψηλές ταχύτητες διάτρησης. Επιπλέον, οι τουρμπίνες χρησιμοποιούνται ευρέως στις υπεράκτιες κεκλιμένες γεωτρήσεις, καθώς είναι πιο εύκολη η παραγωγή υψηλής ιπποδύναμης μέσω της μεγάλης χωρητικότητας των αντλιών. Το μήκος των τουρμπινών ποικίλει, ωστόσο η διάμετρος

τους δεν μπορεί να είναι μικρότερη από 5 in. με αποτέλεσμα να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μικρής διαμέτρου γεωτρήσεις.



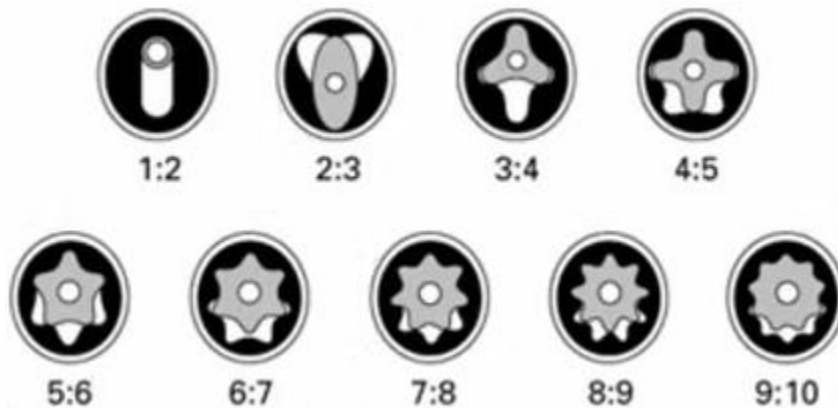
Εικόνα 2.11.: Τουρμπίνα

2.3.11 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΠΥΘΟΜΕΝΑ

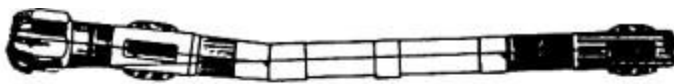
Σε αντίθεση με τις τουρμπίνες, οι κινητήρες αυτού του είδους (**PDM: Positive Displacement Motors**) μπορούν να υπάρξουν και μεγαλύτερο εύρος διαμέτρων, από ελάχιστα μικρότερες των 2 in. έως και λίγο μεγαλύτερες από 9 in. Στην περίπτωση των PDM υπάρχει ένα στροφείο (rotor) ημιτονοειδούς σχήματος με έναν ή περισσότερους λοβούς το οποίο βρίσκεται τοποθετημένο μέσα σε έναν επιμήκη στάτορα (stator) με κοιλότητες από καουτσούκ, ο οποίος έχει πάντοτε έναν περισσότερο λοβό από το στροφείο. Ένας κινητήρας τέτοιου τύπου συνήθως αποτελείται από ένα στροφείο και δύο λοβούς, ωστόσο όσο περισσότερους λοβούς έχει, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ταχύτητα που παράγει. Τα PDM λειτουργούν συνήθως σε ταχύτητες 150-300 rpm. Ωστόσο, υπάρχει ένα εύρος λειτουργίας 100 rpm με 800 rpm, γεγονός που επιτρέπει τη χρήση μεγάλης ποικιλίας κοπτικών άκρων ανάλογα τις συνθήκες διάτρησης. Οι κινητήρες του πυθμένα μπορούν να φέρουν μια άρθρωση στο κατώτερο μέρος τους, η οποία δίνει τη δυνατότητα της στρέψης του κοπτικού άκρου για τη διάτρηση υπό κλίση, ενώ

ταυτόχρονα μειώνει και τη φθορά του εξωτερικού μέρους του κινητήρα. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κινητήρας που φέρει δύο σταθεροποιητές με λεπίδες σχήματος «U». Σε κάθε περίπτωση, οι κινητήρες με άρθρωση που μπορεί να αλλάζουν την κλίση διάτρησης έχουν μεγάλη εφαρμογή στις κεκλιμένες γεωτρήσεις.

Μια άλλη περίπτωση κινητήρων αποτελούν τα PDM με διπλή άρθρωση, η οποία δίνει τη δυνατότητα διάτρησης με μεγαλύτερες κλίσεις. Η διπλή άρθρωση ουσιαστικά μικραίνει το μήκος του μέρους της κατώτερης συνδεσμολογίας που εδρεύει ο κινητήρας, έχοντας το άνω και κάτω άκρο του στον ίδιο άξονα, αλλά το υπόλοιπο σώμα σε κλίση. Οι αρθρώσεις μπορούν να προσαρμόζονται σε κλίσεις από 1.5° έως και 3°. Το ίδιο εύρος κλίσης έχουν και οι εύκαμπτες αρθρώσεις (**flexible joints**), οι οποίες στρίβουν σταθερά με προκαθορισμένη κλίση όταν δεχτούν υδραυλική πίεση από τη ροή του πολφού που διαπερνά τον κινητήρα.



Εικόνα 2.12.: Stators και rotors, Πηγή: Sperry-Sun Drilling Services, a Halliburton company



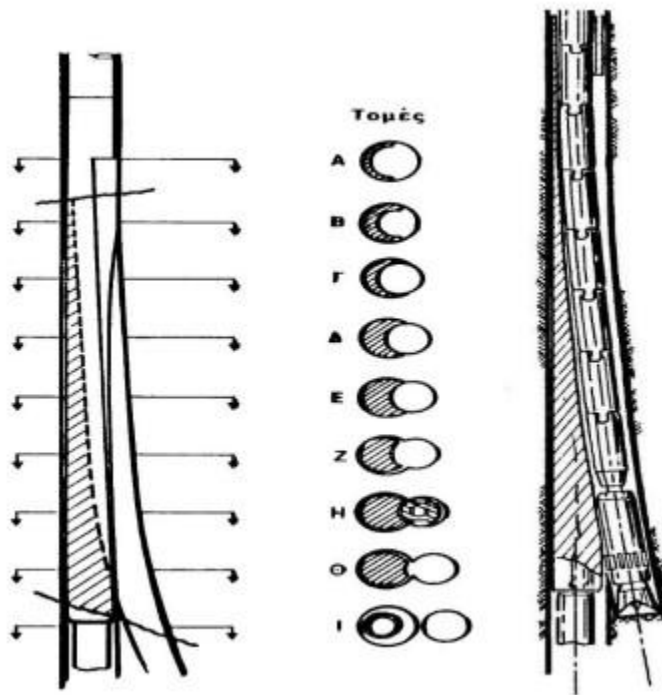
Εικόνα 2.12.: Πάνω: PDM με μια άρθρωση, Κάτω: PDM με διπλή άρθρωση

2.3.12 DRAIN SUB

Μέσα στη διάταξη των τουρμπίνων αλλά και των PDM υπάρχει η δυνατότητα να τοποθετηθεί και ένας μηχανισμός ο οποίος αποτρέπει την υπερχείλιση του πολφού όταν η γεωτρητική στήλη χρειαστεί να αφαιρεθεί από φρεάτιο. Ο μηχανισμός αυτός συνήθως έχει τη λειτουργία «Bypass», όπου μία σφαίρα επιτρέπει την αποστράγγιση του γεωτρητικού ρευστού και αποτρέπει την απώλειά του.³

2.3.13 ΣΦΗΝΕΣ

Πριν ξεκινήσει η βιομηχανία να χρησιμοποιεί τις αρθρώσεις, οι σφήνες (**Whipstocks**) ήταν το μέσο για την αλλαγή της κλίσης στις κεκλιμένες γεωτρήσεις. Αν και η χρήση τους πλέον έχει ελαχιστοποιηθεί, συνεχίζει να έχει εφαρμογή στις γεωτρήσεις με περιελιγμένους σωλήνες (Coiled Tubing Drilling) όταν χρειαστεί να γίνει εκ νέου εισαγωγή γεωτρητικής στήλης στο φρεάτιο.



Εικόνα 2.13.: Σταδιακή παρέκκλιση του κοπτικού άκρου με την χρήση σφήνας

Η **συμβατική σφήνα** τοποθετείται για να δώσει την επιθυμητή κλίση στο κοπτικό άκρο, καθώς και στις περιπτώσεις πλευρικών γεωτρήσεων (Sidetracking). Είναι ένα όργανο με απλή χρήση η οποία δεν επηρεάζεται από τις αυξομειώσεις της θερμοκρασίας. Η συμβατική σφήνα κατασκευάζεται από ατσάλι, έχει κοίλο σχήμα και στο άνω μέρος της

φέρει ένα βαρύ κολλάρο το οποίο χρησιμεύει στην απόσυρσή του από το φρεάτιο. Με την τοποθέτηση μιας σφήνας στον πυθμένα του φρέατος εφαρμόζεται πάνω της βάρος για να σταθεροποιηθεί και το κοπτικό άκρο που εισάγεται ξεκινά να τη διάτρηση με την κλίση που του επιτρέπει η σφήνα. Αφότου ο μύλος προχωρήσει για 12-16 ft, αφαιρείται μαζί με τη σφήνα, γίνεται αύξηση της διαμέτρου του νέου υπό κλίση φρέατος και η διάτρηση συνεχίζεται με την εισαγωγή κοπτικού άκρου και οδηγό την επιθυμητή κλίση. Το αρνητικό αυτής της μεθόδου είναι ότι για τη σωστή έκβαση της γεώτρησης, η διαδικασία εισαγωγής και εξαγωγής της σφήνας πρέπει να επαναληφθεί αρκετές φορές. Επίσης, η απότομη αλλαγή κλίσης που προσφέρει η σφήνα μπορεί να προκαλέσει αστοχίες.

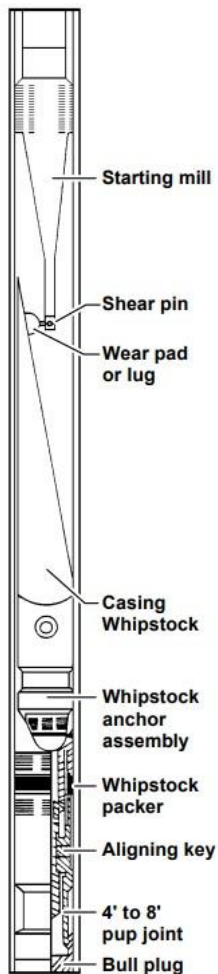
Η συμβατική σφήνα μπορεί να έχει ένα άνοιγμα το κατώτερο τμήμα της που βρίσκεται σε επαφή με τον πυθμένα του φρέατος, επιτρέποντας την διόδου του γεωτρητικού πολφού για τον καθαρισμό του πυθμένα για καλύτερη εφαρμογή της σφήνας (Circulating whipstock).¹



Εικόνα 2.14.: Συμβατή αφαιρούμενη σφήνα, Πηγή: Baker Huges, 1995

Μόνιμη σφήνα: Ο σχεδιασμός αυτού του είδους σφήνας υπάρχει για τη μόνιμη εγκατάστασή της εντός της γεώτρησης. Αρχικά τοποθετείται στον πυθμένα μια θήκη (Baker model "D" packer) πάνω στο οποίο εφάπτεται η σφήνα και κλειδώνει η μόνιμη

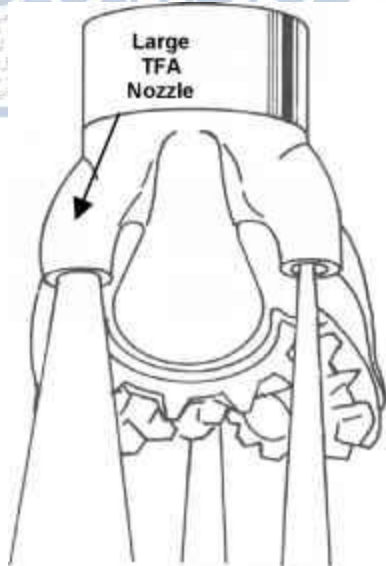
θήση της, αποτρέποντας οποιαδήποτε ανεπιθύμητη κυκλική κίνηση. Αρχικά τοποθετείται η σφήνα με τον επιθυμητό προσανατολισμό της κλίσης, ανοίγεται περεταίρω το φρεάτιο και τοποθετείται με τον ίδιο προσανατολισμό η θήκη (Baker model "D" packer) πάνω στην οποία κλειδώνει η σφήνα. Στη συνέχεια ο μύλος ξεκινά τη διάτρηση υπό κλίση για περίπου 2ft, όπου γίνεται αλλαγή μύλου με έναν νέο από καρβίδιο βολφραμίου ή διαμάντι, το οποίο συνεχίζει την διάτρηση έως τα 5ft. Έπειτα, απομακρύνεται ο μύλος και συνεχίζει κανονικά η γεώτρηση με το επιθυμητό κοπτικό άκρο. Η μέθοδος αυτή μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα κατά την απόσυρση της γεωτρητικής στήλης από το φρεάτιο, λόγω της απότομης αλλαγής της κλίσης στην περίπτωση που ο στόχος της γεώτρησης απέχει πολύ από το σημείο τοποθέτησης της σφήνας. Παρόλα αυτά, όταν ο στόχος βρίσκεται κοντά η μέθοδος είναι αποτελεσματική και απαιτεί μικρό χρονικό διάστημα για την εφαρμογή της.¹



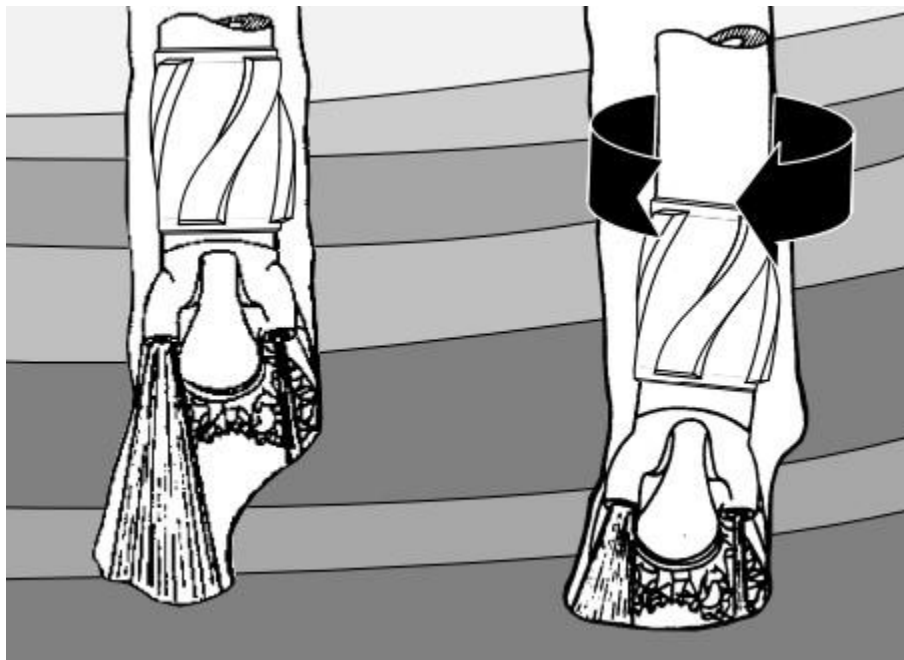
Εικόνα 2.15.: Μόνιμη σφήνα, Πηγή: Baker Hughes, 1995

Η αλλαγή κλίσης σε μία γεώτρηση μπορεί να επιτευχθεί και με τη χρήση ειδικών κοπτικών άκρων, τα οποία δίνουν τη δυνατότητα παρέκκλισης της γεώτρησης. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα όταν πρόκειται για διάτρηση σε μαλακούς αμμώδεις σχηματισμούς, γεγονός που δυσκολεύει όσο φτάνει η γεώτρηση σε μεγάλα βάθη, καθώς οι σχηματισμοί είναι πιο συμπαγείς. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που απαιτείται να αλλάξει η κλίση σε μικρά βάθη. Τα συγκεκριμένα κοπτικά άκρα διαθέτουν τρία ακροφύσια εκ των οποίων το ένα είναι μεγαλύτερης διαμέτρου από τα άλλα δυο. Το μεγαλύτερο ακροφύσιο στρέφεται προς τον επιθυμητό προσανατολισμό και είναι αυτό το οποίο εκτοξεύει το ρευστό υπό μέγιστη κυκλοφορία, με ταχύτητα τουλάχιστον 500 ft/sec. Η διατρητική στήλη σταματά να περιστρέφεται μέχρι η εκτόξευση του πολφού να διανοίξει το πρώτο μέρος της νέας διαδρομής (3-8 ft). Η μοναδική κίνηση που μπορεί να κάνει η διατρητική στήλη είναι κάθετη, κατά την οποία ανυψώνεται 5-10 ft και αφήνεται να ξαναπέσει χρησιμοποιώντας φρένο, ώστε να μην προσκρούσει με όλο το βάρος της στον πυθμένα. Για τη συνέχιση της γεώτρησης εφαρμόζεται μεγάλο βάρος στο κοπτικό άκρο της τάξης των 40-45 Klb και χαμηλές ταχύτητες περιστροφής 60-70 rpm, διότι στα πρώτα μέτρα υπάρχει μια δυσκολία κίνησης προς τη νέα πορεία. Αυτό συμβαίνει, διότι δεν εφαρμόζουν σωστά οι σταθεροποιητές με το ανομοιόμορφο νέο φρεάτιο. Μετά την διάνοιξη του πρώτου μέρους της παρέκκλισης, η κυκλοφορία του πολφού μειώνεται κατά το ήμισυ και συνεχίζεται η γεώτρηση. Μετά τα πρώτα 10 ft μπορεί να αυξηθεί η ροή του πολφού στο 60-70% του ρυθμού που χρησιμοποιείται για την εκτόξευσή του. Η διαδικασία της εκτόξευσης πολφού από το κοπτικό άκρο χρησιμοποιείται για τις πρώτες 3° της παρέκκλισης. Μετά τις πρώτες 3° η παρέκκλιση πραγματοποιείται με διπλάσιο ρυθμό αλλαγής κλίσης.

Η συγκεκριμένη διαδικασία είναι εύκολη τόσο ως προς την εκπλήρωσή της όσο και ως προς τον καθορισμό του προσανατολισμού, δεν απαιτεί τη χρήση ειδικού πρόσθετου εξοπλισμού και δίνει τη δυνατότητα να ελεγχθεί η κλίση από την επιφάνεια, καθώς το μέσο παρακολούθησης της πορείας βρίσκεται σε μικρή απόσταση από το κοπτικό άκρο και η ταχύτητα εκτόξευσης ρυθμίζεται από την επιφάνεια.¹



Εικόνα 2.16.: Κοπτικό άκρο εκτόξευσης πολφού



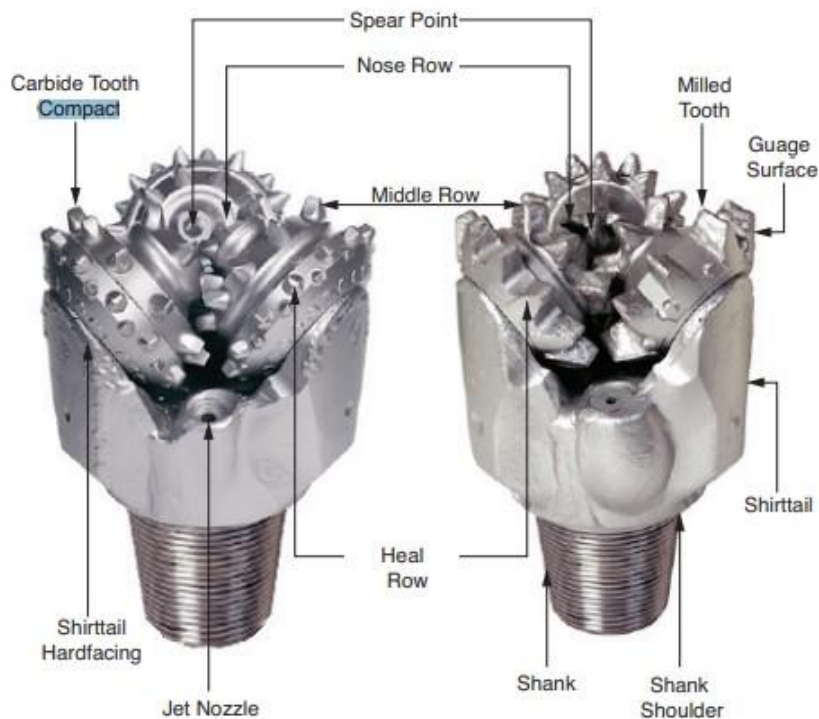
Εικόνα 2.17.: Διαδικασία αλλαγής κλίσης με τη χρήση εκτόξευσης πολφού, Πηγή: Baker Huges, 1995

2.3.14 ΚΟΠΤΙΚΑ ΑΚΡΑ

Στο τέλος της διατρητικής στήλης υπάρχει ένα εργαλείο το οποίο χρησιμεύει στην διάτρηση των σχηματισμών και ονομάζεται κοπτικό άκρο (**Drill bit**). Υπάρχουν πολλές κατηγορίες κοπτικών άκρων τα οποία διαχωρίζονται ανάλογα με τον τύπο πετρωμάτων από τα οποία θα περάσει η γεώτρηση. Εκτός του τύπου των πετρωμάτων, σημαντικές παράμετροι που καθορίζουν την επιλογή του κοπτικού άκρου είναι και οι ιδιότητες του

εκάστοτε άκρου, όπως το βάρος του, οι περιστροφές ανά λεπτό (rpm), η υδραυλική αποτελεσματικότητά του και η διαχείριση του γεωτρητικού πολφού. Τα κοπτικά άκρα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

Κοπτικά άκρα με περιστρεφόμενους κώνους (**RCB: Roller Cone Bits**): Ο αρχικός σχεδιασμός περιλάμβανε δύο περιστρεφόμενους κώνους και αποτέλεσε καινοτομία, διότι έδωσε για πρώτη φορά τη δυνατότητα διάτρησης σκληρών πετρωμάτων. Ο σχεδιασμός αυτός αποσύρθηκε, διότι δεν υπήρχε σωστή εφαρμογή των κώνων μεταξύ τους. Ο νέος σχεδιασμός ο οποίος επικρατεί μέχρι και σήμερα περιλαμβάνει με τρεις κώνους οι οποίοι προσδίδουν ισορροπημένη διάτρηση, σωστά κατανεμημένο βάρος και σωστού διαμετρήματος διάτρηση. Με τις αναβαθμίσεις που ακολούθησαν, τα κοπτικά άκρα τύπου RCB προσφέρουν τον κατάλληλο καθαρισμό του πυθμένα της γεώτρησης βοηθώντας στη σωστή επαφή του άκρου με το πέτρωμα, καθώς έχουν προστεθεί ακροφύσια εκτόξευσης (πολφού ή αέρα). Επίσης, προσφέρουν τη δυνατότητα χρήσης καρβιδίων του βολφραμίου για πιο εύκολη διάτρηση και προστασία από τους σκληρούς σχηματισμούς, ενώ η τοποθέτηση σφραγισμένων οργάνων που προκαλούν την περιστροφή του κοπτικού άκρου αποτρέπει την διάβρωση και την οξείδωση των μεταλλικών τμημάτων από την επαφή με τον πολφό διάτρησης.⁴



Εικόνα 2.18: Στοιχεία κοπτικών άκρων με περιστρεφόμενους κώνους, Πηγή: John Ford, 2017

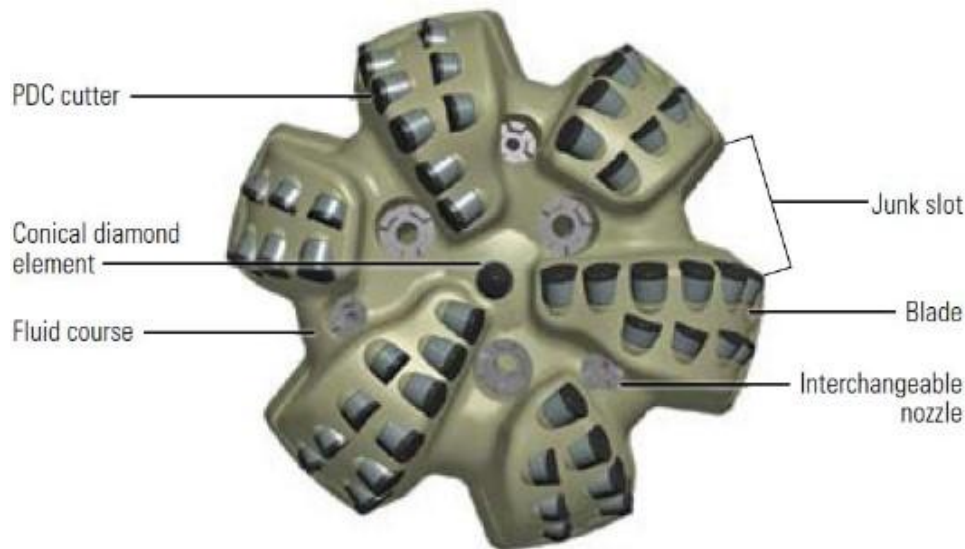
Αδαμαντοκορώνες με φυσικό διαμάντι (**Natural Diamond Bits**): Το συγκεκριμένο κοπτικό άκρο διαθέτει διαμάντια πάνω στο ατσάλινο σώμα. Αυτό σημαίνει πως το κοπτικό άκρο δεν διαθέτει περιστρεφόμενα μέρη και εκτελεί μια μόνο περιστροφική κίνηση μαζί με την υπόλοιπη γεωτρητική στήλη. Η σωστή κυκλοφορία του πολφού είναι απαραίτητη για την αποτροπή της αύξησης της θερμοκρασίας και τον καθαρισμό του μετώπου του άκρου από υπολείμματα πολφού. Το διαμάντι παρόλο που είναι μεγάλης σκληρότητας υλικό που μπορεί να διατρήσει σκληρούς σχηματισμούς, επηρεάζεται και φθείρεται από δονήσεις και κραδασμούς, γεγονός που απαιτεί την προσοχή και συνεχή παρακολούθηση των συνθηκών στις οποίες βρίσκεται το κοπτικό άκρο. Το συγκεκριμένο είδος άκρου έχει μεγαλύτερο κόστος, αλλά είναι ιδανικό στις επιχειρήσεις που απαιτούν μεγάλη διάρκεια διάτρησης. Η μεγαλύτερη αντοχή τους στο χρόνο σχετίζεται με το ότι δεν έχει περιστροφικά μέρη, καθώς επίσης και με τη δυνατότητα που δίνουν για αντικατάσταση των διαμαντιών.⁴



Εικόνα 2.19.: Αδαμαντοκορώνες με φυσικό διαμάντι, Πηγή: John Ford, 2017

Πολυκρυσταλλικά συμπαγή αδαμαντοτρύπανα (**PDC: Polycrystalline Diamond Compact**): Αυτά τα κοπτικά άκρα διαθέτουν μικρές πλάκες από συνθετικό διαμάντι που βοηθούν στην εκσκαφή των πετρωμάτων και δεν είναι τόσο ευαίσθητα όσο τα φυσικά διαμάντια. Ο συνδυασμός τους σε μια γεώτρηση με τουρμπίνες και γεωτρητικούς πολφούς που έχουν ως βάση το πετρέλαιο, αποδίδει ιδανικά για μεγάλης διάρκειας επιχειρήσεις και υψηλών ταχυτήτων περιστροφής. Παρόλα αυτά, το υψηλό κόστος τους δεν τα καθιστά ιδανικά για γεωτρήσεις χαμηλού προϋπολογισμού, στις οποίες προτιμώνται τα κοπτικά άκρα με περιστρεφόμενους κώνους που έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στα πολύ σκληρά πετρώματα όπως γρανίτες, βασάλτες κλπ. Μια από τις βελτιώσεις που πραγματοποιήθηκαν μεταγενέστερα ήταν η αύξηση της αντοχής των πολυκρυσταλλικών αδαμαντοκοπτικών σε υψηλές θερμοκρασίες (**TSP: Thermally Stable Polycrystalline diamond bits**).⁴

Μια τελευταία εξέλιξη, είναι η τοποθέτηση διαμαντιών στους κώνους, τα οποία δίνουν τη δυνατότητα διάτρησης πολύ σκληρών σχηματισμών, αυξάνοντας την αντοχή του κοπτικού άκρου, καθώς και τη ταχύτητα περιστροφών.⁹



Εικόνα 2.20.: Πολυκρυσταλλικά συμπαγή αδαμαντοτρύπανα, Πηγή: Schlumberger.com

Εξειδικευμένα κοπτικά άκρα (**Specialized bits**): Υπάρχουν ορισμένες ειδικές κατηγορίες κοπτικών άκρων οι οποίες είτε βοηθούν σε ειδικές περιπτώσεις τη διεκπεραίωση της γεώτρησης, είτε είναι εξελιγμένες μορφές προϋπαρχόντων κοπτικών άκρων. Μια ειδική κατηγορία είναι τα κοπτικά άκρα που διαθέτουν διαμάντια σε καλούπι από καρβίδιο του βολφραμίου (**Diamond impregnated bits**). Ο συγκεκριμένος σχεδιασμός βοηθά τη διάτρηση σχηματισμών σκληρότερων από τα όρια που μπορούν να διατρήσουν τα κοπτικά άκρα με περιστρεφόμενους κώνους. Οι λεπίδες που διαθέτουν βοηθούν στην εκσκαφή μαλακών σχηματισμών, ενώ η κάλυψη όλου του άκρου από διαμάντια διατρύπουν τους σκληρότερους. Η διάρκεια ζωής τους αυξάνεται, διότι μειώνεται η επαφή τους με τις αιχμηρές επιφάνειες από την κάλυψή τους με το καρβίδιο του βολφραμίου που προσδίδει μια σκληρή επικάλυψη που απορροφά τη φθορά σε μεγάλο βαθμό. Μια άλλη κατηγορία που χρησιμοποιεί τα διαμάντια είναι τα κοπτικά άκρα πυρηνοληψίας (**Core bits**). Τα συγκεκριμένα κοπτικά άκρα είναι κυλινδρικά, με διαμάντια στα σημεία του δακτυλίου που έρχεται σε επαφή με τους σχηματισμούς και το κενό στο εσωτερικό τους επιτρέπει τη λήψη πυρήνων από τα πετρώματα που υπάρχουν στην ζώνη ενδιαφέροντος. Επιπλέον, υπάρχουν και τα κοπτικά άκρα το οποία λειτουργούν ως σφυριά (**Hammer bits**). Ένα έμβολο πάνω από το κοπτικό άκρο ωθεί με δύναμη το κοπτικό άκρο, ώστε με την πρόσκρουση να θρυμματίζει τον σχηματισμό.⁹

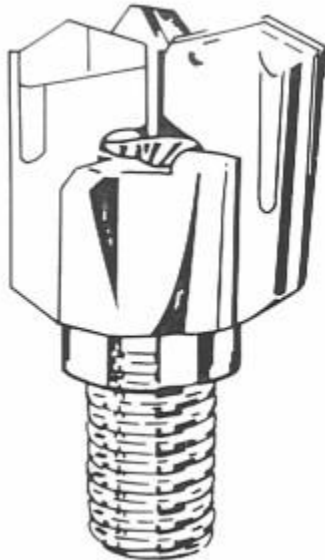


Εικόνα 2.21 Hammer bit, Πηγή: Schlumberger.com



Εικόνα 2.22.: Diamond impregnated bit

Κοπτικά άκρα με ελάσματα (**Drag bits**): Από τα πρώτα είδη άκρων που χρησιμοποιήθηκαν στις γεωτρήσεις είναι τα κοπτικά άκρα που διέθεταν ασάλινες σταθερές λεπίδες. Η χρήση τους πλέον δεν ενδείκνυται, αλλά βρίσκει εφαρμογή σε μαλακούς, κολλώδεις ή μη συνεκτικούς σχηματισμούς. ⁴



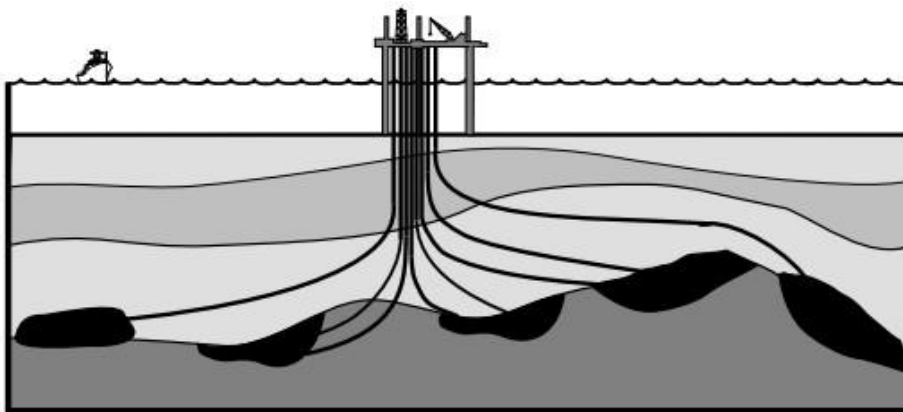
Εικόνα 2.23.: Κοπτικό άκρο με ελάσματα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΚΑΤΕΥΘΥΝΟΜΕΝΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

3.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

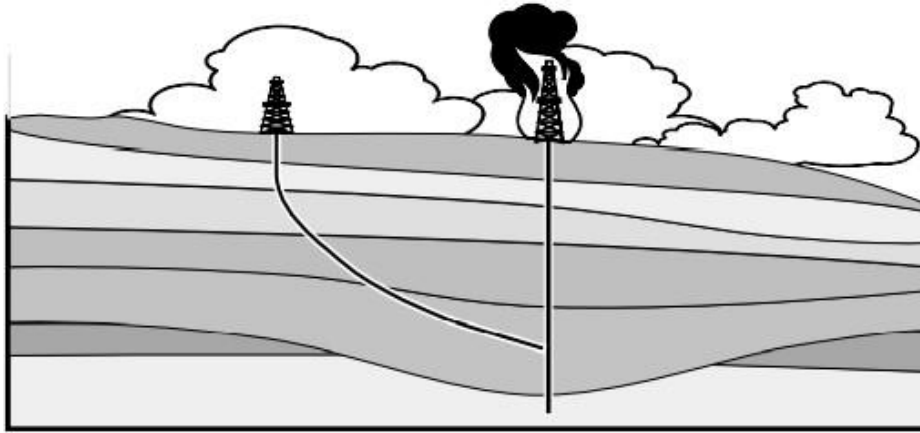
Ως κατευθυνόμενες γεωτρήσεις ορίζεται η επιστήμη που κατευθύνει μια γεώτρηση με προκαθορισμένη εκτροπή για την προσέγγιση ορισμένου υπόγειου στόχου.

Στις **υπεράκτιες γεωτρήσεις** η χρήση κεκλιμένων γεωτρήσεων έχει πολύ συχνή εφαρμογή. Στις περιπτώσεις που πρέπει να αντληθούν πολλαπλά κοιτάσματα υδρογονανθράκων κάτω από θαλάσσιο περιβάλλον, πρέπει να γίνει εγκατάσταση πλατφόρμας για την έναρξη της γεώτρησης. Η τοποθέτηση μιας πλατφόρμας για την άντληση κάθε κοιτάσματος ξεχωριστά με κάθετη γεώτρηση αυξάνουν το κόστος και δεν προτιμάται. Επομένως, η τεχνική που χρησιμοποιείται είναι η τοποθέτηση μιας πλατφόρμας και η προσέγγιση των κοιτασμάτων-στόχων με κεκλιμένες γεωτρήσεις.



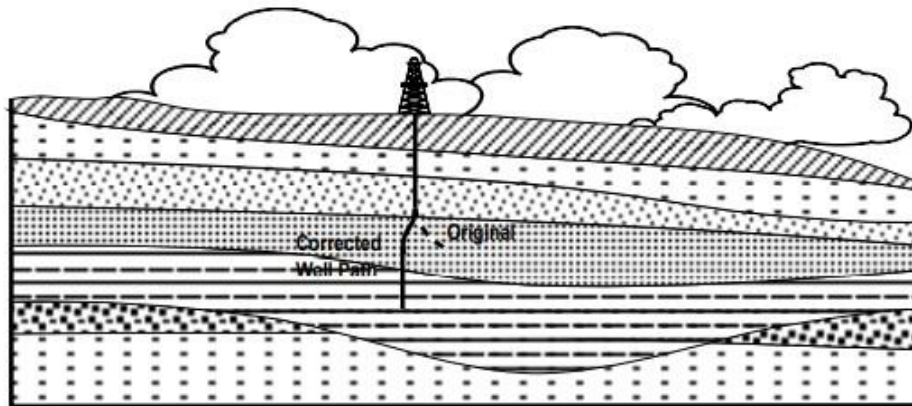
Εικόνα 3.1.: Πολλαπλές γεωτρήσεις σε υπεράκτιες δομές

Relief wells: Μια κεκλιμένη γεώτρηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση μιας ανεξέλεγκτης γεώτρησης. Η νέα γεώτρηση συγκλίνει προς την ανεξέλεγκτη, ενώνεται και διοχετεύει στον ταμιευτήρα γεωτρητικό πολφό πολύ υψηλού ειδικού βάρους. Με τον τρόπο αυτό σταματά η ανεξέλεγκτη απελευθέρωση ρευστών από την προϋπάρχουσα γεώτρηση και είναι ένας τρόπος αντιμετώπισης του φαινομένου «Blowout».



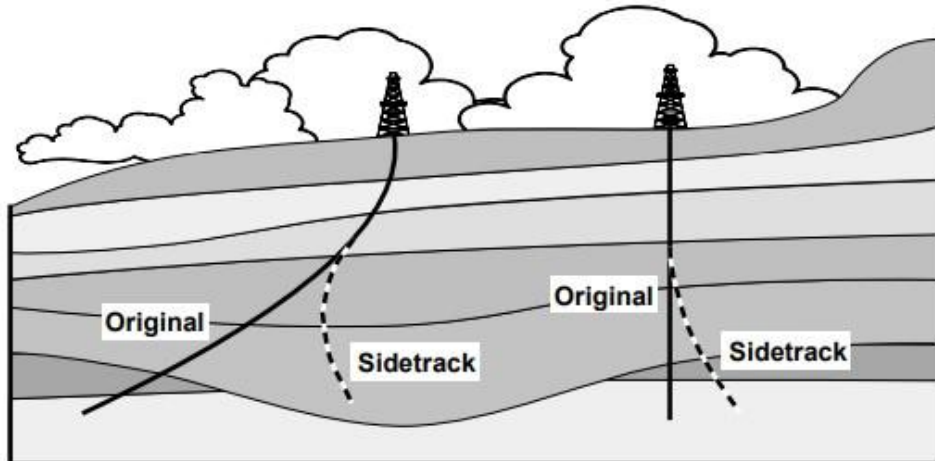
Εικόνα 3.2.:Γεωτρήσεις 'ανακούφισης'

Σε ορισμένες περιπτώσεις κάθετων γεωτρήσεων μπορεί να εντοπιστεί μια απόκλιση από τον κάθετο άξονα. Για τον έλεγχο και την επαναφορά της καθετότητας στην πορεία της γεώτρησης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τεχνική των κεκλιμένων γεωτρήσεων (**Controlling vertical wells**).



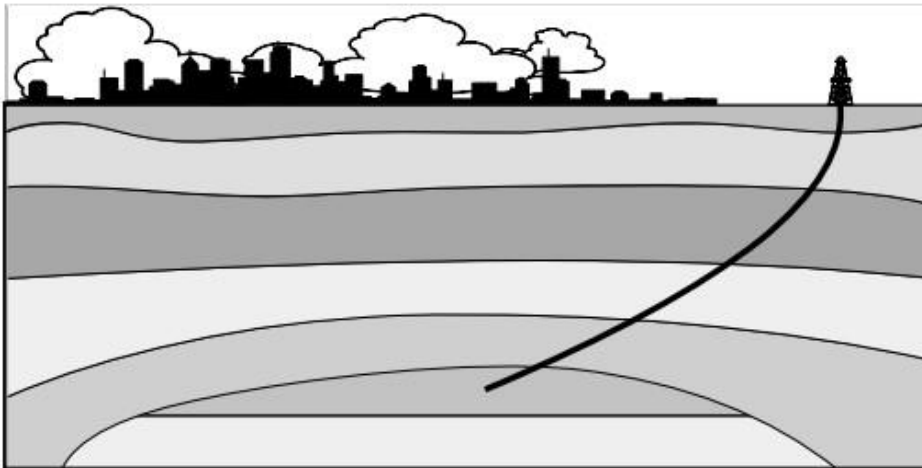
Εικόνα 3.3.:Έλεγχος κάθετων γεωτρήσεων

Πλευρική όρυξη (**Sidetracking**): Σε μια ανοιχτή γεώτρηση πολλές φορές μπορεί να εντοπιστούν εμπόδια που δεν επιτρέπουν την συνέχισή της. Στις περιπτώσεις αυτές, χρησιμοποιείται η μέθοδος της πλευρικής όρυξης για την προσπέλαση του εμποδίου, κατά την οποία αναπτύσσεται μια νέα γεώτρηση, υπό κλίση, διαμέσου της αρχικής για την προσέγγιση του επιθυμητού στόχου. Επιπλέον, μια πλευρική όρυξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της έκτασης ενός ταμιευτήρα ή για την παρέκκλιση από μια γεώτρηση που έχει πάψει να αντλεί, προς έναν νέο υποσχόμενο στόχο. Επίσης, με την τεχνική «sidetracking» μπορούν να εντοπιστούν νέοι ταμιευτήρες από μια ήδη υπάρχουσα κάθετη γεώτρηση.



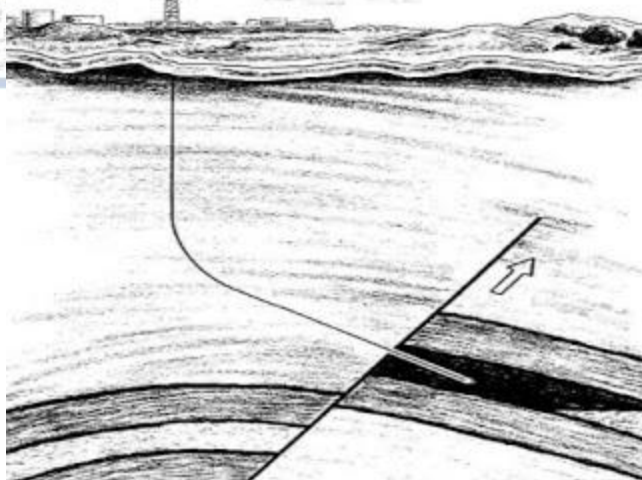
Εικόνα 3.4.: Sidetracking

Απρόσιτες τοποθεσίες (**Inaccessible locations**): Στην περίπτωση που ο ταμιευτήρας-στόχος βρίσκεται κάτω από τοποθεσίες όπου δεν επιτρέπουν την προσέγγισή του με κάθετη γεώτρηση είτε λόγω φυσικών, είτε λόγω ανθρώπινης παρέμβασης (π.χ. πόλεις), χρησιμοποιούνται οι κεκλιμένες γεωτρήσεις.



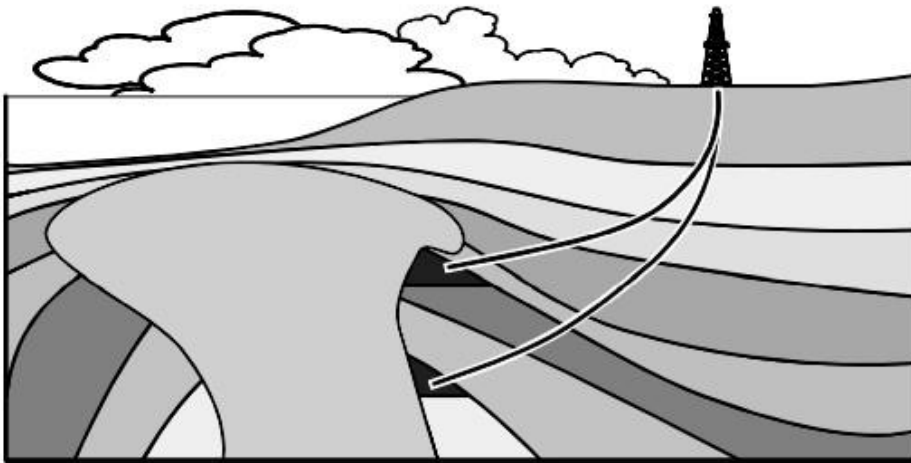
Εικόνα 3.5.: Προσέγγιση ταμιευτήρα κάτω από απρόσιτη τοποθεσία

Γεώτρηση σε σημείο ρήγματος (**Fault drilling**): Η ύπαρξη ενός ρήγματος στους σχηματισμούς από τους οποίους θα περάσει μια κάθετη γεώτρηση, μπορεί να δημιουργήσει αστοχίες στη θωράκιση (casing) της γεώτρησης με επικείμενη κατάρρευση της. Για την αποφυγή τέτοιων αστοχιών χρησιμοποιούνται κεκλιμένες γεωτρήσεις.



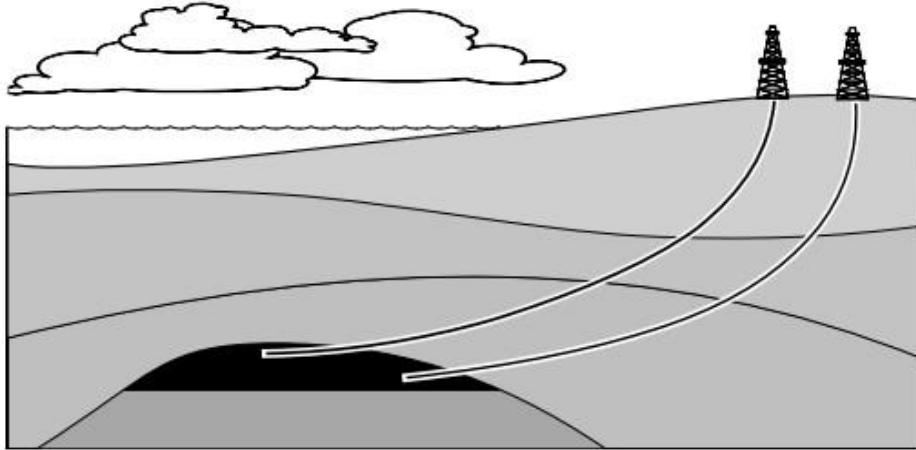
Εικόνα 3.6.: Fault drilling

Γεώτρηση σε θόλο άλατος (**Salt dome drilling**): Ένας δόμος άλατος δημιουργεί στο ανώτερο τμήμα του ένα «καπάκι». Η γεώτρηση μέσα από έναν τέτοιο σχηματισμό μπορεί να επιφέρει πολλά προβλήματα, επομένως προτιμάται η διάνοιξη κεκλιμένων γεωτρήσεων για την πλευρική προσέγγιση των ταμιευτήρων που εγκλωβίζονται στα τοιχώματα του θόλου ή κάτω από το «καπάκι».



Εικόνα 3.7.: Γεώτρηση σε θόλο άλατος

Γεώτρηση από την ακτή (**Shoreline drilling**): Όταν ένας υπόγειος ταμιευτήρας βρίσκεται κάτω από θαλάσσιο περιβάλλον, αλλά η απόστασή του από την ξηρά είναι μικρή, τότε η δημιουργία υπεράκτιας πλατφόρμας δεν αποτελεί οικονομικά συμφέρουσα επιλογή. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται κεκλιμένες γεωτρήσεις για την προσέγγιση του ταμιευτήρα, οι οποίες ξεκινούν από πλατφόρμες τοποθετημένες στην ακτή, που έχουν μικρότερο κόστος.



Εικόνα 3.8.: Γεώτρηση από την ακτή

3.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

Ο καθορισμός της πορείας που πρόκειται να ακολουθήσει μια γεώτρηση είναι πολύπλοκη διαδικασία, ειδικά στις περιπτώσεις πολλαπλών γεωτρήσεων και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες.

3.2.1 ΣΤΟΧΟΣ

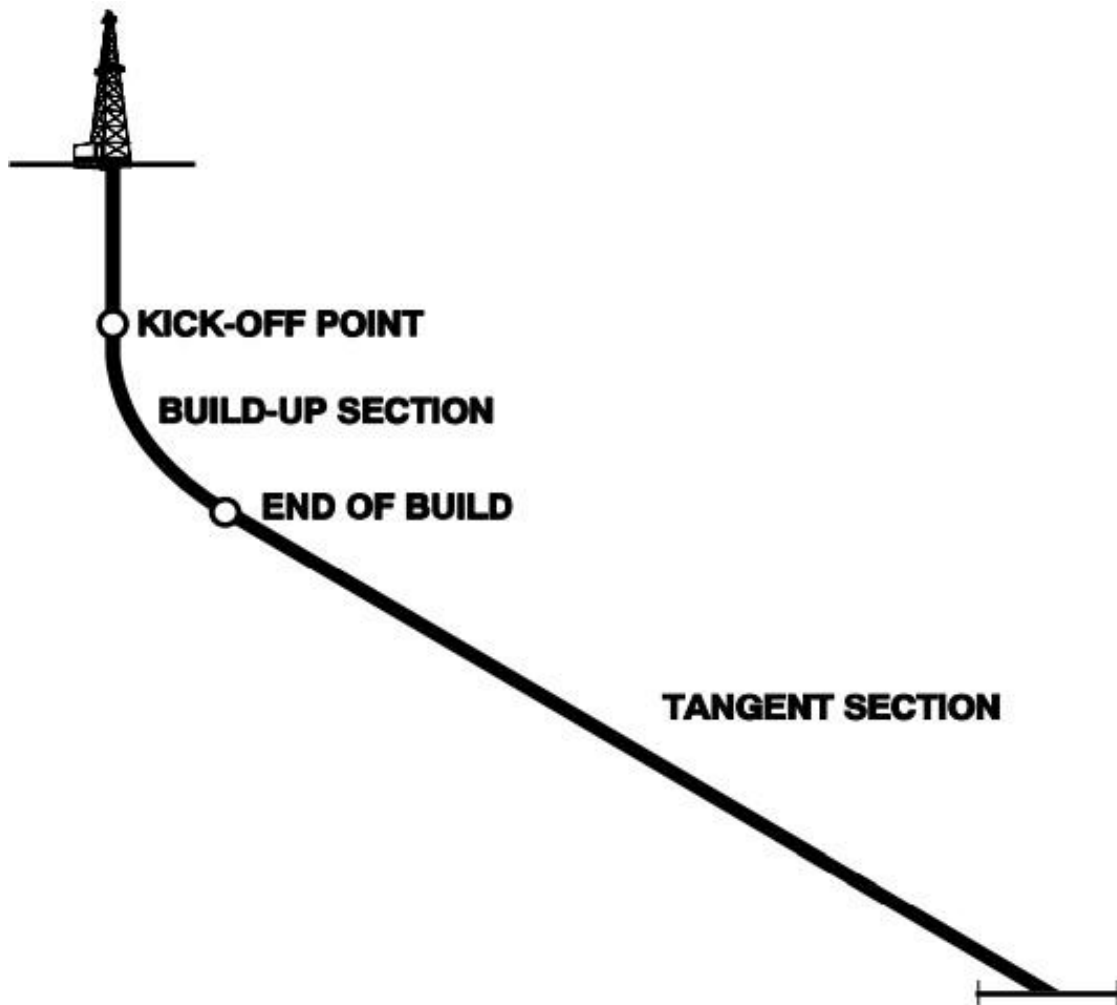
Ο στόχος της γεώτρησης είναι ένας βασικός παράγοντας που κρίνει την πορεία της γεώτρησης και αποτελεί τμήμα των εργασιών που συνήθως αναθέτονται στους γεωλόγους. Ο στόχος ορίζεται ως μια ευρεία ζώνη και όχι ως ένα μοναδικό σημείο. Στην περίπτωση που έχουν εντοπιστεί πολλαπλοί στόχοι, οι ζώνες πρέπει να καθοριστούν καταλλήλως στο πεδίο, ώστε να αποφευχθούν προβλήματα κατά τη διάρκεια της πορείας της γεώτρησης. Στην περίπτωση πολλαπλών γεωτρήσεων από την ίδια πλατφόρμα, προτιμάται ο σχεδιασμός με μικρό βάθος παρέκκλισης (Kick-off points). Αυτό συμβαίνει για την αποσυμφόρηση του χώρου κάτω από την πλατφόρμα, αλλά και εξαιτίας της δυσκολίας που υπάρχει στη διατήρηση της απαιτούμενης καθετότητας της γεωτρητικής στήλης, όταν το «Kick-off point» βρίσκεται σε μεγαλύτερα βάθη.

3.2.2 ΤΥΠΟΙ ΤΡΟΧΙΑΣ

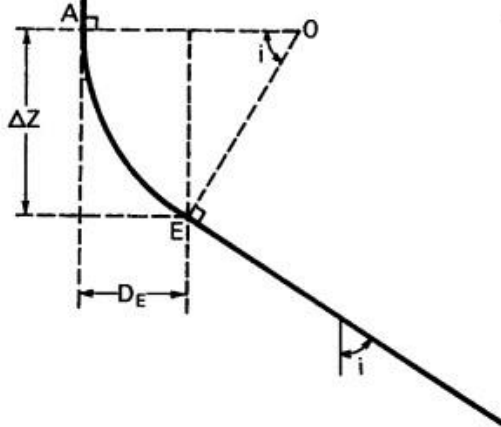
Για την εκτέλεση κατευθυνόμενων γεωτρήσεων αναζητούνται οι κατάλληλοι τύποι τροχιάς, οι οποίοι συνήθως είναι συνδυασμοί των κύριων τύπων ανάλογα με τον στόχο της γεώτρησης. Οι βασικοί τύποι τροχιάς, ωστόσο, είναι οι εξής:

Ευθείας παρέκκλισης (**Build and hold**):

Ο συγκεκριμένος τύπος τροχιάς βρίσκει εφαρμογή στις γεωτρήσεις μεγάλου βάθους και οριζόντιας μετατόπισης, ενώ χαρακτηριστικό της είναι τόσο οι διαφορετικοί ρυθμού διάτρησης, όσο και το χαμηλό σημείο απ' όπου ξεκινά η γεώτρηση να βρίσκεται υπό καθεστώς κλίσης (Kick-off point).



Εικόνα 3.9.: *Build and Hold*



Εικόνα 3.10.: Γεωμετρικά στοιχεία γεωτρήσεων ευθείας παρέκκλισης

Σύμφωνα με τα στοιχεία του παραπάνω διαγράμματος (Εικόνα 3.10) μπορεί να υπολογιστεί η ακτίνα κυρτότητας (R) της γεώτρησης.

$AE =$ Το μήκος της γεώτρησης από την αρχική μέχρι την τελική κλίση

$$R = \frac{360 \Delta L}{2\pi \Delta i} \quad (m), \text{ όπου: } R = \text{Ακτίνα κυρτότητας}$$

$$gbu = \frac{\Delta i}{\Delta L} \quad (^\circ/10m)$$

$$\text{Επομένως, } R = \frac{573}{gbu}$$

$$\text{και } \Delta Z = R \times \sin i \quad (m)$$

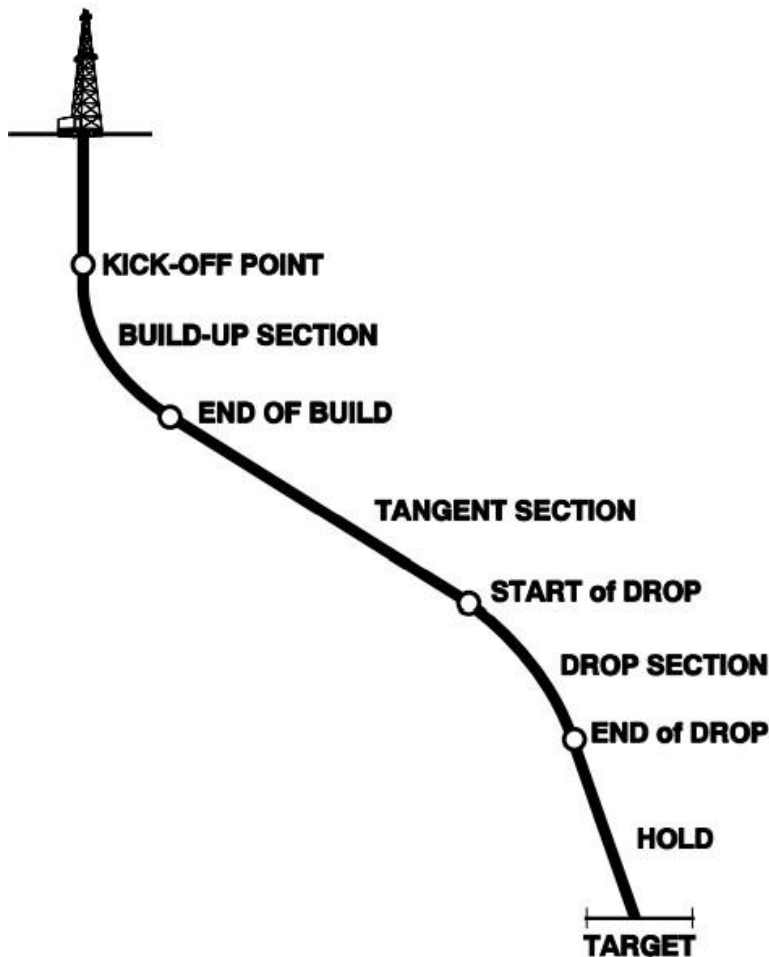
$$D_E = R(1 - \cos i) \quad (m)$$

Γεωτρήσεις «**Τύπου S**»:

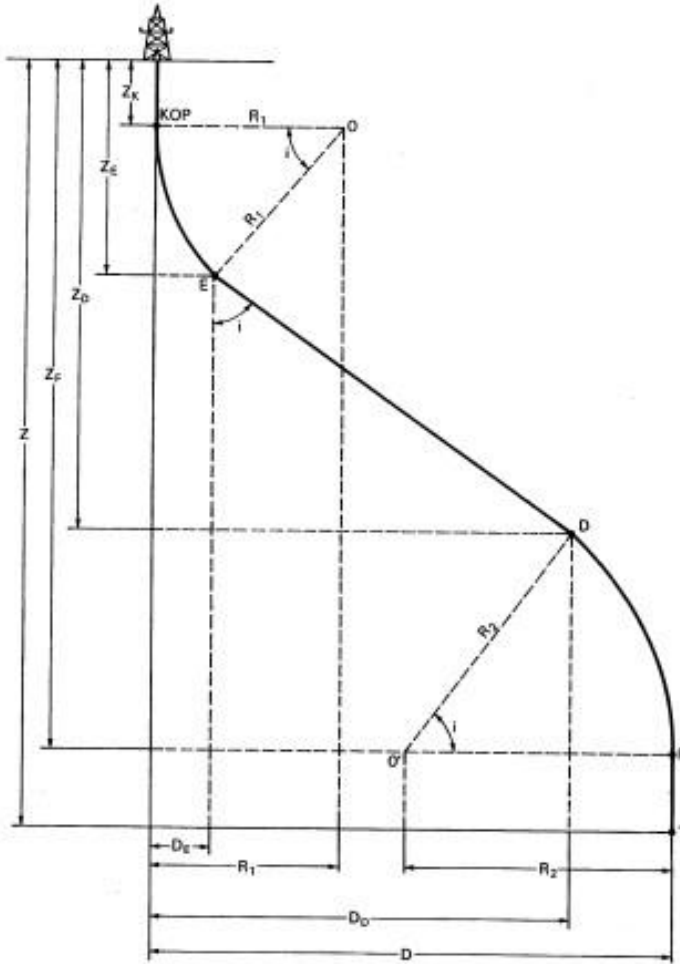
Στις γεωτρήσεις τέτοιου τύπου το σημείο όπου ξεκινά η κλίση είναι σε χαμηλά βάθη, ενώ μετά την αρχική παρέκκλιση, σε μεγαλύτερο βάθος, εντοπίζεται ένα ακόμη σημείο αλλαγής σε μικρότερη κλίση. Ο τύπος αυτός είναι ιδανικός για γεωτρήσεις μεγάλου βάθους, δίνουν μεγάλο εύρος εξοπλισμού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μειώνει την γωνία από την οποία έρχεται σε επαφή το κοπτικό άκρο με τον ταμιευτήρα. Επιπλέον,

είναι ιδανικός για τις περιπτώσεις όπου οι ζώνες ενδιαφέροντος είναι είτε περιορισμένες, είτε πολλαπλές.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν ορισμένες δυσκολίες που μπορούν να δημιουργηθούν και απαιτούν την συνεχή επίβλεψη της πορείας. Η τροχιά που διαγράφει η γεώτρηση σε αυτή την περίπτωση μπορεί να προκαλέσει προβλήματα κατάρρευσης ή διόγκωσης των υποκείμενων στρωμάτων στα σημεία αλλαγής των κλίσεων της γεώτρησης. Επίσης, αυξάνονται οι απαιτήσεις όταν θα ξεκινήσουν οι διαγραφίες, ενώ εντοπίζονται υψηλές τιμές αντίστασης στην κίνηση της γεωτρητικής στήλης.



Εικόνα 3.11.: Γεωτρήσεις Τύπου-S



Εικόνα 3.12.: Γεωμετρικά στοιχεία γεωτρήσεων «Τύπου-S»

Σύμφωνα με τα στοιχεία του παραπάνω σχήματος μπορούν να υπολογιστούν τα βασικά θεωρητικά σημεία μιας γεώτρησης «Τύπου S».

Για την επιστροφή της γεώτρησης σε κάθετη θέση (Θέση F), πραγματοποιείται εκ νέου εκτροπή της γεώτρησης προς τον κάθετο άξονά της, με κλίση ίση με:

$$i(^{\circ}) = 180 - \tan^{-1} \left[\frac{Z_F - Z_K}{D - R_1 - R_2} \right] - \cos^{-1} \left[\frac{R_1 + R_2}{Z_F - Z_K} \sin \tan^{-1} \frac{Z_F - Z_K}{D - R_1 - R_2} \right],$$

στην περίπτωση που ισχύει ότι $R_1 + R_2 < D$.

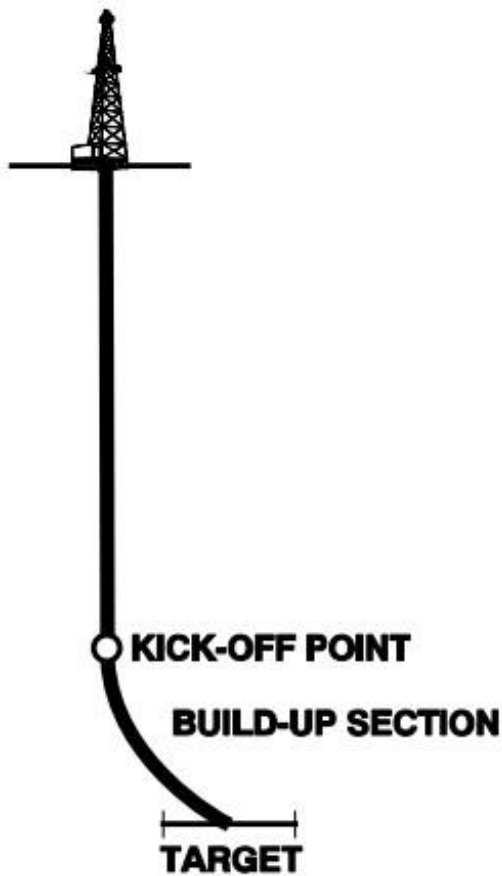
$$i(^{\circ}) = \tan^{-1} \left[\frac{Z_F - Z_K}{R_1 + R_2 - D} \right] - \cos^{-1} \left[\frac{R_1 + R_2}{Z_F - Z_K} \sin \tan^{-1} \frac{Z_F - Z_K}{R_1 + R_2 - D} \right],$$

στην περίπτωση που ισχύει ότι $R_1 + R_2 > D$.

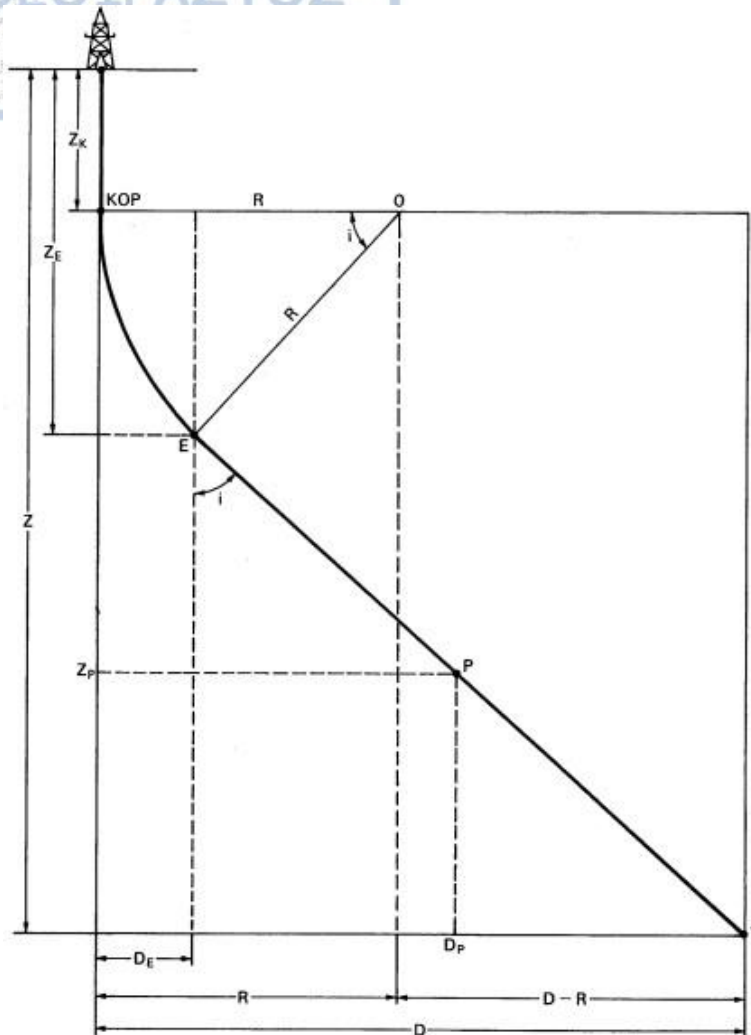
Το βάθος του σημείου D:
$$L_D(m) = Z_K + \frac{\pi i R_1}{180} + \frac{Z_D - Z_K - R_1 \sin i}{\cos i}$$

Γεωτρήσεις «Τύπου J»:

Η συγκεκριμένη τροχιά γεώτρησης έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με την τροχιά ευθείας παρέκκλισης, με τη διαφορά ότι το σημείο έναρξης της κλίσης (Kick-off point) βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος. Η γεωτρήσεις αυτού του είδους χρησιμοποιούνται για την αλλαγή του πυθμένα τους ή για τη συνέχιση της άντλησης όταν το προηγούμενο στο προηγούμενο σημείο περιορίζεται το απόθεμα. Επίσης, οι γεωτρήσεις αυτού του τύπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της έκτασης ενός νέου ταμιευτήρα, ενώ βρίσκει εφαρμογή και στις περιπτώσεις όπου ο ταμιευτήρας βρίσκεται πέριξ ενός δόμου άλατος. Το αρνητικό αυτής της μεθόδου είναι η μεγαλύτερη διαδρομή που απαιτείται για την αλλαγή της κατώτερης συνδεσμολογίας της διατρητικής στήλης, όταν αυτό κριθεί απαραίτητο. Επιπλέον, στην περίπτωση που συναντηθούν σκληροί σχηματισμοί (από την πίεση των υπερκείμενων στρωμάτων, λόγω μεγάλου βάθους) η παρέκκλιση είναι πιο δύσκολη, ενώ αυξημένη δυσκολία υπάρχει και στη διαδικασία κατά την οποία γίνεται ο προσανατολισμός του εξοπλισμού που εκτρέπει τη γεωτρητική στήλη.



Εικόνα 3.13.: Γεωτρήσεις «Τύπου-J»



Εικόνα 3.14.: Γεωμετρικά στοιχεία γεωτρήσεων «Τύπου-J»

Σύμφωνα με τα στοιχεία του παραπάνω σχήματος μπορούν να υπολογιστούν τα βασικά θεωρητικά σημεία μιας γεώτρησης «τύπου J».

Η κλίση υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$i(^{\circ}) = 180 - \tan^{-1} \left[\frac{Z-Z_K}{D-R} \right] - \cos^{-1} \left[\frac{R}{Z-Z_K} \sin \tan^{-1} \frac{Z-Z_K}{D-R} \right],$$

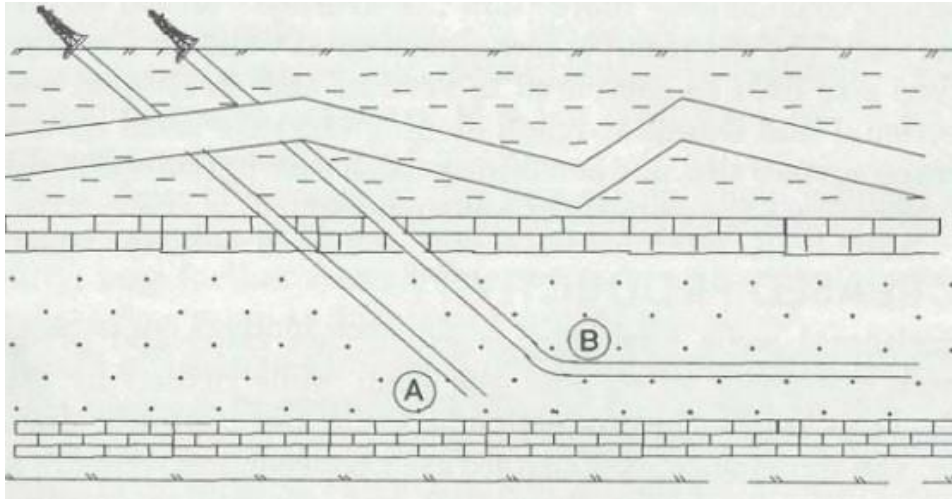
Το σημείο στόχου-ταμειωτήρα υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$L_T = Z_K + \frac{\pi i R}{180} + \frac{Z-Z_K-R \sin i}{\cos i},$$

Το σημείο τερματισμού της παρέκκλισης υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$L_E = Z_K + \frac{\pi i R}{180}$$

Φρεάτια με κλίση (**Slant holes**): Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο ταμιευτήρας μπορεί να βρίσκεται σε τόσο μικρό βάθος, που δεν είναι δυνατή η προσέγγισή του με τις κλασικές μεθόδους σχεδιασμού. Αυτό συμβαίνει, διότι η μικρή κάθετη απόσταση δεν επιτρέπει τη σωστή ανάπτυξη της κλίσης της γεώτρησης. Για το λόγο αυτό, η γεώτρηση ξεκινά εξ αρχής με κλίση 30° - 45° , δημιουργώντας ένα κεκλιμένο φρεάτιο. Ο σχεδιασμός αυτός επιτρέπει και τον συνδυασμό με τις οριζόντιες γεωτρήσεις.



Εικόνα 3.15.: A: Κεκλιμένο φρεάτιο, B: Συνδυασμός κεκλιμένου φρεατίου και οριζόντιας γεώτρησης, Πηγή: J. A. "Jim" Short, 1993

3.3 ΠΛΑΝΟ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

Για την οργάνωση μιας γεώτρησης είναι σημαντική η δημιουργία ενός συστήματος αναφοράς, για να μπορεί να καθοριστεί και να καταγραφεί η πορεία της γεώτρησης. Το σύστημα αναφοράς περιλαμβάνει στοιχεία βάθους, κλίσης και αζιμούθιου.

3.3.1 ΒΑΘΟΣ

Στις κεκλιμένες γεωτρήσεις υπάρχουν δύο είδη βάθους:

Ολικό μετρούμενο βάθος (**MD: Measured Depth**): Αναφέρεται στη μέτρηση της πορείας της γεώτρησης από την επιφάνεια, έως το σημείο που καταλήγει. Η μέτρηση αυτή πραγματοποιείται με διάφορες μεθόδους, όπως τον υπολογισμό του συνολικού μήκους της γεωτρητικής στήλης ή από τη μέτρηση βάθους με τις διαγραφίες από τον γεωτρητικό πολφό.

Πραγματικό κάθετο βάθος (**TVD: True Vertical Depth**): Ορίζεται ως η κάθετη απόσταση του σημείου αναφοράς του βάθους, ως ένα σημείο της πορείας της γεώτρησης και υπολογίζεται από τα δεδομένα του μετρητή της παρέκκλισης.

Στις περιπτώσεις σύγκρισης δύο διαφορετικών γεωτρήσεων καθορίζεται μια συγκεκριμένη αναφορά βάθους κοινή, όπως στην περίπτωση των γεωτρήσεων

ανακούφισης (relief drilling) όπου χρησιμοποιείται ως βάθος αναφοράς το αντίστοιχο του πυθμένα των γεωτρήσεων.

Στις υπεράκτιες γεωτρήσεις χρησιμοποιείται και το επίπεδο της μέσης στάθμης θάλασσας, ενώ χρησιμοποιείται και η μέση τιμή του ύψους της τράπεζας περιστροφής, καθώς δεν είναι σταθερή.

3.3.2 ΚΛΙΣΗ

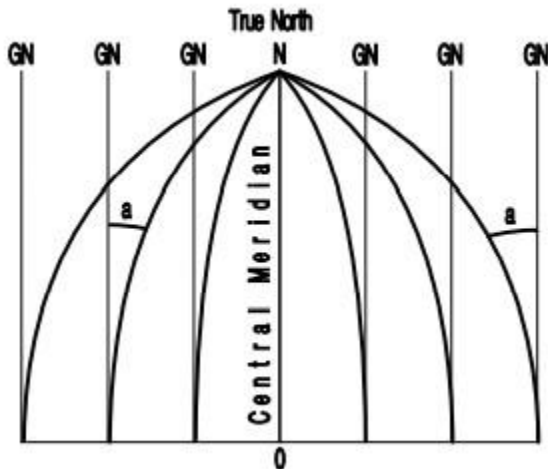
Αναφέρεται στη γωνία που σχηματίζουν ο άξονας της γεώτρησης με τον κάθετο άξονα και εκφράζεται σε μοίρες. Ο κάθετος άξονας αποτελεί το τοπικό κάθετο βαρυτικό διάλυσμα.

3.3.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΖΙΜΟΥΘΙΟΥ

Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται στην έρευνα των διευθύνσεων είναι αυτά του μαγνητικού βορρά (**Magnetic North**), του γεωγραφικού βορρά (**Geographic North**) και του βορρά τετραγωνισμού (**Grid North**). Παρόλο που όλα τα όργανα μέτρησης της κατεύθυνσης μιας γεώτρησης δίνουν στοιχεία στο σύστημα αναφοράς του μαγνητικού βορρά, η τελική αναφορά συντεταγμένων γίνεται ή στο σύστημα του Γεωγραφικού βορρά ή στον βορρά τετραγωνισμού.

Ο γεωγραφικός βορράς ή πραγματικός βορράς είναι η διεύθυνση μιας τοποθεσίας προς τον γεωγραφικό βόρειο πόλο.

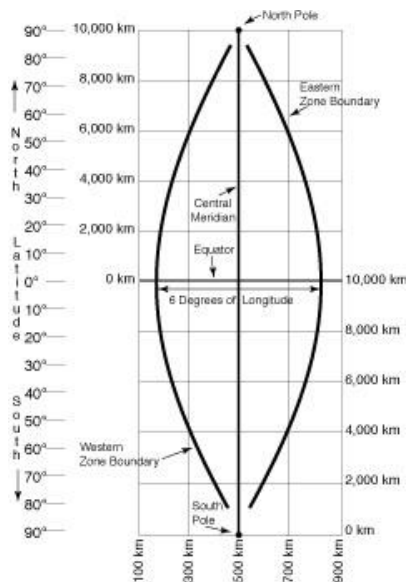
Ο βορράς τετραγωνισμού χρησιμοποιεί ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων για τον ορισμό μιας διεύθυνσης.



Εικόνα 3.16.: Σχέση Geographich North με Grid North

Οι υπολογισμοί και οι μετρήσεις όταν πρόκειται να οριστεί μια διεύθυνση στην πορεία της γεώτρησης γίνονται στο επίπεδο, μη λαμβάνοντας υπόψιν την καμπυλότητα της γης. Επομένως, για την διόρθωση των υπολογισμών χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα αναφοράς. Το πιο σύνηθες σε χρήση σύστημα είναι το **Universal Transverse Mercator System (UTM)**. Στο συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς, η σφαίρα που αναπαριστά τη γη περικλείεται σε έναν κύλινδρο ο οποίος εφάπτεται με τη σφαίρα σε δυο σημεία που αντιστοιχούν στον Βόρειο και Νότιο γεωγραφικό Πόλο, κατά μήκος ενός επιλεγμένου μεσημβρινού. Οι μεσημβρινοί στο σύστημα UTM συγκλίνουν στα σημεία των πόλων και απέχουν 6° . Η αρχή γίνεται από το Greenwich (0°) σχηματίζοντας συνολικά 60 ζώνες και το πλέγμα ολοκληρώνεται με τους παράλληλους δημιουργώντας ζώνες. Οι παράλληλοι εκτείνονται κατά 80° προς τον Βόρειο Πόλο και αντίστοιχα 80° προς τον Νότιο Πόλο, ξεκινώντας από τον Ισημερινό (0°) και κάθε παράλληλος χαρακτηρίζεται από ένα γράμμα.

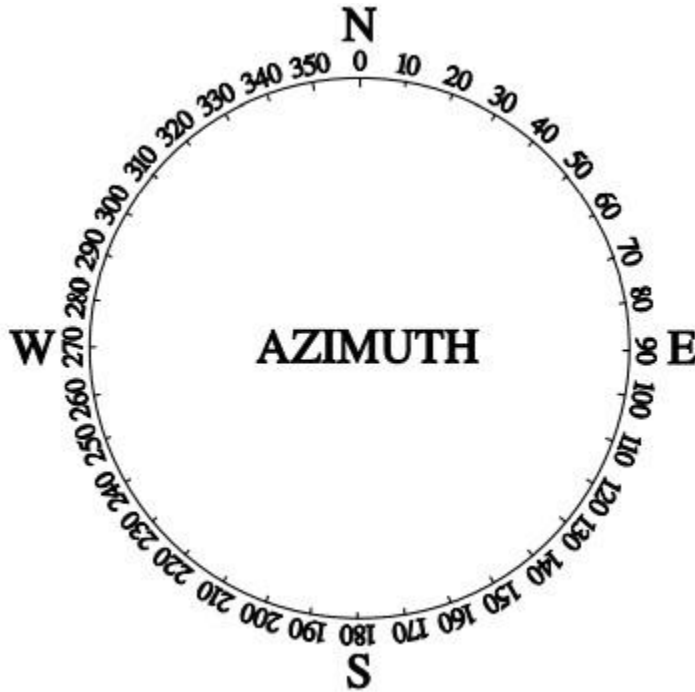
Στην πράξη, όταν πρέπει να τοποθετηθούν συντεταγμένες για μια γεώτρηση δεν αναφέρονται με τις πραγματικές τιμές του συστήματος UTM. Αντιθέτως, επιλέγεται ένα σημείο της πλατφόρμας ως αρχή των αξόνων και τα υπόλοιπα σημεία αναφέρονται ως προεκτάσεις αυτού του σημείου 0,0 στο σύστημα αξόνων. Στις υπεράκτιες γεωτρήσεις το σημείο αυτό είναι το κέντρο της πλατφόρμας.



Εικόνα 3.17.: Σύστημα UTM

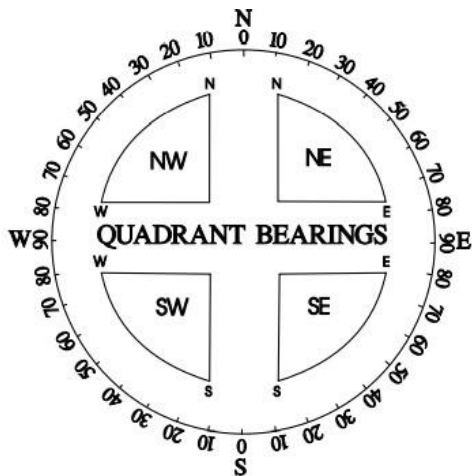
Ένα ακόμη σύστημα αναφοράς είναι το «**Lambert**», που χρησιμοποιείται πιο περιορισμένα. Στο συγκεκριμένο σύστημα, η σφαίρα περικλείεται σε έναν κώνο και οι μεσημβρινοί παρουσιάζονται ως συγκλίνουσες γραμμές, ενώ οι παράλληλοι ως τόξα κύκλου.

Αζιμούθιο: Με το αζιμούθιο εκφράζονται οι μετρήσεις που αφορούν την διεύθυνση. Οι διευθύνσεις ορίζονται σε μοίρες, οι οποίες ξεκινούν από το μηδέν (Βορράς) και δεξιόστροφα φτάνουν έως τις 359,99°.



Εικόνα 3.18.: Αζιμούθιο

Τεταρτημόρια: Με το σύστημα των τεταρτημορίων η διεύθυνση εκφράζεται με ένα εύρος μοιρών 0°-90°. Έτσι προκύπτουν τέσσερα τεταρτημόρια σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα:



3.4 ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

Σε πολλές περιπτώσεις, η προσέγγιση του στόχου απαιτεί την εφαρμογή μεγάλων κλίσεων. Οι γεωτρήσεις με κλίσεις μεγαλύτερων ή ίσων των 90° χαρακτηρίζονται ως οριζόντιες. Στις περιπτώσεις πολλαπλών γεωτρήσεων η πορεία μιας οριζόντιας γεώτρησης έχει διαφορετική τροχιά. Αρχικά σχεδιάζεται καταλλήλως για την αποφυγή των υπόλοιπων γεωτρήσεων κι έπειτα ξεκινά η παρέκκλισή της σε μεγάλες γωνίες. Ο σχεδιασμός αυτός απαιτεί τρισδιάστατες αλλαγές κλίσεων.¹

Οι οριζόντιες γεωτρήσεις μπορούν σχεδιαστούν ως αυτόνομες γεωτρήσεις, είτε ως συνέχεια μιας κατευθυνόμενης γεώτρησης, είτε ως παρέκκλιση μέσω ενός προϋπάρχοντος φρεατιού, στην περίπτωση που η διάμετρός του το επιτρέπει. Αρχικά γίνεται διάτρηση έως ότου ο πυθμένας της γεώτρησης βρεθεί στο ίδιο βάθος με τον στόχο. Έπειτα, ξεκινά η παρέκκλιση στο «Kick-off point», με απότομη αλλαγή της κλίσης και η γεώτρηση οδηγείται σε οριζόντια τροχιά έως την προσέγγιση του στόχου.

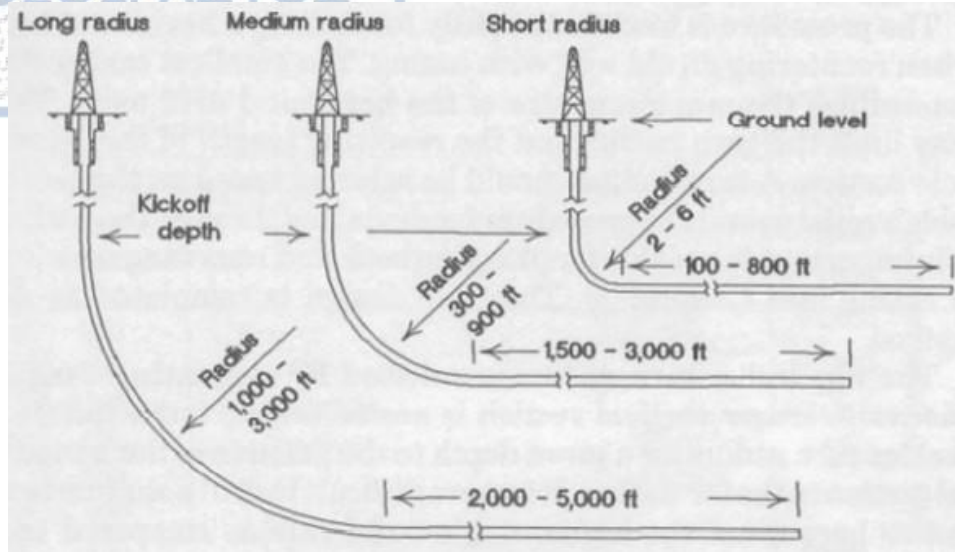
Η κατάταξη των οριζόντιων γεωτρήσεων είναι δύσκολη, καθώς χρησιμοποιούνται διάφοροι συνδυασμοί προόδου. Ωστόσο, μια γενική κατάταξη μπορεί να οριστεί, καθώς εντός κάποιων ορίων η πορεία της γεώτρησης είναι πιο εύκολη. Έτσι, οι οριζόντιες γεωτρήσεις κατατάσσονται σε:

Μικρού μήκους, όπου η κλίση αλλάζει εντός 2-60 ft, με ρυθμό αλλαγής $+100^\circ$ έως 95° ανά 100 ft και έκταση του οριζόντιου τμήματος από 100 ft έως 800 ft.

Μεσαίου μήκους, όπου η κλίση αλλάζει εντός 300-800 ft, με ρυθμό αλλαγής 19.1° έως 7.2° ανά 100 ft και έκταση του οριζόντιου τμήματος από 1500 ft έως 3.000 ft.

Μεγάλου μήκους, όπου η κλίση αλλάζει εντός 1.000 ft έως 3.000 ft, με ρυθμό αλλαγής 5.7° έως 1.2° ανά 100 ft και έκταση του οριζόντιου τμήματος από 2.000 ft έως 5.000 ft.

Το όριο των 300 ft προκύπτει από τις ανάγκες του εξοπλισμού. Τα 300 ft είναι το ελάχιστο όριο παρέκκλισης στο οποίο μπορούν οι σωληνώσεις να περάσουν χωρίς να προκύψουν αστοχίες. Στις μικρότερου μήκους παρεκκλίσεις χρησιμοποιούνται είτε μικρότερου μήκους, είτε ειδικά κατασκευασμένα γι' αυτό τον σκοπό στελέχη σωληνώσεων.



Εικόνα 3.19.: Είδη οριζόντιων γεωτρήσεων, Πηγή: J. A. "Jim" Short, 1993

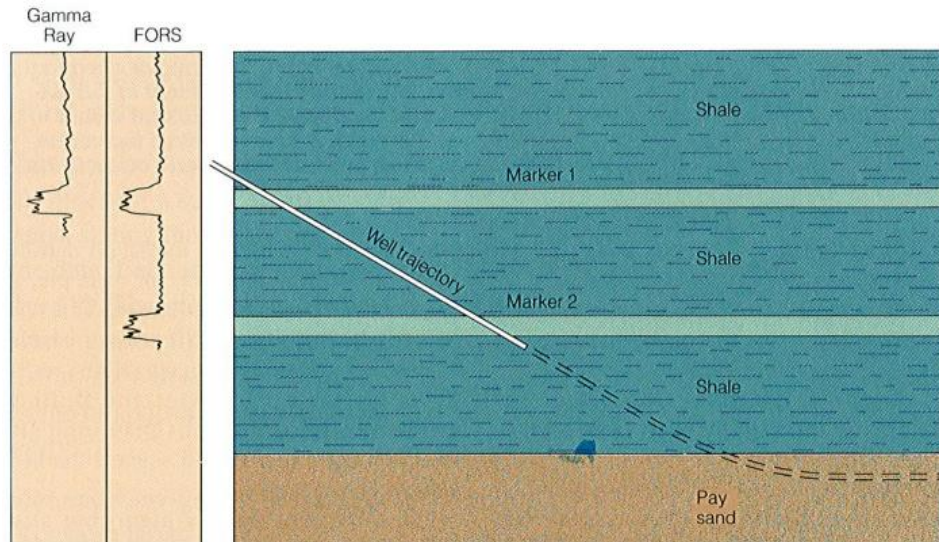
Αλλαγές προκύπτουν κυρίως στην περίπτωση που επιλέγεται να πραγματοποιηθεί οριζόντια γεώτρηση μέσω ενός ήδη ανοιχτού θωρακισμένου φρεατίου. Η ακτίνα της νέας θωράκισης είναι μικρότερη για να βρίσκεται εντός της παλαιάς και μπορεί να οδηγήσει σε πιο απότομη αλλαγή κλίσης και πιο μικρό μήκος αλλαγής, ενώ περιορίζει και τις επιλογές του εξοπλισμού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί.³

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΔΙΑΓΡΑΦΙΕΣ

Κατά τη διάρκεια μιας επιχείρησης γεωτρήσεων πραγματοποιούνται μετρήσεις και διαγραφίες για την άντληση πληροφοριών από το υπέδαφος. Οι διαδικασίες αυτές χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες, τις μετρήσεις κατά τη διάρκεια της γεώτρησης (**MWD: Measurement while drilling**) και τις διαγραφίες κατά τη διάρκεια της γεώτρησης (**LWD: Logging while drilling**). Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν ακτίνες-γ, αναφέρονται στον προσδιορισμό της αντίστασης, της κατεύθυνσης, της κλίσης και τα δεδομένα των παραμέτρων της μηχανικής γεωτρήσεων. Αντίστοιχα, οι διαγραφίες περιλαμβάνουν διαδικασίες διπλής αντίστασης, φασματοσκοπίας ακτινών-γ, παραγόντων φωτοηλεκτρισμού και μέτρησης πορώδους.

Για την κατανόηση της λιθολογίας του υπεδάφους χρησιμοποιούνται οι μετρήσεις που λαμβάνονται από τα όργανα που βρίσκονται τοποθετημένα λίγο πιο πάνω από το κοπτικό άκρο. Η μικρή τους απόσταση από τον πυθμένα των γεωτρήσεων επικαιροποιεί τα αποτελέσματα, τα οποία διασταυρώνονται και μέσω των αναλύσεων των θρυμμάτων που φτάνουν στην επιφάνεια με την κυκλοφορία του γεωτρητικού πολφού.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η χρονική διαφορά στα αποτελέσματα μεταξύ των μηχανικών παραμέτρων και των ακτινών-γ. Οι μηχανικές παράμετροι όπως η αντίσταση και η αντοχή των στρωμάτων που διαπερνά η γεώτρηση είναι άμεσα εμφανίσιμες και βοηθούν στο σωστό σχεδιασμό της υπόλοιπης γεώτρησης. Αντίθετα, οι ακτίνες-γ έρχονται ως συνέχεια των μετρήσεων για να επιβεβαιώσουν και να βελτιώσουν το προφίλ των στρωμάτων.

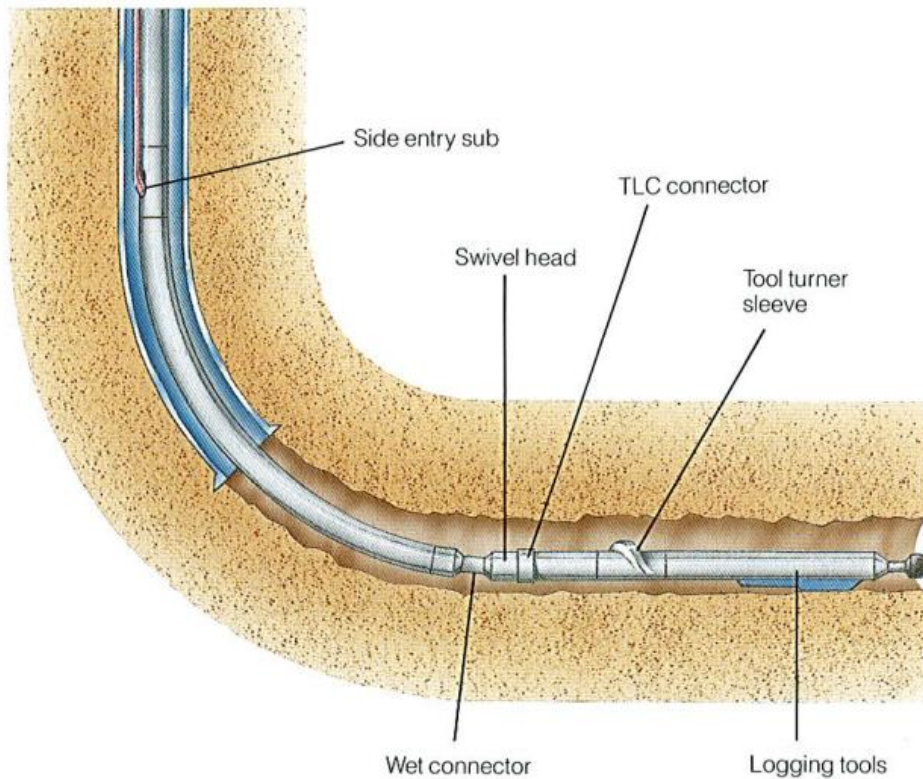


Εικόνα 4.1.: Χρονική σύγκριση εικόνας ακτινών-γ και μηχανικών δεδομένων⁹

Οι διαγραφίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της γεώτρησης (LWD) βρίσκονται τοποθετημένες εντός των αντίβαρων, ώστε οι ενδείξεις των οργάνων να βρίσκονται κοντά στο σημείο διάτρησης και να δίνουν άμεσα στοιχεία για τις συνθήκες της γεώτρησης, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας. Μία από τις μετρήσεις που προσφέρουν οι διαγραφίες αφορά την πυκνότητα. Με την τοποθέτηση ενός ανιχνευτή πυκνότητας κατά την περιστροφή (rotational density sensor) λαμβάνονται μετρήσεις σχετικά με την πυκνότητα του πολφού και του σχηματισμού. Όταν η πυκνότητα του σχηματισμού υπερβαίνει την πυκνότητα του γεωτρητικού πολφού, λαμβάνεται ως μέγιστη τιμή η πυκνότητα του σχηματισμού στην περίπτωση που ο ανιχνευτής πλησιάζει τον σχηματισμό, ενώ η πυκνότητα του πολφού αναφέρεται όταν ο ανιχνευτής απομακρύνεται από τα τοιχώματα του σχηματισμού. Αντιθέτως, όταν η πυκνότητα του σχηματισμού είναι μικρότερη από του γεωτρητικού ρευστού, τότε ο ανιχνευτής εμφανίζει τη μικρότερη τιμή που αντιστοιχεί σε αυτή του σχηματισμού.

Εκτός από τα όργανα που περιλαμβάνονται εντός της γεωτρητικής στήλης, υπάρχει και η μέθοδος άντλησης πληροφοριών μέσω της καθόδου ενός καλωδίου. Τα όργανά αυτά, λόγω της παρέκκλισης των κατευθυνόμενων ή οριζόντιων γεωτρήσεων, είναι δύσκολο να προσεγγίσουν τον πυθμένα. Γι' αυτό τον λόγο, κατευθύνονται πλευρικά της στήλης σε μεγάλα βάθη μέσω ενός συστήματος διαγραφιών περιστρεφόμενης κεφαλής (TLC:

Tough Logging Condition system) όταν η γεώτρηση σταματά την περιστροφική κίνηση.



Εικόνα 4.2.: TLC System

Με το σύστημα «TLC», λαμβάνονται πληροφορίες σχετικά με την γεωμετρία και τις ιδιότητες του ταμιευτήρα, όπως την απόσταση μεταξύ του πυθμένα και των επαφών πετρελαίου-νερού ή πετρελαίου-αερίου, το πορώδες και την διαπερατότητα του σχηματισμού-ταμιευτήρα, την πίεση και τον κορεσμό του.

Οι **ηλεκτρικές διαγραφίες** λειτουργούν διοχετεύοντας προς τους σχηματισμούς ηλεκτρική ενέργεια και μετρώντας στη συνέχεια το δυναμικό τους.

Οι **διαγραφίες ραδιενέργειας** λειτουργούν μετρώντας τόσο τα ραδιενεργά στοιχεία των σχηματισμών, όσο και τις αντιδράσεις τους σε ραδιενεργές συνθήκες.

Οι **ακουστικές διαγραφίες** λειτουργούν εντοπίζοντας την ανακλαστικότητα των σχηματισμών όταν διοχετεύονται σε αυτούς ηχητικά κύματα.

Σε όλα τα είδη των διαγραφιών πραγματοποιείται καταγραφή των δεδομένων, ομαδοποίηση και συσχέτισή τους και μοντελοποίηση των αποτελεσμάτων. Από αυτές τις ενέργειες προκύπτει το προφίλ του υπεδάφους και καθορίζονται οι μέθοδοι και τα είδη



των οργάνων που χρησιμοποιούνται σε κάθε στάδιο των κεκλιμένων ή οριζόντιων γεωτρήσεων.⁶

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συνεχής αύξηση των απαιτήσεων στον τομέα των εξορύξεων υδρογονανθράκων, έχει οδηγήσει στη χρήση εξαιρετικά πολύπλοκων και εξειδικευμένων τεχνικών σε κάθε τομέα της επιχείρησης,

Η ανάγκη για τη βέλτιστη χρήση των γεωτρητικών πολφών, έχει εισάγει χημικά συστατικά, αλλά και φυσικά συστατικά των οποίων οι ιδιότητες και αναλογίες προσδιορίζονται με μεγάλη ακρίβεια πριν αναμειχθούν με τους πολφούς διάτρησης. Επίσης, η εξέλιξη τόσο εξειδικευμένων μετρήσεων και τεχνικών έχει αναπτύξει και την ανάγκη για εξειδικευμένο προσωπικό, ώστε να γίνεται σωστή διαχείριση και καταμερισμός των εργασιών. Η ύπαρξη επιτελείων άρτια εκπαιδευμένων για την εκάστοτε εργασία ή δοκιμή κερδίζει χρόνο για την ολοκλήρωση της γεώτρησης και κρατά το πλάνο εντός χρονικών ορίων.

Ο σχεδιασμός μιας γεώτρησης οφείλει να λαμβάνει και να συνδυάζει όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες. Η προσέγγιση του εκάστοτε ταμιευτήρα συναντά δυσκολίες οι οποίες πρέπει είτε να προλαμβάνονται, είτε να εντοπίζονται και να αντιμετωπίζονται άμεσα χωρίς καθυστερήσεις και χωρίς αστοχίες οι οποίες μπορούν να κοστίσουν εκατομμύρια δολάρια για κάθε ημέρα που η γεώτρηση παραμένει ανενεργή.

Εξαιρετικής σημασίας για τη διεκπεραίωση του γεωτρητικού πλάνου είναι και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται. Η επιλογή του κάθε στελέχους που απαρτίζει τη διατρητική στήλη, του κάθε οργάνου διασκόπησης και του κάθε μέσου πρόβλεψης ή πρόληψης αστοχιών έχει καθοριστική σημασία. Οι κατηγοριοποιήσεις των οργάνων με βάση τις συνθήκες λειτουργίας και των δυνατοτήτων τους πρέπει να μελετώνται λεπτομερώς και να επιλέγεται πάντα η πιο οικονομική, περιβαλλοντικά αποδεκτή και συμφέρουσα επιλογή.

Τέλος, η διεύθυνση των γεωτρήσεων σε όλο και μεγαλύτερα βάθη, η συνεχής αναζήτηση νέων υλικών κατασκευής του εξοπλισμού με στόχο τη μείωση του κόστους και ταυτόχρονη αύξηση της αποτελεσματικότητας και η δημιουργία συνεχώς νέας βιβλιογραφίας από ειδικούς, είναι δεδομένο πως θα βελτιώσει τις συνθήκες των επιχειρήσεων και την αποδοτικότητά τους. Η προσέγγιση και άντληση υδρογονανθράκων από όλο και πιο δυσπρόσιτους ταμιευτήρες μπορεί να καταστεί καθοριστική εξέλιξη τόσο για την αγορά των υδρογονανθράκων όσο και για τη παγκόσμια οικονομία.



«ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΚΕΚΛΙΜΕΝΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ»

Οι κατευθυνόμενες γεωτρήσεις αποτελούν μια ειδική περίπτωση γεωτρήσεων με πολλές εφαρμογές στον τομέα των εξορύξεων. Με τη χρήση του διατρητικού πολφού προσδίδεται η απαραίτητη λίπανση και ψύξη του κοπτικού άκρου, πραγματοποιείται η μεταφορά των θραυσμάτων στην επιφάνεια και σε κάποιες φορές βοηθά στην παρέκκλιση της γεώτρησης. Ο σχεδιασμός της τσιμέντωσης, της θωράκισης και της επιλογής των εξαρτημάτων της γεωτρητικής στήλης εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες και καθορίζονται από τον τύπο υπεδάφους, τις συνθήκες και το κόστος. Οι διαγραφίες είναι οι διαδικασίες κατά τις οποίες λαμβάνονται όλες οι μετρήσεις είτε κατά τη διάρκεια της γεώτρησης, είτε όταν σταματά η περιστροφική κίνηση της διατρητικής στήλης.

Γεώργιος Τσουλογιάννης, 2022

ABSTRACT

«DIRECTIONAL DRILLING»

Directional drilling is a specialized drilling method with many different applications in hydrocarbons sector. Drilling mud is used in order to lubricate and drop the temperature of the drilling bit and circulate the cuttings out of the borehole. At same situations, they help to direct the drillstring. The design of cementing, casing and drillstring assemblies depends on different factors and they are defined by the underground properties, conditions and cost. Loggings help to record same measurements either drilling is running or has been stopped.

Georgios Tsoulogiannis, 2022



1. Baker Hughes INTEQ, "Drilling Engineering Handbook A Distributed Learning Course" (December 1995)
2. Institut Français du Pétrole Publications, "drilling data handbook" (1999)
3. J. A. "Jim" Short, "Introduction to Directional and Horizontal Drilling", PennWell Publishing Company (1993)
4. John Ford, "Drilling Engineering" HERIOT WATT UNIVERSITY (2017)
5. M.I. Swaco, "Drilling Engineering Manual"
6. Schlumberger, "Acquiring and Interpreting Logs in Horizontal Wells"

Διαδικτυακές πηγές

7. https://petrowiki.spe.org/PEH:Drilling_Fluids
8. <https://www.studocu.com/gr/document/alexandreio-technologiko-ekpaideytiko-idryma-oessalonikhs/gewtexnika-erga/mandatoryassignment-1-questionsanswers-geotexnikaerga-2018-2019/6078471>
9. <https://www.slb.com/resource-library/oilfield-review/defining-series/defining-bits>