



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΝΙΚΗΤΑΣ Π. ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ
ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΝΙΚΗΤΑΣ Π. ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ
ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στον
Τομέα Κοιτασματολογία

Επιβλέπων Καθηγητής
Καθηγητής Γεωργακόπουλος Ανδρέας

© Νικήτας Π. Αναστάσιος, Τομέας Κοιτασματολογίας, 2015 Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

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.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στα κυριότερα μέρη της διαδικασίας όρυξης μιας ερευνητικής γεώτρησης με σκοπό την εύρεση κοιτάσματος πετρελαίου ή/και φυσικού αερίου. Αναλύονται διάφοροι παράμετροι οι οποίοι επηρεάζουν την τελική διαμόρφωση και σχεδιασμό της διατρητικής διαδικασίας όπως επίσης και τα πιθανά προβλήματα που μπορεί να προκύψουν κατά την εκτέλεσή της. Τέλος παραθέτεται ένα τυπικό παράδειγμα σχεδίασης μιας γεώτρησης υδρογονανθράκων όπως αυτή διαμορφώθηκε με βάση όλα τα διαθέσιμα στοιχεία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

- ΤΑ ΚΥΡΙΑ ΜΕΡΗ ΕΝΟΣ ΓΕΩΤΡΥΠΑΝΟΥ, Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΡΥΞΗΣ ΜΙΑΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΚΟΣΤΗ
- ΑΣΤΑΘΜΗΤΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ
- ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ
- ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΑΚΡΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΛΟΙΠΟΥ ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

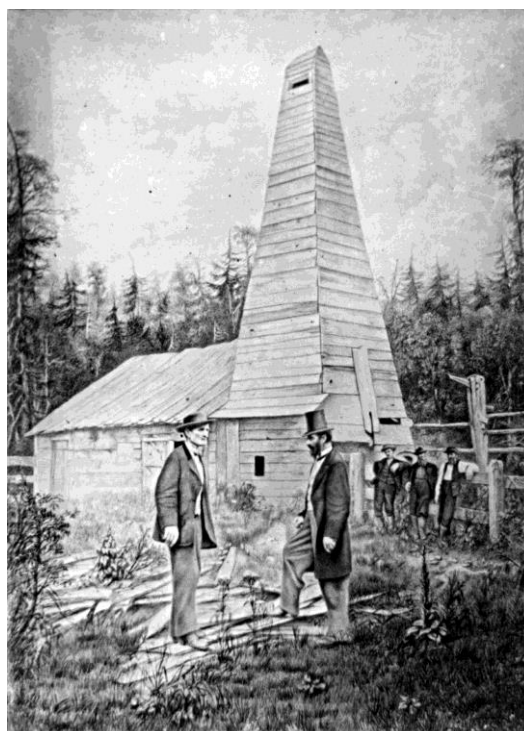
- ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΕΩΤΡΥΠΑΝΟΥ
- ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΤΣΙΜΕΝΤΩΣΗΣ
- ΠΟΛΦΟΣ [“ΛΑΣΠΗ”] ΤΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ
- Ο ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ
- ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πρώτη γεώτρηση με σκοπό την εξόρυξη πετρελαίου πραγματοποιήθηκε στα μέσα του 19^{ου} αιώνα από τους Edwin Drake και William Smith στον οικισμό Titusville της ΒΔ Πεννσυλβανίας των ΗΠΑ. Ο σκοπός του Drake ήταν να εξορύξει αυτό το «σκούρο υγρό που γλιστράει σαν λάδι και καίγεται» και να το πουλήσει ως πρώτη ύλη για τις λάμπες φωτισμού. Έτσι, μαζί με τον συνεργάτη του επέλεξαν να ανοίξουν μια γεώτρηση στη μέση μιας ήσυχης φάρμας για 2 κυρίως λόγους : α) διότι στη συγκεκριμένη περιοχή είχαν παρατηρηθεί αρκετές επιφανειακές διαρροές και β) διότι προηγούμενες γεωτρήσεις (για νερό) στη περιοχή είχαν δώσει πετρέλαιο και είχαν εγκαταλειφτεί – θεωρείτο πως το πετρέλαιο είναι άχρηστο.

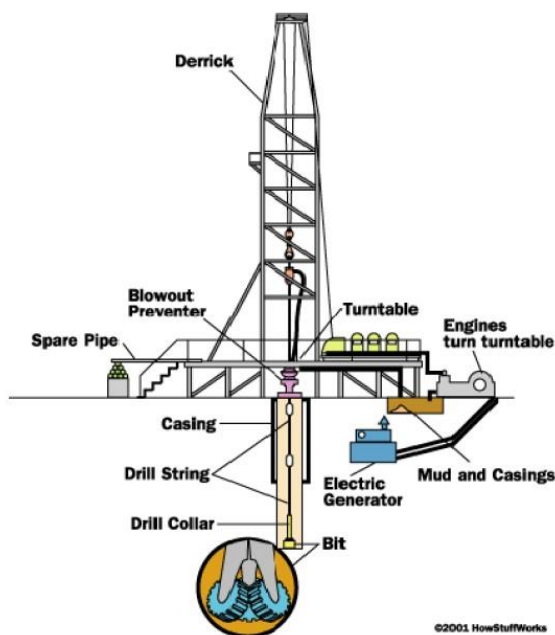
Για την γεώτρηση λοιπόν, χρησιμοποιήθηκε ένα γεωτρύπανο της εποχής ειδικό για γεωτρήσεις με σκοπό την εξόρυξη ορυκτού άλατος καθώς πίστευαν πως θα ήταν καταλληλότερο. Ο εξοπλισμός συνδέθηκε με μια ατμομηχανή ισχύος 6 ίππων (4,5kW) και ξεκίνησε η ανόρυξη. Στα πρώτα μέτρα παρατηρήθηκε ροή υπόγειου ύδατος το οποίο προκάλούσε εξασθένηση της συνοχής των ιζημάτων με αποτέλεσμα τα τοιχώματα της γεώτρησης να καταρρεύσουν. Για τον λόγο αυτό αποφασίστηκε η σωλήνωση του φρεατίου της γεώτρησης και ο Edwin Drake ξεκίνησε τις εργασίες τοποθέτησης μεταλλικών σωλήνων. Έτσι η διαδικασία συνεχίστηκε χωρίς προβλήματα και σε βάθος 10 μέτρων περίπου

ανακαλύφθηκαν τα πετρώματα του υποβάθρου. Από εκείνο το σημείο και κάτω, λόγω της ακαταλληλότητας του γεωτρητικού εξοπλισμού οι εργασίες συνεχίστηκαν με πολύ αργούς ρυθμούς (το γεωτρύπανο ήταν πλέον ικανό να προχωράει σε βάθος με ρυθμό της τάξης του 1 μέτρου την ημέρα).



Οι Edwin Drake (δεξιά) και William Smith (αριστερά) μπροστά από την γεώτρησή τους.

Το γεωτρύπανο δούλεψε για αρκετούς μήνες χωρίς αποτέλεσμα μέχρι που στις 27 Αυγούστου του 1859, και σε βάθος 69,5 πόδια/21,18 μέτρα, το φρεάτιο της γεώτρησης άρχισε να γεμίζει με πετρέλαιο. Η γεώτρηση αυτή ονομάστηκε "Drake" και θεωρείται η πρώτη επιτυχημένη γεώτρηση άντλησης πετρελαίου. Η μέση δυναμικότητά της είναι περίπου 15 βαρέλια αργού πετρελαίου την ημέρα. Το νέο προϊόν περνάει στο εμπόριο και αμέσως καταλαμβάνει σημαντικό κομμάτι της αγοράς. Η μέχρι τότε κηροζίνη φωτισμού προερχόταν από την διύλιση διάφορων γαιανθράκων, έτσι τα διυλιστήρια της εποχής αναγκάστηκαν να προσαρμοστούν και να διυλίζουν πλέον και αργό πετρέλαιο.



Το σύγχρονο γεωτρύπανο

Σήμερα οι γεωτρήσεις πετρελαίου ελάχιστα θυμίζουν εκείνη του Drake, όχι μόνο στην όψη αλλά και στα επιμέρους χαρακτηριστικά τους. Πλέον η επιστήμη και η τεχνολογία επιτρέπουν την ανόρυξη μιας γεώτρησης σε πολύ μεγαλύτερα βάθη, ελαχιστοποιώντας τον χρόνο αποπεράτωσης του έργου και αυξάνοντας τα μέτρα ασφαλείας στο μέγιστο δυνατό. Επίσης σήμερα, γεωτρητικά συγκροτήματα μπορούν να στηθούν σε οποιοδήποτε υδάτινο περιβάλλον αλλά και σε σχετικά δύσβατες ηπειρωτικές εκτάσεις. Η δε εξόρυξη του πετρελαίου (και φυσικού αερίου) πραγματοποιείται σε πολύ μεγαλύτερες ποσότητες ανά μονάδα χρόνου και με την επιβάρυνση του περιβάλλοντος να περιορίζεται συγκριτικά στο ελάχιστο.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ: Η ΑΥΤΟΚΡΑΤΟΡΙΑ ΤΟΥ <<ΜΑΥΡΟΥ ΧΡΥΣΟΥ>>, Σωτήρης Μπακανάκης, Μωυσής Λίτσας, Μιχάλης Καϊταντζίδης

https://en.wikipedia.org/wiki/Drake_Well

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ, Γεωργακόπουλος Ανδρέας (Θεσσαλονίκη, 2004)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

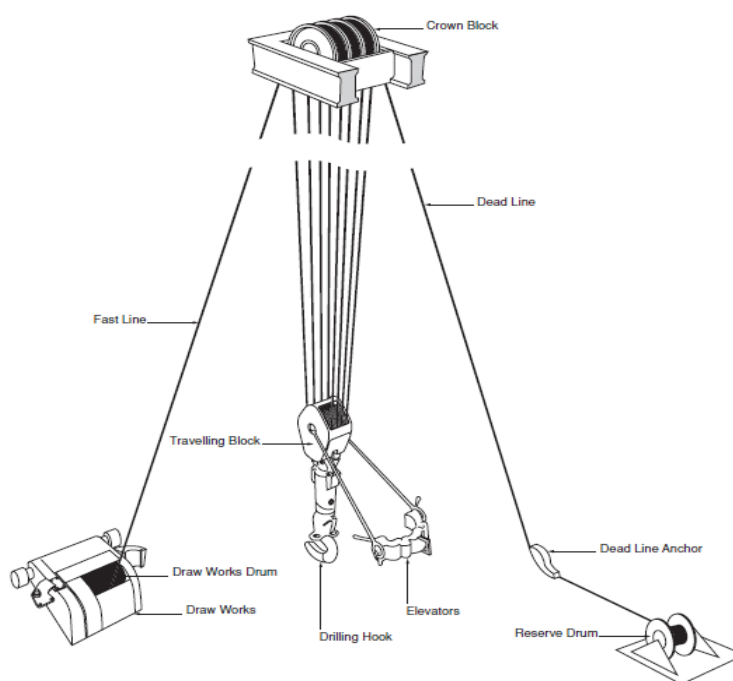
ΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΓΕΩΤΥΠΑΝΟ

Ένα σύγχρονο γεωτρητικό συγκρότημα αποτελεί μια βιομηχανική μονάδα η οποία έχει τα εξής ξεχωριστά χαρακτηριστικά:

- Παράγει ένα μόνο προϊόν: το φρεάτιο της γεώτρησης
 - Στήνεται επί τόπου στο συγκεκριμένο σημείο που πρέπει να ανοιχτεί η γεώτρηση
- Δεν απαιτείται καμία πρώτη ύλη για να παραχθεί το προϊόν.

Ένα τυπικό γεωτρητικό συγκρότημα έχει τη μορφή που φαίνεται στη παρακάτω εικόνα και ανάμεσα στα σημαντικά του μέρη διακρίνουμε:

- Το **σύστημα ανέλκυσης/καθέλκυσης** της διατρητικής στήλης (Hoisting system) το οποίο αποτελείται από τον χαρακτηριστικό χαλύβδινο πύργο (derrick), το κινητό και σταθερό σύστημα τροχαλιών (travelling block και crown block αντίστοιχα), το συρματόσχοινο (drilling line) και το βαρούλκο (drawworks). Το σταθερό σύστημα τροχαλιών είναι στερεωμένο στην κορυφή του πύργου και



Το σύστημα ανέλκυσης/καθέλκυσης

συνδέεται με το κινούμενο σύστημα με ένα ή περισσότερα συρματόσχοινα. Αυτές οι δύο τροχαλίες με την συνδυασμένη δράση τους είναι υπεύθυνες για την ανέλκυση και την καθέλκυση της διατρητικής στήλης και συνδέονται μαζί της με ένα ατσάλινο καλώδιο μεγάλης διαμέτρου. Η αρχή του καλωδίου αυτού βρίσκεται περιτυλιγμένη γύρω από ένα μεγάλο μεταλλικό κύλινδρο που είναι και το βασικό μέρος του βαρούλκου.

- Το **σύστημα περιστροφής (Rotating system)** που είναι υπεύθυνο για την περιστροφή του κοπτικού άκρου το οποίο βρίσκεται στο κατώτερο μέρος της διατρητικής στήλης. Οι διαθέσιμες τεχνολογίες περιστροφής είναι δύο : το παραδοσιακό σύστημα Kelly και το πιο σύγχρονο σύστημα Top drive.

Περιστροφή με Kelly :

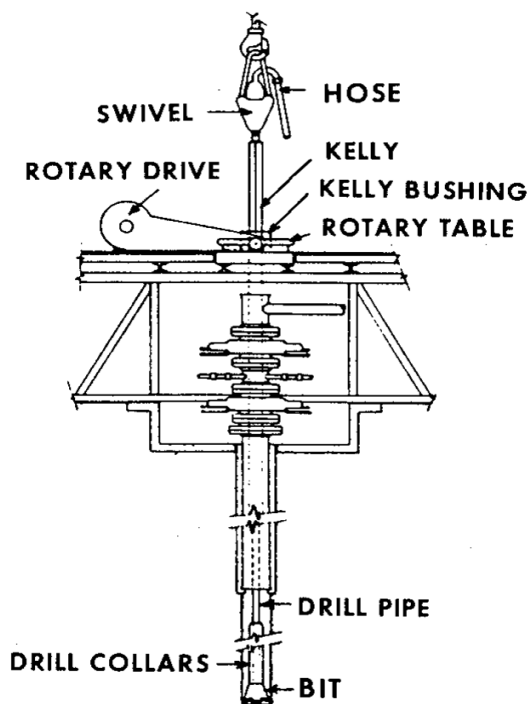
Περιλαμβάνει τον περιστρεπτό τροφοδότη (swivel), το στέλεχος μετάδοσης της περιστροφής (Kelly), την περιστρεφόμενη τράπεζα (rotary table), τα διατρητικά στελέχη (drill pipes), τα αντίβαρα (drill collars) και το κοπτικό άκρο.

Ο περιστρεπτός τροφοδότης είναι το ανώτερο στέλεχος του συστήματος και δίνει την

δυνατότητα στην διατρητική

στήλη να περιστρέφεται. Είναι συνδεδεμένος με το κινητό σύστημα τροχαλιών του συστήματος ανέλκυσης/καθέλκυσης, ενώ στο κατώτερο μέρος του συνδέεται με το Kelly. Το Kelly μπορεί να είναι τριγωνικό, τετραγωνικό, εξαγωνικό ή οκταγωνικό (με σειρά αυξανόμενου κόστους και ικανότητα ισχύος). Εφαρμόζει σαν κλειδί μέσα στην περιστρεφόμενη τράπεζα και εξαναγκάζεται σε περιστροφή από αυτήν. Η περιστροφή μεταδίδεται σε όλη την υπόλοιπη διατρητική στήλη και κατά συνέπεια και στο κοπτικό άκρο που είναι και το ζητούμενο.

Περιστροφή με top drive system : Στο σύστημα αυτό απουσιάζει το kelly ενώ η περιστρεφόμενη τράπεζα αντικαθίσταται από μια μη περιστρεφόμενη. Κάτω από τον περιστρεπτό τροφοδότη βρίσκεται συνδεδεμένος (επικρεμάμενος) ένας κινητήρας μεγάλης ιπποδύναμης ο οποίος περιστρέφει δεξιόστροφα την διατρητική στήλη και μπορεί να κινείται κατακόρυφα. Το top drive system είναι νεότερη τεχνολογία και συνεπώς εμφανίζει διάφορα πλεονεκτήματα.



Το σύστημα kelly

Συνοπτικά : α) Περιλαμβάνει 3 διατρητικά στελέχη (αντί για 1 στο σύστημα Kelly) και συνεπώς μπορεί να διατρήσει 27m (3x9m) κάθε φορά,
 β) Είναι γρηγορότερο στην διάτρηση και μειώνει το κόστος της διαδικασίας,
 γ) Είναι ασφαλέστερο και προϋποθέτει πολύ λιγότερη χειρονακτική εργασία,
 δ) Μειώνει σημαντικά τις πιθανότητες να “κολλήσει” η διατρητική στήλη και
 στ) Είναι πολύ βολικό στις κατευθυνόμενες γεωτρήσεις.

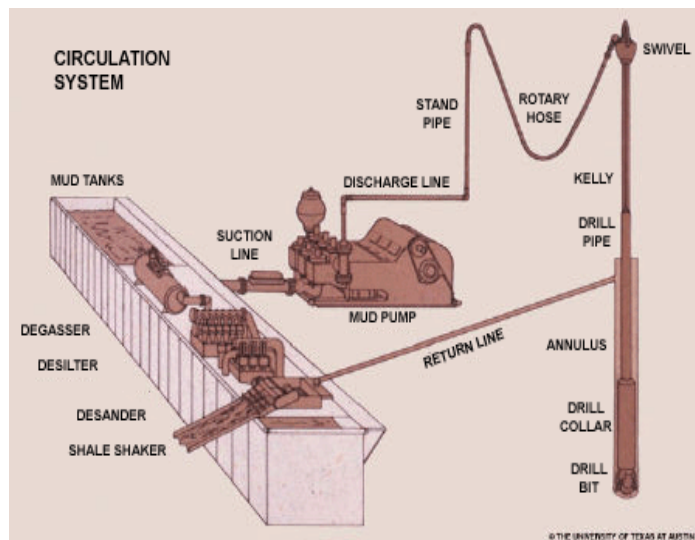


Επικρεμώμενος κινητήρας – top drive system

Και στα δύο παραπάνω συστήματα συμμετέχουν στη διαδικασία διάτρησης το κοπτικό άκρο και τα αντίβαρα. Το μεν κοπτικό άκρο παράγει το πηγάδι της γεώτρησης ενώ τα αντίβαρα ασκούν στο κοπτικό άκρο το επιπλέον βάρος που ίσως να χρειάζεται.

- Το **σύστημα κυκλοφορίας του διατρητικού πολφού** (circulating system).

Είναι ένα σύστημα κατά το οποίο η λάσπη (πολφός) διοχετεύεται με πίεση μέσα στην διατρητική στήλη μέχρι την επιφάνεια διάτρησης και επανέρχεται στην επιφάνεια συμπαρασύροντας



Το σύστημα κυκλοφορίας του διατρητικού πολφού

τα θρύμματα πετρωμάτων που παράγονται στο “μέτωπο” της γεώτρησης. Στην επιφάνεια ο πολφός περνά από την δεξαμενή καθίζησης όπου δονούμενα κόσκινα (shale shakers) διαχωρίζουν τα θρύμματα από το ρευστό και ύστερα καταλήγει στην

δεξαμενή απορρόφησης όπου τροποποιείται ελαφρά για να ξεκινήσει πάλι τον κύκλο του. Ο πολφός συνήθως έχει σαν βάση το νερό και είναι ένα μίγμα νερού-μπεντονίτη με διάφορες χημικές προσμίξεις. Σε κάποιες περιπτώσεις όμως, ο πολφός μπορεί να έχει σαν βάση το πετρέλαιο ή κάποιο αέριο (πεπιεσμένο ή μη).

Συνοπτικά, σκοπός του συστήματος είναι : α) να ψύχει και να λιπαίνει το κοπτικό άκρο για την καλύτερη λειτουργία του, β) να “καθαρίζει” την επιφάνεια διάτρησης από τα θρύμματα έτσι ώστε το κοπτικό άκρο να προσβάλλει κάθε φορά νέα επιφάνεια, γ) να συγκρατεί τα τοιχώματα της γεώτρησης ώστε να μην καταρρεύσουν δημιουργώντας ένα τοίχωμα πολφού (mud cake) πάνω στα τοιχώματα του πηγαδιού.

- Το **σύστημα ενεργειακής τροφοδοσίας** που αποτελείται από ένα σύστημα με κινητήρες πετρελαίου και ηλεκτρογεννήτριες. Οι συνηθισμένες γεωτρητικές στήλες απαιτούν ενέργεια που αντιστοιχεί σε υποδύναμη 1000 – 3000 ίππων η οποία καλύπτεται από τους πετρελαιοκινητήρες, ενώ οι πολύ μικρότερες ανάγκες φωτισμού, τροφοδοσίας ηλεκτρονικών συστημάτων κτλ καλύπτονται από τις ηλεκτρογεννήτριες.
- Το **σύστημα BOP (BlowOut Preventer) ή Αντιεκρηκτικός Μηχανισμός Ασφαλείας**. Αποτελείται από ένα σύστημα με ειδικές σωλήνες και βαλβίδες, τοποθετημένες σε συστάδες. Πρόκειται για έναν μεγάλο διαστάσεων μηχανισμό ο οποίος εξασφαλίζει την ασφάλεια τόσο του προσωπικού της εξέδρας όσο και του περιβάλλοντος σε περίπτωση παρουσιαστούν συνθήκες ακραίων πιέσεων ή ανεξέλεγκτης ροής ρευστών (φαινόμενο formation kick). Ο μηχανισμός τοποθετείται στην είσοδο του φρέατος και είναι απαραίτητος τόσο στις υποθαλάσσιες (offshore) όσο και στις χερσαίες (onshore) γεωτρήσεις. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στις offshore γεωτρήσεις παρουσιάζει το σύστημα των risers ως μέρος του συστήματος BOP. Τα risers είναι σωλήνες μεγάλου μήκους οι οποίοι συνδέουν το φρεάτιο της γεώτρησης με τις εγκαταστάσεις της εξέδρας στην επιφάνεια της θάλασσας, με σκοπό την μεταφορά υλικών από την γεώτρηση στην εξέδρα και αντίστροφα. Ανάλογα με τις προδιαγραφές τους τα risers μπορούν να μεταφέρουν τον διατρητικό πολφό, τα παραγόμενα προϊόντα (πετρέλαιο και φυσικό αέριο), την διατρητική στήλη, τα υλικά της σωλήνωσης κτλ. Οι διάφοροι τύποι των risers είναι:

i) **attached risers.** Χρησιμοποιείται στις εξέδρες τύπου fixed platforms. Τα risers αποτελούνται από πολλά επιμήκη κομμάτια ενωμένα μεταξύ τους και ακολουθούν το εξωτερικό περιθώριο της (μεταλλικής συνήθως) κατασκευής που στηρίζει την πλατφόρμα.

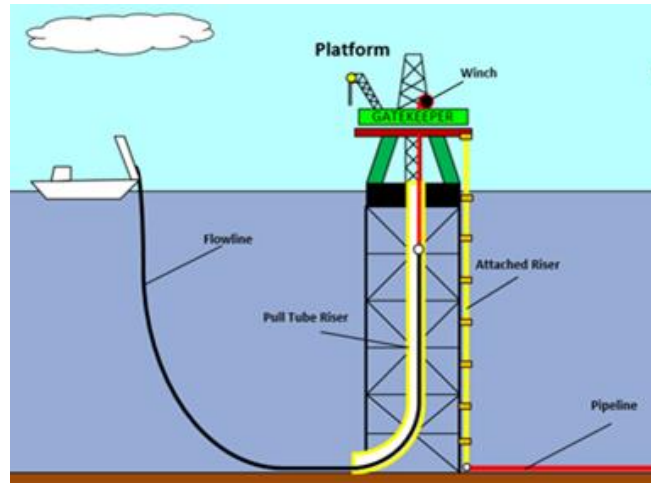


Figure 2: Attached / Pull Tube

Attached και pull tube risers

ii) **pull tube risers.**

Χρησιμοποιούνται επίσης σε εξέδρες τύπου fixed platforms.

Τα risers είναι στερεωμένα στο κέντρο της εξέδρας και τοποθετούνται εντός σωλήνων μεγαλύτερης διαμέτρου.

iii) **steel catenary risers.** Χρησιμοποιούνται σε εξέδρες τύπου TLP (tension-leg platform), spar, FPSO (floating production, storage and offloading), αλλά και σε fixed platforms. Είναι risers σχετικά εύκαμπτα με δομή που βασίζεται σε αυτήν της αλυσίδας.

iv) **top-tensioned risers.** Χρησιμοποιούνται σε εξέδρες τύπου TPL και spar. Είναι risers ευθύγραμμα και καλά στερεωμένα στο βυθό. Καταλήγουν κάτω από τις πλωτές εξέδρες τις οποίες και συγκρατούν σαν άγκυρες. Παρ' όλα αυτά οι εξέδρες μπορούν να εκτελούν μικρές κινήσεις πλευρικά λόγω της δράσης των κυμάτων.

v) **riser towers/flexible risers.** Χρησιμοποιούνται κυρίως σε εξέδρες τύπου FPSO και είναι πολύ βολικά σε γεωτρήσεις πολύ βαθιάς θάλασσας. Πρόκειται για επιμήκεις μεταλλικές κατασκευές (riser towers) οι οποίες φτάνουν σχεδόν μέχρι την επιφάνεια της θάλασσας και καταλήγουν σε μεγάλες πλωτές δεξαμενές. Τα risers βρίσκονται μέσα στις κατασκευές αυτές και κρατιούνται τεντωμένα λόγω της σύνδεσής τους με τις πλωτές δεξαμενές. Εκεί τα τεντωμένα risers συνδέονται με αντίστοιχα ευλύγιστα (flexible risers) τα οποία και καταλήγουν στις εγκαταστάσεις της εξέδρας.

vi) **drilling risers.** Μεταφέρουν τον πολφό διάτρησης στην επιφάνεια κατά την διάρκεια της γεώτρησης και διασφαλίζει την προστασία του περιβάλλοντος σε περίπτωση διαρροής ρευστών.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΚΟΣΤΟΙ

Η διαδικασία όρυξης μιας γεώτρησης μεγάλου βάθους είναι από τη φύση της μια πολύ κοστοβόρα διαδικασία, ιδιαίτερα αν πρόκειται για υποθαλάσσια (offshore) γεώτρηση λόγω του πολύ ακριβού κόστους ενοικίασης του γεωτρήπανου, της ακριβής μεταφοράς του εξοπλισμού (με φορτηγά ή πλοία), των υψηλών προδιαγραφών ασφαλείας που πρέπει να τηρηθούν, των σχετικών αδειών για την διεξαγωγή της έρευνας και της σχετικά υψηλής μισθοδοσίας του εξειδικευμένου και άρτια εκπαιδευμένου (πλέον) προσωπικού. Τα τελευταία χρόνια το κόστος των ερευνητικών κυρίως γεωτρήσεων έχει τριπλασιαστεί διότι τα προηγούμενα χρόνια είχαν ανακαλυφθεί όλα (ή σχεδόν όλα) τα “εύκολα” κοιτάσματα (δηλαδή τα χερσαία κοιτάσματα ή τα υποθαλάσσια μικρού βάθους) με αποτέλεσμα η έρευνα για υδρογονάνθρακες να γίνεται σε όλο και βαθύτερες και πιο δύσβατες περιοχές. Έτσι, το 2001 η ανακάλυψη ενός βαρελίου πετρελαίου κόστιζε κατά μέσο όρο 1,18 δολάρια ενώ το 2012 η τιμή αυτή ξεπέρασε τα 3 δολάρια.

Το κόστος μια γεώτρησης είναι προφανές ότι εξαρτάται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου. Μια αρκετά αντιπροσωπευτική εκτίμηση του κόστους διάτρησης (σε \$/ft ή \$/m) για συγκεκριμένο διατρηθέν διάστημα (π.χ. από τα 1258m μέχρι τα 1309m), δίδεται από την ακόλουθη απλή σχέση.

$$C=[R(t+t_d)+C_b]/F \quad \text{όπου:}$$

C το κόστος διάτρησης ανά πόδι/μέτρο για κάθε υπό εξέταση κοπτικό άκρο,
R το κόστος του γεωτρήπανου (περιλαμβάνει λειτουργικό κόστος, καθώς και το κόστος ενοικίασης ή την απόσβεση αγοράς του) σε \$/hr

t ο χρόνος μανούβρας (trip time) σε hr. Είναι το σύνολο των “νεκρών” χρόνων που απαιτούνται

- Για τη καθέλκυση της διατρητικής στήλης στο βάθος που ξεκινά την διάτρηση το εξεταζόμενο κοπτικό
- Για την προσθήκη διατρητικών στελεχών στην διατρητική στήλη ώστε να προχωρήσει η διάτρηση από το βάθος έναρξης ως το πέρας της λειτουργίας του εξεταζόμενου κοπτικού
- Για την ανέλκυση της διατρητικής στήλης στην επιφάνεια για την αντικατάσταση του κοπτικού

t_d ο χρόνος ωφέλιμης διάτρησης από το εξεταζόμενο κοπτικό σε hr

C_b το κόστος του κοπτικού άκρου σε \$

Ε τα πόδια/μέτρα που διατρήθηκαν σε ft ή m

Όσον αφορά μια
τυπική ανάπτυξη
ενός offshore
γεωτρητικού
συγκροτήματος και
τις σχετικές
δαπάνες,
παραθέτεται
παρακάτω το
παράδειγμα του
κοιτάσματος Brae

	Cost (\$ million)
Platform structure	230
Platform equipment	765
Platform installation	210
Development drilling	475
Pipeline	225
Onshore facilities	50
Miscellaneous	120
Total	2075

στην Βόρεια θάλασσα
(Σκωτία).

Οικονομικά στοιχεία του κοιτάσματος Brae στην Βόρεια
θάλασσα (Σκωτία)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

http://www.petrostrategies.org/Learning_Center/drilling_operations.htm
https://en.wikipedia.org/wiki/Kelly_drive
https://en.wikipedia.org/wiki/Top_drive
https://en.wikipedia.org/wiki/Blowout_preventer
[https://en.wikipedia.org/wiki/Blowout_\(well_drilling\)#Formation_kick](https://en.wikipedia.org/wiki/Blowout_(well_drilling)#Formation_kick)
https://en.wikipedia.org/wiki/Drilling_riser
<https://mistersukoco.files.wordpress.com/2011/01/untitled.jpg>
Γεωργακόπουλος Ανδρέας, Κοιτασματολογία πετρελαίου
http://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=308&c_id=17
http://ffden2.phys.uaf.edu/212_spring2011.web.dir/Dan_Luo/web%20page/Drilling%20rig.html
<http://eaglefordtexas.com/anatomy-oil-rig/>
<https://ngelmumigas.files.wordpress.com/2010/11/hoist.png>
<http://www.newoilrigs.com/images/20120604/6TOP-DRIVE-r.png>

https://www.osha.gov/SLTC/etools/oilandgas/images/circulation_system_lg.gif

<https://mistersukoco.files.wordpress.com/2011/01/untitled.jpg>

Drilling Engineering (Institute of Petroleum Engineering, Heriot-Watt University)

ΑΣΤΑΘΜΗΤΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ – ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Προβλήματα κατά την διαδικασία διάτρησης παρουσιάζονται σχεδόν πάντα, ακόμα και στις πιο προσεκτικά σχεδιασμένα γεωτρητικά προγράμματα. Τα προβλήματα αυτά εκτός ότι μπορεί να έχουν μεγάλο οικονομικό κόστος, μπορεί επίσης να καθυστερήσουν σημαντικά την γεωτρητική διαδικασία. Τα πιο συχνά και σημαντικά προβλήματα περιγράφονται παρακάτω.

Pipe sticking – περίπτωση

“κολλημένου

αγωγού/διατρητικής

στήλης”. Ένας αγωγός

θεωρείται κολλημένος –

φρακαρισμένος όταν δεν

μπορεί να μετακινηθεί

χωρίς ο ίδιος να υποστεί

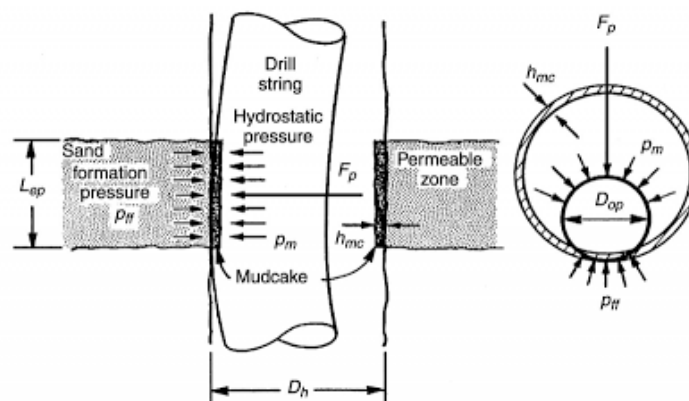
ζημιά ή χωρίς να ασκηθεί

βάρος στα

συρματόσχοινα

παραπάνω από το

προβλεπόμενο. Υπάρχουν δύο υποπεριπτώσεις.



Differential pressure pipe sticking

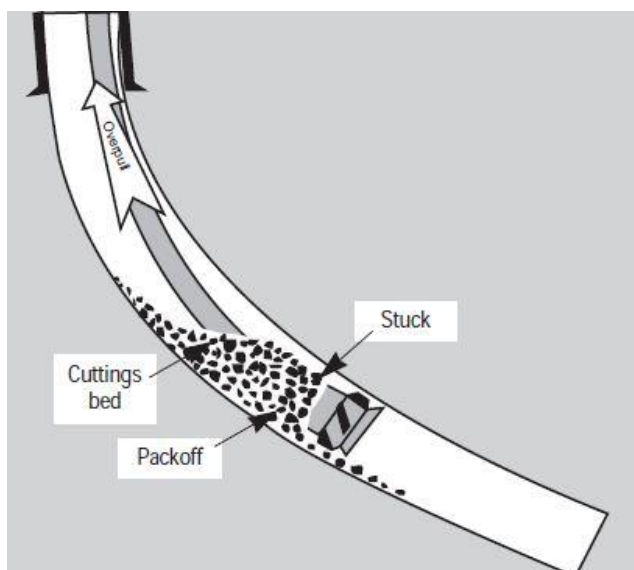
- Κολλημένος αγωγός από διαφορική πίεση (differential pressure pipe sticking). Μέρος της γεωτρητικής στήλης ενσωματώνεται στο τοίχωμα λάσπης που δημιουργείται στα τοιχώματα του φρέατος. Αυτό συμβαίνει όταν η πίεση της λάσπης που κυκλοφορεί εξωτερικά της διατρητικής στήλης είναι (αρκετά) μεγαλύτερη από την πίεση των γύρω περατών σχηματισμών. Για να ελευθερωθεί ο αγωγός απαιτείται δύναμη ίση ή μεγαλύτερη αυτής που κρατάει κολλημένο τον αγωγό. Οι παρακάτω παράγοντες αυξάνουν τη δύναμη με την οποία συγκρατείται ο αγωγός και άρα και την δύναμη που απαιτείται για την απελευθέρωσή του : α) παχύ τοίχωμα λάσπης με ταυτόχρονη αυξημένη διήθηση ρευστών προς τους γύρω σχηματισμούς, β) τοίχωμα λάσπης με χαμηλή ικανότητα λίπανσης, γ) μεγάλο μήκος του

αγωγού κολλημένο στο τοίχωμα λάσπης. Επίσης ρόλο παίζουν η διάμετρος του φρέατος και του αγωγού όπως και οι τυχόν γωνίες ή καμπές του φρέατος. Διάφοροι δείκτες που προειδοποιούν για το φαινόμενο αυτό είναι ή αύξηση της δύναμης ροπής της διατρητικής στήλης, η ανικανότητά της να διατρήσει βαθύτερα ή ακόμα και να περιστραφεί και η ελεύθερη (χωρίς διακοπές) κυκλοφορία του διατρητικού ρευστού.

Το κόλλημα της γεωτρητικής στήλης από διαφορική πίεση μπορεί ως ένα βαθμό να αποφευχθεί ή να μετριαστεί εάν :

- α) διατηρηθεί η διήθηση του διατρητικού πολφού στο χαμηλότερο προβλεπόμενο επίπεδο, β) στον διατρητικό πολφό

- μείνουν σε αιώρηση όσο το δυνατόν λιγότερα θρύμματα πετρωμάτων – αν είναι δυνατόν καθόλου, γ) η υδροστατική πίεση μείνει στο χαμηλότερο δυνατό επίπεδο, δ) ο πολφός που θα επιλεγεί δημιουργεί mud cake με αυξημένη ικανότητα λίπανσης, ε) η



mechanical pipe sticking λόγω συσσώρευσης θρυμμάτων.

διατρητική στήλη δεν διακόψει καθόλου την περιστροφή της.

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος απελευθέρωσης ενός κολλημένου αγωγού είναι η μείωση της υδροστατικής πίεσης του διατρητικού ρευστού με προσθήκη κάποιου αερίου (συνήθως αζώτου) στη σύνθεσή του. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται το βάρος του ρευστού και κατά συνέπεια και η πίεση του.

- Μηχανικό “κόλλημα” αγωγού (mechanical pipe sticking). Ο αγωγός μπορεί να κολλήσει λόγω συσσώρευσης θρυμμάτων, αστάθειας του φρέατος ή του φαινομένου key seating.

Ο ανεπαρκής καθαρισμός της γεώτρησης από θρύμματα μπορεί να οδηγήσει στη συσσώρευσή τους. Έτσι ιδιαίτερα στις οριζόντιες γεωτρήσεις μπορεί να δημιουργηθεί ένα οριζόντιο στρώμα θρυμμάτων στην βάση του φρέατος όταν σταματήσει η κυκλοφορία της λάσπης και τα θρύμματα δεν βρίσκονται πλέον σε αιώρηση. Η συσσώρευση αυτή μειώνει τη διάμετρο του φρέατος και καθώς η γεωτρητική στήλη προσπαθεί να εξέλθει συμπαρασύρει ποσότητες θρυμμάτων προς την έξοδο προκαλώντας περεταίρω συγκέντρωσή τους μέχρι τελικά ο αγωγός να κολλήσει. Η αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος περιλαμβάνει την παλινδρόμηση της γεωτρητικής

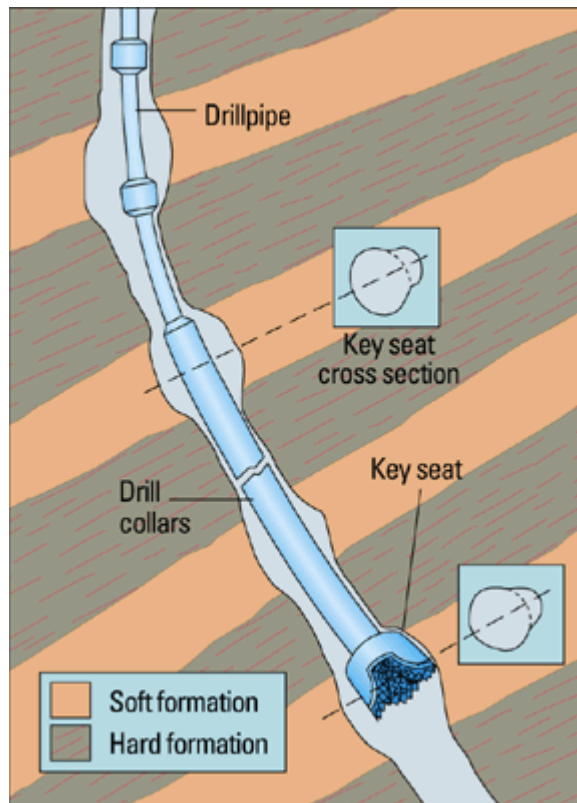
στήλης με σύγχρονη αύξηση του ρυθμού ροής του ρευστού διάτρησης στο μέγιστο δυνατό.

Στην περίπτωση που η γεώτρηση στρώμα πλαστικής αργίλου/σχιστόλιθου και ο πολφός που χρησιμοποιείται δεν ενδείκνυται για τέτοιου είδους διάτρηση (είναι δηλαδή μικρής πυκνότητας/βάρους), τότε είναι πιθανόν τα τοιχώματα του φρέατος να καταρρεύσουν και η άργιλος να ξεκινήσει να “ρέει” στο φρέαρ της γεώτρησης εμποδίζοντας την έξοδο της γεωτρητικής στήλης. Το ίδιο μπορεί να συμβεί και στην περίπτωση αλατούχων σχηματισμών με επίσης πλαστικές ιδιότητες. Η αντιμετώπιση στην

περίπτωση της ροής αργίλου

περιλαμβάνει την αλλαγή στην σύνθεση του πολφού με αύξηση του βάρους του, ενώ στην περίπτωση των αλατούχων σχηματισμών αρκεί η κυκλοφορία γλυκού νερού μέσα στο φρεάτιο.

Στην περίπτωση κατευθυνόμενης γεώτρησης και όταν ακολουθείται κεκλιμένη πορεία λόγω της πλευρικής δύναμης που ασκείται από την γεωτρητική στήλη στα τοιχώματα του φρέατος, μπορεί σε στρώματα μικρότερης σκληρότητας να δημιουργούνται κομμάτια φρέατος με μεγαλύτερη διάμετρο. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται *key seating*. Έτσι κατά την έξοδο της γεωτρητικής στήλης μπορεί κάποιος σύνδεσμος ή το κοπτικό άκρο να αγκυλωθεί στα σημεία αυτά. Η λύση στην περίπτωση αυτή περιλαμβάνει την αποσύνδεση του κομματιού που έχει αγκυλωθεί και κατόπιν την επανάκτησή του με την μέθοδο του “ψαρέματος”.



Μηχανικό κόλλημα αγωγού – φαινόμενο *key seating*

Περίπτωση απώλειας του κυκλώματος (πολφού) – loss of circulation. Ο διατρητικός πολφός ρέει μη ελεγχόμενα προς τους γύρω γεωλογικούς σχηματισμούς και η απώλεια πολφού μπορεί να είναι μερική ή ολική. Στην περίπτωση της ολικής απώλειας, όλη η λάσπη απορροφάται από τα γύρω περατά πετρώματα και συνεπώς

δεν υπάρχει επιστροφή στην επιφάνεια. Εάν η διάτρηση συνεχιστεί χωρίς τη λάσπη τότε λέμε ότι έχουμε “τυφλή διάτρηση” (blind drilling).

Το φαινόμενο της απώλειας λάσπης λαμβάνει χώρα σε σχηματισμούς με μεγάλο πρωτογενές ή δευτερογενές πορώδες και δεν μπορεί να αποτραπεί πλήρως αλλά μόνο να περιοριστεί. Τα μέτρα που λαμβάνονται για την πρόληψη του φαινομένου είναι η επιλογή πολφού με κατάλληλο βάρος/πυκνότητα, ο επαρκής καθαρισμός της γεώτρησης και η συνεχής καταγραφή του πορώδους των σχηματισμών που αποκαλύπτονται με τις κατάλληλες διαγραφίες.

Η αντιμετώπιση του φαινομένου περιλαμβάνει την σφράγιση των στρωμάτων που επιτρέπουν τις απώλειες προσθέτοντας στη λάσπη διάφορα υλικά που ονομάζονται lost circulation materials (LCMs) τα οποία είναι υπεύθυνα για την μείωση του πορώδους των πετρωμάτων.

Σε περίπτωση που οι γεωλογικές συνθήκες το επιτρέπουν, οι τυχόν απώλειες μπορούν να παραβλεφθούν και να συνεχιστεί η διάτρηση ως “τυφλή διάτρηση”.

Απόκλιση από την πορεία διάτρησης – hole deviation ονομάζεται η απόκλιση της γεωτρητικής στήλης από την προδιαγεγραμμένη πορεία της. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα που συνδέονται με το κόστος της γεώτρησης και το χρόνο αποπεράτωσης του έργου. Δεν μπορούμε να ξέρουμε τι ακριβώς προκαλεί το φαινόμενο της απόκλισης, θεωρείται όμως ότι εμπλέκονται πολλοί παράγοντες. Ένας παράγοντας είναι οι διάφορες τιμές δύναμης που ασκούνται στο κοπτικό άκρο και συνδέεται με τις ιδιότητες των αγωγών/συνδέσμων της γεωτρητικής στήλης, την αλληλεπίδραση κοπτικού άκρου – πετρωμάτων και τις συνθήκες διάτρησης. Όσον αφορά τους αγωγούς και συνδέσμους της γεωτρητικής στήλης, εάν ασκηθεί πάνω τους δύναμη μεγαλύτερη αυτής που προβλέπεται τότε αυτοί μπορεί να λυγίσουν και κατά συνέπεια να εκτρέψουν το κοπτικό άκρο από την πορεία του. Επίσης ο τύπος του κοπτικού άκρου (γωνία – μέγεθος - αριθμός δοντιών), σε συνδυασμό με τις ιδιότητες των πετρωμάτων (φολίδωση – σχιστότητα, μηχανικές ιδιότητες) που διατρώνται μπορούν να παίξουν ρόλο στην απόκλιση της πορείας.

Αστοχία του διατρητικού στελέχους - Drillpipe failure. Είναι σχετικά σύνηθες πρόβλημα στην διαδικασία της διάτρησης να παρατηρείται στο διατρητικό στέλεχος το φαινόμενο twistoff δηλαδή η απόσπαση ενός κομματιού του κάτω από συνθήκες μη προβλεπόμενων εφελκυστικών δυνάμεων ή/και λόγω διάβρωσης του υλικού της διατρητικής στήλης από διάφορες ουσίες με αποτέλεσμα την μείωση της αντοχής του. Όταν το φαινόμενο αυτό παρατηρηθεί πρέπει να σταματήσει άμεσα η διάτρηση και να τραβηχτεί στην επιφάνεια η διατρητική στήλη (χωρίς φυσικά το κομμάτι που έχει αποσπαστεί). Το μέρος αυτό της διατρητικής στήλης που παραμένει μέσα στο πηγάδι θα ανακτηθεί με την μέθοδο του ψαρέματος (fishing). Γενικά η όλη διαδικασία είναι πολύ χρονοβόρα και κατά συνέπεια και πολύ ακριβή.

Αστάθεια του φρέατος – borehole instability. Με τον όρο αυτό περιγράφεται η κατάσταση κατά την οποία, μετά την διάνοιξη του φρέατος οι γεωλογικοί σχηματισμοί αδυνατούν να διατηρήσουν την αρχική τους διάμετρο ή γενικά το αρχικό τους σχήμα. Οι αιτίες του φαινομένου μπορεί να σχετίζονται με μηχανικούς παράγοντες (τοπική πίεση), με την διάβρωση που προκαλεί το ρευστό διάτρησης, ή με χημικούς παράγοντες (αλληλεπίδραση του ρευστού διάτρησης με τους σχηματισμούς). Οι τύποι αστάθειας του φρέατος και τα προβλήματα που δημιουργούν είναι :

- Κλείσιμο του φρέατος (hole closure). Το φρέαρ μικραίνει σε διάμετρο. Συνήθως συμβαίνει σε στρώματα σχιστολιθικές/αργιλικές ή εβαποριτικές ακολουθίες με πλαστικό χαρακτήρα. Μπορεί να προκαλέσει το φαινόμενο του “κολλήματος” των αγωγών και δυσκολία στην σωλήνωση.
- Διεύρυνση του φρέατος (hole enlargement). Η διάμετρος του φρέατος διευρύνεται περισσότερο από το αναμενόμενο. Αυτό μπορεί να συμβαίνει λόγω της αυξημένης διάβρωσης από τη κυκλοφορία του διατρητικού πολφού ή από διάφορους άλλους παράγοντες. Τα προβλήματα που δημιουργούνται είναι η αυξημένη δυσκολία στη τσιμέντωση, η αυξημένη πιθανότητα απόκλισης της διατρητικής στήλης από την πορεία της, η δυσκολία καθαρισμού του φρέατος στο σημείο αυτό και η δυσκολία στην παρακολούθηση του φρέατος με τις διαγραφίες.
- Ρηγμάτωση των πετρωμάτων (fracturing). Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει όταν η υδροστατική πίεση (πίεση του διατρητικού ρευστού) είναι μεγαλύτερη από την πίεση που μπορούν να “αντέξουν” τα γύρω πετρώματα. Έτσι το (δευτερογενές) πορώδες των πετρωμάτων αυξάνεται και μπορεί να παρουσιαστεί το πρόβλημα της απώλειας λάσπης. Επίσης αυξάνονται οι πιθανότητες ανεξέλεγκτης ροής ρευστών στο φρέαρ της γεώτρησης από τυχόν κορεσμένους πορώδεις σχηματισμούς.
- Κατάρρευση τοιχωμάτων (collapse). Σε αυτή τη περίπτωση η πολύ χαμηλή υδροστατική πίεση δεν μπορεί να αντισταθμίσει την πίεση των πετρωμάτων και έτσι τα τοιχώματα του φρέατος καταρρέουν. Η κατάρρευση των τοιχωμάτων οδηγεί στο “κόλλημα” της γεωτρητικής στήλης και πιθανόν στην εγκατάλειψη της γεώτρησης. Η πλήρης αποτροπή της τυχόν αστάθειας του φρέατος είναι σχεδόν αδύνατη διότι δεν μπορούμε να έχουμε πλήρη γνώση των μηχανικών και χημικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων. Έτσι, για να μειώσουμε τις πιθανότητες να συμβεί κάτι τέτοιο πρέπει να επιλεγεί προσεκτικά το ρευστό διάτρησης, δίνοντας βάση τόσο στη σύσταση όσο και στο βάρος του. Επίσης, στο σχεδιασμό της πορείας που θα ακολουθήσει η γεώτρηση μπορούν να αποφευχθούν περιοχές στις οποίες θεωρείται ότι θα υπάρξουν τέτοιου τύπου δυσκολίες.

Μόλυνση της λάσπης (mud contamination). Ένας διατρητικός πολφός θεωρείται μολυσμένος όταν αναμιγνύεται με διάφορα υλικά και προκαλούνται ανεπιθύμητες αλλαγές στις ιδιότητές του (πυκνότητα, ιξώδες, ικανότητα διήθησης). Γενικά, τα ρευστά με βάση το νερό εμφανίζουν μεγαλύτερες πιθανότητες μόλυνσης. Συνηθέστεροι παράγοντες μόλυνσης είναι : διάφορα στερεά, γύψος/ανυδρίτης, τσιμέντο/ασβέστης, ανθρακικά/όξινα ανθρακικά άλατα, σουλφίδια και αλάτι/θαλασσινό νερό.

- Μόλυνση από στερεά : στερεά υλικά θεωρούνται τα στερεά συστατικά που προστίθενται κατά το σχηματισμό της λάσπης (μπεντονίτης, βαρύτης) και τα προϊόντα της διάτρησης (θρύμματα αδρανή ή δραστικά). Η υπερβολική ποσότητα οποιουδήποτε τύπου στερεού είναι πολύ σημαντικός παράγοντας αλλοίωσης των ιδιοτήτων της λάσπης. Τα στερεά υλικά αποχωρίζονται από το μίγμα με διάφορα κόσκινα ανάλογα με την κοκκομετρία τους. Για πολύ λεπτόκοκκα υλικά μπορεί να χρησιμοποιηθούν αντί για κόσκινα, μηχανήματα φυγοκέντρωσης.
- Μόλυνση από Ca^{2+} . Το Ca^{2+} μπορεί να προέρχεται από γύψους, ανυδρίτες, υλικά τσιμέντωσης ή άσβεστο. Το ανιόν του ασβεστίου (Na^{2+}) αντικαθιστά το ανιόν του νατρίου (Na^{2+}) και αλλάζει την χημική σύσταση της λάσπης και κατά συνέπεια και τις χημικές της ιδιότητες (τάση ροής και διήθησης). Επίσης αναιρείται η δράση διάφορων αραιωτικών μέσων που υπάρχουν στο πολφό. Η αντιμετώπιση της μόλυνσης περιλαμβάνει προσθήκη ανθρακικού νατρίου (NaCO_3) στη περίπτωση που η πηγή μόλυνσης είναι ο γύψος ή ανυδρίτης και όξινο ανθρακικό νάτριο ($\text{HNa}(\text{CO}_3)_2$) στη περίπτωση που πηγή μόλυνσης είναι ο ασβέστης και τα υλικά τσιμέντωσης.
- Μόλυνση από CO_3^{2-} και HCO_3^- . Προκαλείται από σχηματισμούς με υψηλά ποσοστά CO_2 , από τροποποίηση οργανικών στοιχείων της λάσπης ή από υπερβολική προσθήκη NaCO_3 και $\text{Na}(\text{CO}_3)_2$ στη λάσπη. Η μόλυνση προκαλεί αυξημένη αντίσταση στην κίνηση της λάσπης και μείωση του pH. Αντιμετωπίζεται με προσθήκη γύψου ή ασβέστη.
- Μόλυνση από υδρόθειο (H_2S). Προέρχεται από σχηματισμούς που φέρουν διαλυμένες ποσότητες H_2S . Το H_2S είναι εξαιρετικά επικίνδυνο για τον άνθρωπο και εξαιρετικά διαβρωτικό για τις χαλύβδινες κατασκευές του γεωτρήπανου. Η μόλυνση αντιμετωπίζεται με προσθήκη ψευδαργύρου (Zn), χαλκού (Cu), και σιδήρου (Fe) στον διατρητικό πολφό.
- Μόλυνση από αλάτι. Ιόντα Na^{2+} και Cl^- προστίθενται στη λάσπη από την διάτρηση σε αλατούχους σχηματισμούς ή σχηματισμούς που έχουν αποθηκευμένο αλατούχο νερό. Προκαλείται μεγάλη απώλεια ρευστών από τη λάσπη και μείωση του pH. Η μόλυνση αντιμετωπίζεται αραιώνοντας την λάσπη με γλυκό νερό.

Βλάβη παραγωγικών σχηματισμών - producing formation damage

Στη περίπτωση αυτή παρατηρείται μείωση της περατότητας των παραγωγικών σχηματισμών εξαιτίας της δράσης των ρευστών που χρησιμοποιούνται κατά την διάρκεια της διάτρησης κυρίως, αλλά και κατά τη διάρκεια σωλήνωσης - τσιμέντωσης και παραγωγής υδρογονανθράκων. Υπάρχουν διάφοροι μηχανισμοί που προκαλούν μείωση της παραγωγικότητας των στρωμάτων αυτών και γενικά είναι :

- Έμφραξη (πόρων) από στερεά υλικά (solids plugging). Λεπτόκοκκα υλικά από το ρευστό διάτρησης ή από την ανακατανομή των κόκκων του πετρώματος-ταμιευτήρα φράζουν τα διάκενα των πόρων με αποτέλεσμα την μείωση της περατότητας. Για την αποφυγή του φαινομένου αυτού, ελαχιστοποιούνται τα ποσοστά των λεπτόκοκκων υλικών στο διατρητικό ρευστό.
- Αλλαγή στο βαθμό κορεσμού (saturation change). Όταν μια ποσότητα ρευστών από τις απώλειες του διατρητικού πολφού διηθείται στο πέτρωμα-ταμιευτήρα τότε αυξάνεται ο κορεσμός του πετρώματος σε νερό. Σαν άμεση συνέπεια λοιπόν, μειώνεται η περατότητα του σχηματισμού.
- Διόγκωση της αργίλου (clay particle swelling). Άργιλος που έχει την ιδιότητα να διογκώνεται στην επαφή του με το νερό, βρίσκεται στην σύσταση του ψαμμίτη σε κάποιο ποσοστό. Όταν λοιπόν ο ψαμμίτης έρχεται σε επαφή με το νερό, τότε η άργιλος διογκώνεται φράζοντας μερικώς ή πλήρως τους πόρους του πετρώματος.

Καθαρισμός του φρέατος – hole cleaning

Η εμπειρία σε συνδυασμό με εργαστηριακές μελέτες έχουν δείξει ότι σε περιπτώσεις διάτρησης με γωνία κλίσης μεγαλύτερη των 30° από την κατακόρυφο εμφανίζονται προβλήματα καθαρισμού του φρέατος από θρύμματα. Ο ανεπαρκής καθαρισμός του φρέατος μπορεί να οδηγήσει σε διάφορα προβλήματα που έχουν να κάνουν με το κόστος της γεώτρησης, πολλά από τα οποία έχουν αναφερθεί παραπάνω. Ενδεικτικά αναφέρονται : μηχανικό κόλλημα γεωτρητικής στήλης, πρόωρη φθορά του κοπτικού άκρου, αργός ρυθμός διάτρησης, ρηγμάτωση των σχηματισμών, δυσκολία στην παρακολούθηση του πηγαδιού (logging), δυσκολία στην τσιμέντωση και στην μεταφορά των υλικών σωλήνωσης.

Παράγοντες που σχετίζονται με τον καθαρισμό του φρέατος

- Ταχύτητα του διατρητικού ρευστού. Ο ρυθμός της ροής του διατρητικού ρευστού είναι ο σημαντικότερος παράγοντας στον καθαρισμό του φρέατος σε κατευθυνόμενες γεωτρήσεις. Αύξηση του ρυθμού ροής στο μέγιστο δυνατό οδηγεί σε καλύτερο καθαρισμό των θρυμμάτων, όμως δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τη μέγιστη επιτρεπτή ισοδύναμη πυκνότητα του κυκλοφορούν πολφού (ECD).

- Γωνία κλίσης του φρέατος. Εργαστηριακές μελέτες έχουν δείξει ότι απαιτείται όλο και μεγαλύτερος ρυθμός ροής καθώς η γωνία κλίσης του φρέατος αυξάνεται από 0° σε 67° , με κορυφή τις τιμές 65° - 67° . Από τις 67° μέχρι την ταύτιση του φρέατος με το οριζόντιο επίπεδο παρατηρείται μια σχετική μείωση στις απαιτήσεις του ρυθμού ροής.
- Περιστροφή της διατρητικής στήλης. Παίζει σημαντικό ρόλο στον καθαρισμό του φρέατος. Κατά την περιστροφή γύρω από τον εαυτό της, η γεωτρητική στήλη εκτελεί ταυτόχρονα και μια κίνηση στροβιλισμού (γύρω από έναν νοητό άξονά της) με αποτέλεσμα να ανακαινεί τα θρύμματα που τείνουν να συσσωρευτούν, αναγκάζοντάς τα να λάβουν μέρος στην κίνηση του διατρητικού ρευστού και να μεταφερθούν στην επιφάνεια.
- Εκκεντρικότητα αγωγού-φρέατος. Στα κεκλιμένα μέρη του φρέατος, η διατρητική στήλη έχει την τάση να προσεγγίζει τα κατώτερα σημεία του φρέατος λόγω της δράσης της βαρύτητας. Έτσι σε αυτά τα σημεία σχηματίζεται ένα πολύ μικρό κενό ανάμεσα στο φρέαρ και στην διατρητική στήλη όπου η ταχύτητα του διατρητικού ρευστού είναι πολύ μικρή και κατά συνέπεια και η ικανότητά του να μεταφέρει τα θρύμματα.
- Ρυθμός διάτρησης. Η αύξηση του ρυθμού διάτρησης αυξάνει την παραγωγή θρυμμάτων. Εάν παράλληλα δεν αυξηθεί ο ρυθμός περιστροφής της διατρητικής στήλης και ο ρυθμός ροής του διατρητικού ρευστού, τότε τα θρύμματα θα ξεκινήσουν να συσσωρεύονται.
- Ιδιότητες της λάσπης. Το ιξώδες και η πυκνότητα της λάσπης είναι οι ιδιότητες που σχετίζονται με τον καθαρισμό του φρέατος. Αν η πυκνότητα του διατρητικού ρευστού αυξηθεί χωρίς λόγω, τότε αυξάνεται ο ρυθμός διάτρησης και κατά συνέπεια και η ποσότητα των παραγόμενων θρυμμάτων. Η αύξηση του ιξώδους του διατρητικού ρευστού μπορεί να θεωρηθεί ότι βοηθάει στον καθαρισμό του φρέατος μόνο στις περιπτώσεις των κατακόρυφων γεωτρήσεων.
- Χαρακτηριστικά των θρυμμάτων. Τα χαρακτηριστικά των θρυμμάτων όπως σχήμα, μέγεθος και ειδικό βάρος επηρεάζουν την δυναμική τους συμπεριφορά. Το σχήμα και μέγεθος των θρυμμάτων εξαρτάται από τον τύπο του κοπτικού άκρου και το χρονικό διάστημα που βρίσκονται σε επαφή με αυτό. Μικρότερου μεγέθους θρύμματα είναι δυσκολότερο να μεταφερθούν, ειδικά σε κατευθυνόμενες γεωτρήσεις. Επίσης όσο μεγαλύτερο ειδικό βάρος έχουν τα θρύμματα τόσο δυσκολότερο είναι να μετακινηθούν. Το ειδικό βάρος θεωρείται ελάχιστα μεταβλητός ή μη μεταβλητός παράγοντας διότι στα περισσότερα πετρώματα είναι περίπου 2,6.

Ζώνες που φέρουν H₂S ή shallow gas

Η διάτρηση σε στρώματα που περιέχουν υδρόθειο είναι πολύ επικίνδυνη για την ακεραιότητα τόσο του εξοπλισμού όσο και του ανθρώπινου δυναμικού του γεωτρητικού συγκροτήματος. Εφόσον υπάρχουν ενδείξεις ή αποδείξεις για την ύπαρξη τέτοιου στρώματος τότε η διαδικασία της διάτρησης πρέπει να τροποποιηθεί ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις της διεθνούς ένωσης κατασκευαστών γεωτρήσεων (international association of drilling contractors) που προβλέπονται στην περίπτωση αυτή. Η πρόβλεψη ύπαρξης στρωμάτων σε μικρό βάθος τα οποία περιέχουν αέριους υδρογονάνθρακες υπό πίεση είναι λιγότερο εύκολη. Στα στρώματα αυτά είναι μικρή η πιθανότητα να ρηγματωθεί ένας γεωλογικός σχηματισμός, όμως η πιθανότητα αυτή αυξάνεται εάν η ποσότητα του υπό πίεση αερίου που θα συναντήσει η γεώτρηση δεν διαχειριστεί κατάλληλα. Έτσι λοιπόν χρησιμοποιείται ένα "σύστημα εκτροπής" του αερίου το οποίο δίνει περισσότερο χώρο στο αέριο βοηθώντας το να εκτονώσει την πίεσή του.

Προβλήματα που σχετίζονται με τον εξοπλισμό και το ανθρώπινο δυναμικό (equipment and personnel related problems)

Η σωστή λειτουργία και συντήρηση του γεωτρητικού εξοπλισμού μειώνει σημαντικά τη πιθανότητα να εμφανιστούν πολλά από τα παραπάνω προβλήματα. Έτσι είναι απαραίτητη η σωστή συντήρηση των μηχανημάτων και η υπακοή στους κανόνες λειτουργίας και τις προδιαγραφές τους. Επίσης καθοριστική είναι η συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα στη διαδικασία όρυξης μιας γεώτρησης. Τα ανθρώπινα λάθη και παραλείψεις μπορούν να αποβούν πολύ κοστοβόρα και για να αποφευχθεί κάτι τέτοιο, εκτός από την συνεχή εκπαίδευση του προσωπικού απαιτείται και η διαμόρφωση κατάλληλων συνθηκών εργασίας.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

PETROLEUM ENGINEERING HANDBOOK Larry W. Lake, Editor-in-Chief, Volume II
DRILLING ENGINEERING Robert F. Mitchell, Editor

<http://directionaldrilling.blogspot.gr/2011/07/dog-leg-severity-dls.html>

<http://petroleumsupport.com/mechanical-sticking-mechanism-of-stuck-pipe/>

Drilling Engineering (Institute of Petroleum Engineering, Heriot-Watt University)

TACHYTHTA DIATPHSHS

Rate of penetration (ROP) ή ρυθμός της διάτρησης είναι η ταχύτητα με την οποία το κοπτικό άκρο μπορεί να διατρήσει στους υποκείμενους γεωλογικούς σχηματισμούς βαθαίνοντας έτσι το ανοιγόμενο φρέαρ. Η ταχύτητα αυτή μετριέται σε meters/hour ή feet/hour ενώ σπανιότερα σε hours/meter ή hours/feet. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό διάτρησης είναι πολλοί και οι περισσότεροι δεν είναι πλήρως κατανοητοί καθώς επίσης εικάζεται και ότι υπάρχουν παράγοντες που δεν έχουν μελετηθεί ακόμα. Η μελέτη και μέτρηση του ρυθμού διάτρησης είναι από τη φύση της προβληματική καθώς είναι εξαιρετικά δύσκολο να εξεταστούν ο κάθε παράγοντας που επηρεάζει τη ταχύτητα ξεχωριστά. Η αύξηση του ROP είναι σχεδόν πάντα επιθυμητή όμως αυτό δε σημαίνει ότι επιτυγχάνεται πάντα χαμηλότερο κόστος διάτρησης και μικρότερο χρονικό διάστημα αποπεράτωσης του έργου. Για παράδειγμα η υπερβολική αύξηση του ROP μπορεί να οδηγήσει στην πρόωρη φθορά του κοπτικού άκρου το οποίο είναι από τα πιο ακριβά εξαρτήματα του γεωτρητικού εξοπλισμού. Κάποιοι από τους παράγοντες που επηρεάζουν τον ROP αναλύονται παρακάτω:

Αποδοτικότητα του ανθρώπινου δυναμικού. Ο ανθρώπινος παράγοντας είναι ο σημαντικότερος για την καλή λειτουργία σχεδόν όλων των βιομηχανικών μονάδων καθώς χωρίς αυτόν δεν μπορεί να υπάρξει παραγωγή. Ένας εργαζόμενος για να αποδώσει τα μέγιστα εκτός το ότι θα πρέπει να είναι άρτια εκπαιδευμένος και όσο το δυνατόν πιο έμπειρος, πρέπει επίσης να έχει καλές σχέσεις με την εργοδοσία, καλή αμοιβή, ενδιαφέρον για την δουλειά του και κίνητρο για να την συνεχίσει.

Αποδοτικότητα της εξέδρας. Η εξέδρα θα πρέπει να πληρεί τις κατάλληλες προϋποθέσεις όσον αφορά το μέγεθός της, τη σωστή συντήρησή της και τον βαθμό αυτοματισμού για να μπορούν οι εργασίες να γίνονται με άνεση και όσο το δυνατόν γρηγορότερα

Χαρακτηριστικά των σχηματισμών. Όσον αφορά την αντοχή των πετρωμάτων στην θλίψη, όσο πιο μεγάλη τιμή παίρνει τόσο μειώνεται ο ROP. Επίσης η αύξηση της σκληρότητας και η μείωση του βαθμού διάβρωσης είναι δύο παράγοντες που μειώνουν την τιμή του ROP.

Το πορώδες είναι επίσης ένας παράγοντας που επηρεάζει τον ROP καθώς πετρώματα με υψηλό πορώδες είναι πιο ευκολοδιάτρητα από τα αντίστοιχα με χαμηλό πορώδες. Η ιδιότητα αυτή ίσως να οφείλεται και στο γεγονός ότι τα πορώδη πετρώματα έχουν χαμηλή αντοχή στη θλίψη. Παλαιότερα οι χειριστές

του γεωτρύπανου όταν παρατηρούσαν αύξηση στον ρυθμό διάτρησης, θεωρούσαν ότι αυτό συνέβαινε λόγω ύπαρξης στρώματος με χαμηλότερο πορώδες.

Το κολλώδες των σχηματισμών εξαρτάται κυρίως από την ορυκτολογική τους σύνθεση. Η ύπαρξη κυρίως του ορυκτού μοντμοριλλονίτη οδηγεί στο φαινόμενο της “διόγκωσης της αργίλου” κατά το οποίο όταν η άργιλος μια κολλώδες, σαν (σαν πηχτή λάσπη) μάζα η οποία ενσωματώνεται στην επιφάνεια του κοπτικού άκρου. Έτσι ο βαθμός διείδυσης των “δοντιών” του κοπτικού άκρου στο πέτρωμα μειώνεται με συνέπεια να μειωθεί και ο ρυθμός διάτρησης.

Μηχανικοί παράγοντες. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό διάτρησης είναι το βάρος που εφαρμόζεται στο κοπτικό άκρο (weight on bit – WOB) και η ταχύτητα περιστροφής του κοπτικού άκρου. Είναι προφανές ότι η αύξηση της τιμής αυτών των δύο παραγόντων οδηγούν στην αύξηση του ρυθμού διάτρησης. Βέβαια δεν αρκούν τα παραπάνω από μόνα τους για την αύξηση του ROP αν δεν συνδυαστούν με την τροποποίηση διάφορων άλλων παραμέτρων όπως η προσαρμογή της σύστασης του πολφού για διάτρηση με γρηγορότερους ρυθμούς και η γρηγορότερη κυκλοφορία του για τον επαρκή καθαρισμό του φρέατος από τα παραγόμενα θρύμματα (τα οποία θα είναι περισσότερα ανά μονάδα χρόνου). Επίσης παίζει ρόλο στην διαμόρφωση του ROP η επιλογή του κατάλληλου κοπτικού άκρου. Εάν το κοπτικό άκρο δεν είναι κατάλληλο για διάτρηση στους συγκεκριμένους σχηματισμούς για τους οποίους έχει επιλεχθεί, τότε δεν μπορεί να επιτευχθεί ο μέγιστος ρυθμός διάτρησης.

Οι ιδιότητες του ρευστού διάτρησης στην διαμόρφωση του ROP. Η περιεκτικότητα του ρευστού σε στερεά στοιχεία είναι δύσκολο να ληφθεί υπόψιν σαν ξεχωριστός παράγοντας καθώς επηρεάζει και άλλες ιδιότητες της λάσπης (π.χ. πυκνότητα). Πολλά παραδείγματα όμως μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η περιεκτικότητα σε στερεά στοιχεία μπορεί να παίζει ρόλο σαν ξεχωριστός παράγοντας στην διαμόρφωση του ROP όπως το παράδειγμα του δυτικού Τέξας όπου πολύ μικρές ποσότητες αργίλου ήταν ικανές να μειώσουν απροσδόκητα πολύ το ρυθμό διάτρησης.

Όσον αφορά το ρυθμό ροής – ταχύτητα του διατρητικού ρευστού είναι και αυτός ένας παράγοντας διαμόρφωσης του ROP. Εάν για κάποιο λόγο η ταχύτητα του διατρητικού ρευστού μειωθεί τότε σημαίνει ότι το μέτωπο της διάτρησης δεν καθαρίζεται επαρκώς από θρύμματα και σαν άμεση συνέπεια μειώνεται ο ρυθμός διάτρησης.

Οι περατοί σχηματισμοί, επειδή ευνοούν την απώλεια διατρητικού ρευστού με την διήθησή του προς αυτούς, απαιτούν την διαμόρφωση ενός ειδικού διατρητικού ρευστού το οποίο να έχει την ιδιότητα να δημιουργεί μια ζώνη

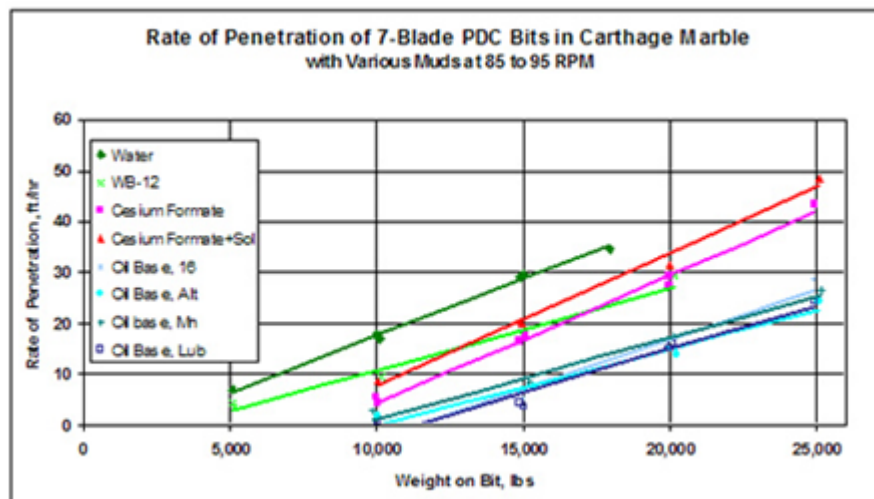
χαμηλής περατότητας στα τοιχώματα των περατών σχηματισμών (filter cake) που να “μπλοκάρει” την διήθηση της λάσπης. Αυτή η ιδιότητα μπορεί να μειώσει τον ROP διότι τα δόντια του κοπτικού έρχονται σε επαφή πρώτα με το filter cake και ύστερα με το πέτρωμα και απαιτείται περισσότερος χρόνος καθαρισμού καθώς τα θρύμματα “παγιδεύονται” στο filter cake.

Η προσθήκη πετρελαίου σε διατρητικά ρευστά με βάση το νερό έχει αυξήσει σχεδόν πάντα τον ROP (ιδιαίτερα στα μαλακά πετρώματα). Αυτό κυρίως οφείλεται στο γεγονός ότι αυξάνεται ο χρόνος ζωής του κοπτικού άκρου λόγω της καλύτερης λίπανσής του. Έτσι, πολύ λιγότερος χρόνος χάνεται στα ταξίδια (trips) της διατρητικής στήλης μέχρι την επιφάνεια για την αντικατάσταση του κοπτικού άκρου. Επίσης παρατηρείται αντίσταση στο φαινόμενο “bit balling” το οποίο προκαλείται από την διόγκωση της αργίλου (στους μαλακούς σχηματισμούς) και το οποίο σπαταλάει πολύτιμο χρόνο για την αντιμετώπισή του.

Έχει αποδειχτεί, ότι συγκεκριμένοι ηλεκτρολύτες και επιφανειοδραστικές ουσίες παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην αύξηση του ROP. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αυτές οι ουσίες βοηθούν στην καλύτερη διάβρωση των πετρωμάτων και συνεπώς στη μείωση της σκληρότητας και την αντίσταση στη θραύση τους.

Υδραυλικοί παράγοντες.

Ένας
σημαντι
κός
παράγο
ντας
στην
διαμόρ
φωση
του
ROP,
όπως
έχει
ειπωθε
ί, είναι



Ρυθμός διάτρησης (ROP) με διάφορους τύπους λάσπης (διάφορα χρώματα) σε συνάρτηση με το βάρος στο κοπτικό άκρο (WOB) για το μάρμαρο της Καρχηδόνας

το πόσο γρήγορα και επαρκώς απομακρύνονται τα θρύμματα των πετρωμάτων από το μέτωπο της διάτρησης. Η άμεση απομάκρυνση των θρυμμάτων μπορεί να είναι αδύνατη, όμως εάν εφαρμοστεί στο μέτωπο της διάτρησης κατάλληλη υδραυλική ενέργεια τότε μπορεί να ελαχιστοποιηθεί η επαφή του κοπτικού άκρου με τα ήδη παραχθέντα θρύμματα και να αυξηθεί ο ρυθμός της διάτρησης. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει πάνω στην επιρροή

υδραυλικών παραγόντων στον ROP παλαιότερων κοπτικών άκρων τύπου drag type, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι:

- Ο ROP είναι ανάλογος της ταχύτητας εκροής του ρευστού από τα ακροφύσια, σε συνθήκες σταθερής ταχύτητας κυκλώματος του πολφού
- Ο ROP είναι ανάλογος της ταχύτητας κύκλωσης του πολφού, σε συνθήκες σταθερής ταχύτητας εκροής του ρευστού από τα ακροφύσια.

Τα παραπάνω συμπεράσματα ισχύουν και σε διατρήσεις με σύγχρονα κοπτικά άκρα (τύπου diamond ή roller cone).

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Carl Gatlin (1960), Petroleum Engineering: Drilling and Well Completions

<http://www.netl.doe.gov/research/oil-and-gas/project-summaries/completed-ep-tech/de-fc26-02nt41657->

http://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/r/rate_of_penetration.aspx

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΑΚΡΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΛΟΙΠΟΥ ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Είναι προφανές πως όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια ζωής του οποιουδήποτε εξοπλισμού χρησιμοποιείται στη γεώτρηση (κοπτικό άκρο, διατρητικά στελέχη, κ.λπ.) τόσο αποφεύγεται ή τουλάχιστον καθυστερεί και η ανάγκη αντικατάστασης του. Αυτό το γεγονός επιφέρει σημαντική εξοικονόμηση χρόνου καθόσον αποφεύγεται το λεγόμενο trip (ταξίδι) της διατρητικής στήλης δηλαδή η ανάγκη ανέλκυσης και κατέλκυσης της διατρητικής στήλης ώστε να αντικαθίστανται τα φθαρμένα εξαρτήματα.

Η φύση πολλών γεωλογικών σχηματισμών επιταχύνει την φθορά των εργαλείων της γεώτρησης λόγω της τριβής.

Οι τρεις παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο τη διάρκεια ζωής των κοπτικών άκρων και του υπόλοιπου εξοπλισμού είναι η λιθολογία, οι παράμετροι διάτρησης και ο σχεδιασμός του BHA – Bottom Hole Assembly. Ο μηχανικός των γεωτρήσεων έχει πολύ μικρό ή καθόλου έλεγχο πάνω στο θέμα της λιθολογίας, αλλά αναφορικά με τις άλλες δύο παραμέτρους μπορεί, μερικές φορές, να επιφέρει σημαντικές βελτιώσεις. Ως BHA – Bottom Hole Assembly εννοούμε το κάτω μέρος της διατρητικής στήλης που αποτελείται (σε μια κάθετη γεώτρηση και από κάτω προς τα πάνω) από το κοπτικό άκρο, τη συνδεσμολογία του κοπτικού άκρου που το συνδέει με τη

διατρητική στήλη (bit sub), τους σταθεροποιητές (stabilizers), τα αντίβαρα (drill collars), τα βαριά διατρητικά στελέχη (heavy-weight drillpipe), τα “jars” και τα crossovers. Το BHA πρέπει να ασκεί το κατάλληλο βάρος στο κοπτικό άκρο ώστε να επιτυγχάνεται η θραύση των πετρωμάτων. Τυχόν παραπάνω ασκούμενο βάρος από το προβλεπόμενο οδηγεί στην πρόωρη φθορά του κοπτικού άκρου, ειδικά αν πρόκειται για διάτρηση σε σκληρούς και συνεκτικούς σχηματισμούς. Η διάρκεια ζωής του κοπτικού άκρου μειώνεται ακόμα περισσότερο αν το διατρητικό ρευστό και η ταχύτητα περιστροφής δεν προσαρμοστούν ανάλογα με το επιπλέον αυτό βάρος. Γενικά, όσον αφορά το κοπτικό άκρο και λαμβάνοντας υπόψιν ότι ο μεγαλύτερος “εχθρός” της “υγείας” του είναι η υπερθέρμανση θα πρέπει να συνδυαστούν σωστά οι παράγοντες α) ταχύτητα περιστροφής, β) βάρος επί του κοπτικού WOB και γ) ιδιότητες διατρητικής λάσπης (ταχύτητα κύκλωσης, ικανότητα λίπανσης) ούτως ώστε να αποφευχθούν υψηλές τιμές θερμοκρασίας και να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή διάρκεια ζωής του κοπτικού.

Τα πετρώματα που είναι μη πορώδη, έχουν μεγάλο βαθμό συνεκτικότητας και μεγάλη σκληρότητα (σκληροί σχιστόλιθοι/άργιλοι, εβαπορίτες κτλ) είναι από την φύση τους δυσκολοδιάτρητα. Τα πετρώματα αυτά απαιτούν ειδικούς τύπους κοπτικών άκρων τα οποία αν και έχουν σχεδιαστεί για αυτές τις συνθήκες δεν μπορούν να έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής όπως για παράδειγμα ένα κοπτικό άκρο που προορίζεται για την διάτρηση ενός στρώματος χονδρόκοκκης και χαλαρής άμμου.

Επίσης σημαντικό ρόλο στην φθορά του κοπτικού άκρου παίζει πολλές φορές ο διατρητικός πολφός ο οποίος μπορεί στην σύνθεσή του να περιέχει συστατικά διαβρωτικά για το κοπτικό άκρο. Μπορεί αρχικά η σύνθεση του πολφού να έχει διαμορφωθεί κατάλληλα ώστε να μην επηρεάζει την ακεραιότητα του κοπτικού, όμως αν οι συνθήκες διάτρησης το απαιτήσουν, τότε στον πολφό μπορεί να προστεθούν διάφορες ουσίες ή πρόσθετα τα οποία να αντιδρούν χημικά με το υλικό του κοπτικού άκρου (όπως καυστική σόδα) οδηγώντας στην πρόωρη φθορά του.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

https://en.wikipedia.org/wiki/Bottom_hole_assembly

Drilling Engineering Workbook, A Distributed Learning Course, Baker Hughes INTEQ

Carl Gatlin (1960), Petroleum Engineering: Drilling and Well Completions

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΕΩΤΡΥΠΑΝΟΥ

Η επιλογή του καταλληλότερου γεωτρύπανου για την όρυξη μιας γεώτρησης στηρίζεται σε πολλά κριτήρια. Μεταξύ αυτών συμπεριλαμβάνονται το βάθος, η διάμετρος καθώς και το πρόγραμμα σωλήνωσης της γεώτρησης. Ο προγραμματισμός και ο σχεδιασμός της γεώτρησης που έχουν προηγηθεί, έχουν καταρχήν καθορίσει τη διάμετρο της γεώτρησης η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί ως το βασικό κριτήριο για την επιλογή του γεωτρύπανου.

Διάφορες παράμετροι καθορίζουν την ελάχιστη διάμετρο της γεώτρησης:

- Η δυνατότητα καθόδου μέσα στην οπή των φωρατών (logging tools) για την εκτέλεση προγράμματος γεωφυσικών καταγραφών (logging). Οι φωρατές αυτοί, οι οποίοι μετρούν πλήθος γεωλογικών παραμέτρων εντός της οπής, απαιτούν μια ελάχιστη διάμετρο ώστε να μπορούν να κατέλθουν και να εκτελέσουν τις μετρήσεις. Σε κάποιες όμως ειδικές περιπτώσεις όπως για την formation micro-scanner ή το borehole televiewer ίσως απαιτηθεί μεγαλύτερη διάμετρος οπής.
- Το μέγεθος του πυρήνα (core ή “καρότου”) σε περίπτωση που η γεώτρηση είναι πυρηνοληπτική. Σημειώνεται πως ένας πυρήνας αποτελεί δείγμα του πετρώματος σε σχήμα κυλίνδρου και λαμβάνεται κατά την όρυξη μιας γεώτρησης πετρελαίου ή φυσικού αερίου, μιας γεώτρησης για αναζήτηση μεταλλευμάτων, καθώς και σε πολλές άλλες περιπτώσεις. Η εξέταση και η λεπτομερής περιγραφή και ανάλυση των πυρήνων (“καρότων”) επιτρέπει τη βέλτιστη κατανόηση των γεωλογικών συνθηκών εντός της γεώτρησης, μελετώντας δείγματα κυρίως από τους ταμειευτήρες, παρέχοντας μια ακριβή εικόνα του πορώδους, της διαπερατότητας αλλά και πολλών άλλων ιδιοτήτων τους, απαραίτητων για τον προσδιορισμό των ανακτήσιμων αποθεμάτων. Η πυρηνοληψία γενικά κοστίζει πολύ ακριβά και οι πυρήνες (“καρότα”) θα πρέπει να λαμβάνονται μόνο όταν πρόκειται να δώσουν πραγματικά σημαντικές πληροφορίες.
- Η δυνατότητα εκτέλεσης δοκιμών ροής των ρευστών (flow tests). Για τη διευκόλυνση αυτών των δοκιμών γενικά απαιτείται μεγάλη διάμετρος οπής, πάντοτε σε συνδυασμό με το βάθος, τη θερμοκρασία και την πίεση.
- Η θέση των packers. Τα packers είναι σωλήνες οι οποίες χρησιμοποιούνται για να απομονώνουν κάποια διαστήματα βάθους εντός της

γεώτρησης προκειμένου να εκτελεστούν απρόσκοπτα δοκιμές εισπίεσης (injection tests), δειγματοληψίες των ρευστών (fluid sampling), ή άλλες εργασίες.

Εάν απαιτείται ένα γεωτρύπανο το οποίο θα μπορεί να ανοίξει οπή σχετικά μεγάλης διαμέτρου τότε συνήθως επιλέγεται ένα συμβατικό περιστροφικό γεωτρύπανο (conventional rotary rig). Σε αυτήν την περίπτωση θα πρέπει επίσης να γίνει επιλογή μεταξύ ενός συστήματος με Kelly ή με Top drive.

ΠΟΛΦΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

Διατρητικά ρευστά θεωρούνται όλα τα διαλύματα τα οποία κυκλοφορούν μέσα στο πηγάδι της γεώτρησης με σκοπό να εξασφαλίσουν μια επιτυχή, ασφαλή και οικονομική διάτρηση, εκτελώντας τις λειτουργίες που αναφέραμε παραπάνω (σύστημα κυκλοφορίας). Η βασική σύσταση ενός διατρητικού ρευστού αποτελείται από νερό ή πετρέλαιο και κάποιο μέσο για την αύξηση του ιξώδους. Το μέσο αυτό είναι συνήθως ο μπεντονίτης (λεπτόκοκκο αργιλικό ορυκτό). Εάν αυτή ήταν η τελική σύσταση της λάσπης τότε σε περίπτωση που η υδροστατική πίεση (πίεση του ρευστού διάτρησης) ήταν μικρότερη της πίεσης των σχηματισμών, τότε αυτό θα οδηγούσε σε εισροή των ρευστών του σχηματισμού μέσα στο φρεάτιο της γεώτρησης. Το φαινόμενο αυτό αν δεν αντιμετωπιστεί άμεσα μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες. Γενικά, η πίεση των σχηματισμών αυξάνει με το βάθος λόγω του αυξανόμενου βάρους που ασκείται από τα όλο και περισσότερα υπερκείμενα στρώματα. Συνεπώς η υδροστατική πίεση πρέπει να αυξάνεται και αυτή με το βάθος μέχρι να γίνει ίση ή λίγο μεγαλύτερη από την πίεση των σχηματισμών. Αυτό επιτυγχάνεται εάν προσθέσουμε ένα μέσο αντιστάθμισης στον πολφό διάτρησης και το μέσο αυτό είναι συνήθως το ορυκτό βαρύτης (σε μορφή σκόνης), το οποίο αυξάνει την πυκνότητα και κατά συνέπεια την πίεση του διαλύματος.

Τυπικά ρευστά διάτρησης (normal drilling fluids) ονομάζονται αυτά τα οποία δεν χρειάζονται ιδιαίτερη τροποποίηση, καθώς οι συνθήκες διάτρησης για τις οποίες προορίζονται δεν παρουσιάζουν κάποια ιδιαιτερότητα. Συνεπώς η σύνθεσή τους είναι απλή και εύκολη. Η μόνη μέριμνα που πρέπει να ληφθεί είναι για την αποφυγή της ανεξέλεγκτης αύξησης του ιξώδους. Αυτό αντιμετωπίζεται με προσθήκη υδατοδιαλυτών πολυφωσφορικών διαλυμάτων ή -για πιο δύσκολες περιπτώσεις- διάλυμα καυστικής σόδας και ταννίνης. Τέτοια ρευστά χρησιμοποιούνται συνήθως για την διάτρηση σχιστόλιθων και άμμων/ψαμμιτών.

Ιδιαίτερα ρευστά διάτρησης (abnormal drilling fluids) ονομάζονται τα ρευστά που χρησιμοποιούνται σε ιδιαίτερες συνθήκες διάτρησης (π.χ. μεγάλες ακολουθίες αλατούχων στρωμάτων ή στρώματα υψηλής πίεσης) ή για την εξυπηρέτηση ειδικών απαιτήσεων (π.χ. μεγαλύτερη ταχύτητα διάτρησης ή μεγαλύτερος δείκτης προστασίας στα παραγωγικά στρώματα). Μερικά παραδείγματα τέτοιων ρευστών είναι:

- Πολφός με βάση τον ασβέστη (lime base mud). Σε πολφό με βάση το νερό προστίθεται καυστική σόδα, ταννίνη και ασβέστης. Ο πολφός που προκύπτει κρατάει τα θρύμματα σε αιώρηση ενώ παραμένει ρευστός στη βάση του είναι και κατάλληλος για διάτρηση σε άλατα. Μειονέκτημά η τάση του να στερεοποιείται σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Lime treated mud. Μοιάζει πολύ με τον lime base mud αλλά έχει διαφορετικές αναλογίες (των ίδιων) συστατικών. Αντιστέκεται στην στερεοποίηση στις υψηλές θερμοκρασίες, αλλά η σύστασή του αλλοιώνεται ευκολότερα στην επαφή με άλατα.
- Γαλάκτωμα πολφού (πετρέλαιο σε νερό) - emulsion mud (oil in water). Γαλακτωματοποιητές κρατούν το πετρέλαιο σε διάλυση μέσα στο νερό. Το πετρέλαιο που χρησιμοποιείται είναι συνήθως το αργό ή diesel και μπορεί να προστεθεί σε κάθε είδος λάσπης σε ποσοστό 1-40% με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Το γαλάκτωμα έχει σταθερές ιδιότητες στις συνθήκες διάτρησης, μικρή ικανότητα διήθησης και σχηματίζει λεπτό τοίχωμα λάσπης. Επίσης επιτρέπει την γρηγορότερη διάτρηση. Κύριο μειονέκτημά του ότι μπορεί να αποκρύψει τυχόν ίχνη υδρογονανθράκων λόγω της πετρελαϊκής σύνθεσής του.
- Inhibited muds. Προστατεύουν από την διήθηση ρευστών, ιδιαίτερα στις παραγωγικές ζώνες. Περιέχουν μεγάλες ποσότητες αλάτων και έχουν μεγάλο pH. Έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να αποτρέπεται η διόγκωση των σχηματισμών από την διήθηση ρευστών προς αυτούς. Μειονέκτημα τους είναι ότι χρειάζονται ειδικές ηλεκτρικές διαγραφίες για την παρακολούθηση τους, έχουν σχετικά υψηλό ειδικό βάρος και είναι δύσκολη η αύξηση του ιξώδους τους. Επίσης τα άλατα του πολφού αναιρούν τις ιδιότητες του μπεντονίτη στο τοίχωμα λάσπης (mud cake) που δημιουργεί.
- Gypsum base mud. Εξειδικευμένος τύπος των inhibited muds. Περιέχει μεγάλη ποσότητα θειικού ασβεστίου και μικρή ποσότητα γύψου. Η λάσπη που προκύπτει έχει σταθερές ιδιότητες και είναι οικονομικά συμφέρουσα για διατήρηση. Επίσης η τυχόν διήθηση του ρευστού προς τους γύρω σχηματισμούς σε επηρεάζει την υγρασία της αργίλου. Μειονέκτημα του πολφού είναι ότι συγκρατεί τα λεπτόκοκκα υλικά και τους αέριους υδρογονάνθρακες.

- Πολφός με βάση το πετρέλαιο (oil base mud). Έχουν σαν βάση το πετρέλαιο και όχι το νερό. Τα υλικά που προστίθενται πρέπει να είναι διαλυτά στο πετρέλαιο. Συνήθως προστίθεται καφέ άσφαλτος και ασβέστης. Πλεονεκτήματα του πολφού που προκύπτει είναι ότι δεν επηρεάζει την υγρασία/διόγκωση της αργίλου, επιτρέπει γρηγορότερους ρυθμούς διάτρησης και έχει πολύ καλές λιπαντικές ιδιότητες. Μειονέκτημά του το αυξημένο κόστος που απαιτείται και ο μεγάλος βαθμός ρύπανσης που μπορεί να προκαλέσει στο περιβάλλον. Επιπλέον ο πολφός απαιτεί εξειδικευμένες ηλεκτρικές διαγραφίες και το ιξώδες του μεταβάλλεται έντονα ανάλογα με την θερμοκρασία.
- Αντίστροφο γαλάκτωμα (inverted emulsion). Σε μεγάλη ποσότητα πετρελαίου προστίθεται μικρή ποσότητα νερού. Προκύπτει πολφός του οποίου οι ιδιότητες προσεγγίζουν αυτές του oil base mud, αλλά είναι φθηνότερος σε κόστος.
- Πολφός αλατούχου νερού (salt water mud). Το νερό μπορεί να είναι κορεσμένο ή όχι σε αλάτι. Η λάσπη που προκύπτει δεν έχει δυνατότητα σχηματισμού τοιχώματος λάσπης και μπορεί εύκολα να διηθείται στους γύρω (πορώδεις) σχηματισμούς.
- Πολφός πυριτικών αλάτων (silicate mud). Πυριτικό νάτριο προστίθεται σε κορεσμένο αλατούχο νερό. Ενδείκνυται για διάτρηση σχιστόλιθων, όμως είναι διαβρωτικός για πολλούς σχηματισμούς, αρκετά κοστοβόρος και δεν δίνει καλής ποιότητας ηλεκτρικές διαγραφίες.
- Πολφός με μικρή περιεκτικότητα σε στερεά (low solid mud). Μπορεί να συγκρατήσει αρκετή ποσότητα αργίλου και εξασφαλίζει γρηγορότερη και ασφαλέστερη διάτρηση. Η άργιλος που συγκρατείται αυξάνει το ιξώδες και έτσι όταν πρέπει πια να αφαιρεθεί, τότε προσθέτονται διάφορα χημικά για να κρατηθεί το ιξώδες σε κανονικά επίπεδα. Μειονέκτημα της λάσπης η μεγάλη διαλυτότητα και το υψηλό της κόστος.

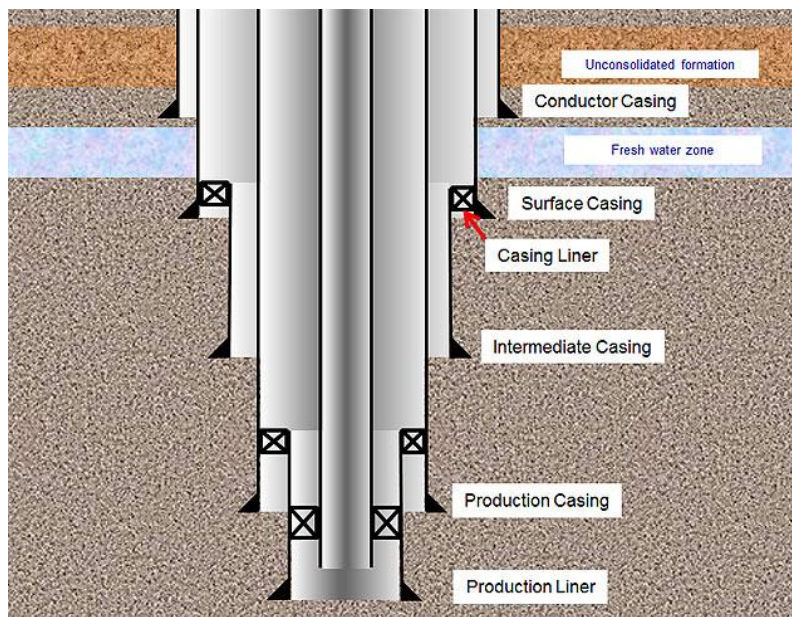
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Drilling Engineering Workbook, A Distributed Learning Course, Baker Hughes INTEQ

https://en.wikipedia.org/wiki/Drilling_fluid

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΤΣΙΜΕΝΤΩΣΗΣ

Η σωλήνωση είναι το σημαντικότερο στοιχείο του πηγαδιού της γεώτρησης. η χρησιμότητα της σωλήνωσης είναι να διατηρεί την ευστάθεια του φρέατος, να αποτρέπει την μόλυνση από στερεά στοιχεία, να διαχωρίζει το νερό από τους παραγωγικούς



Είδη σωληνώσεων και liners

σχηματισμούς και να ελέγχει την πίεση κατά τη διάτρηση, παραγωγή και τις διάφορες εργασίες της γεώτρησης. Επίσης παρέχει συνδέσμους για την εγκατάσταση του συστήματος BOP, του εξοπλισμού της γεώτρησης, των αγωγών παραγωγής (production tubing) και των packers (προστατευτικό κάλυμμα των αγωγών παραγωγής). Η σωλήνωση εκτός από σημαντική είναι μια ιδιαίτερα ακριβή κατασκευή και γι' αυτό ο τύπος το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά των σωλήνων πρέπει να επιλέγονται προσεκτικά. Οι σωληνώσεις βρίσκονται η μία μέσα στην άλλη και φθίνουν σε διάμετρο καθώς προσεγγίζουμε τον βυθό του φρέατος. Το σύνολο των σωληνώσεων σε τομή μας δίνουν την εικόνα ενός ανοιχτού τηλεσκοπίου. Υπάρχουν 6 διαφορετικοί τύποι σωληνώσεων ανάλογα με την χρησιμότητά τους οι οποίοι συνθέτουν ένα τυπικό σύστημα σωλήνωσης :

1. Σωλήνωση επαφής (conductor casing). Είναι το πρώτο κομμάτι σωλήνωσης και βρίσκεται σε επαφή με την επιφάνεια της γης ή του βυθού. Έχει σκοπό να απομονώνει κυρίως τους μη συνεκτικούς σχηματισμούς και να αποτρέπει την εισχώρηση διάφορων υλικών (π.χ. άμμου) στο φρέαρ. Προστατεύει επίσης από αέριους υδρογονάνθρακες που τυχόν βρίσκονται σε στρώματα κοντά στην επιφάνεια (shallow gas). Στην σωλήνωση αυτή συνδέεται το σύστημα BOP και το σύστημα εκτροπής των αερίων (diverter).
2. Επιφανειακή σωλήνωση (surface casing). Είναι η αμέσως επόμενη σωλήνωση. Είναι μικρότερης διαμέτρου και προστατεύει από την εισχώρηση ρευστών στο φρέαρ αλλά και το φαινόμενο της απώλειας πολφού (προς τους σχηματισμούς). Επίσης στις κατευθυνόμενες γεωτρήσεις αποτρέπει το φαινόμενο "key seating".

3. Ενδιάμεση σωλήνωση (intermediate casing). Απομονώνει ασταθή σημεία του φρέατος, στρώματα που επιτρέπουν την απώλεια πολφού και στρώματα χαμηλής πίεσης. Χρησιμοποιείται σχεδόν πάντα σε μεταβατικές ζώνες κανονικής και μη κανονικής πίεσης. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε παραγωγικές ζώνες.
4. Παραγωγική σωλήνωση (production casing). Χρησιμοποιούνται για να απομονώσουν τα παραγωγικά στρώματα και διατηρούν σταθερή την πίεσή τους σε περίπτωση διαρροής.
5. Liner. Σωλήνωση η οποία δεν εκτείνεται μέχρι την επιφάνεια αλλά είναι προσδεμένη σε κάποια ανώτερη σωλήνωση. Χρησιμοποιείται λόγω του μικρότερου κόστους και μπορεί να πάρει την θέση της ενδιάμεσης ή της παραγωγικής σωλήνωσης. Παρουσιάζει συγκριτικά πλεονεκτήματα στις βαθύτερες γεωτρήσεις.
6. Tie back string. Παρέχει υποστήριξη στους διάφορους άλλους τύπους σωληνώσεων όταν αυτοί δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν στις συνθήκες πίεσης.

Για να σχεδιαστεί ένα σύστημα σωλήνωσης του πηγαδιού της γεώτρησης θα πρέπει αρχικά να είναι γνωστά τα παρακάτω δεδομένα :

- Σκοπός της γεώτρησης (ερευνητική ή παραγωγική)
- Γεωλογική τομή της περιοχής
- Διαθέσιμα μεγέθη σωλήνων και κοπτικών άκρων
- Πρακτικές διάτρησης και σωλήνωσης
- Απόδοση του γεωτρήπανου
- Κανονισμοί ασφαλείας
- Χωρητικότητα της εξέδρας και του πύργου (για τα επιμέρους κομμάτια των σωληνώσεων και τη μεταφορά τους)

Πριν ξεκινήσει ο σχεδιασμός πρέπει να καθοριστεί το μέγεθος και το βάθος της σωλήνωσης των παραγωγικών σχηματισμών (production casing). Η σωλήνωση αυτή θα έχει την μεγαλύτερη διάμετρο και το μεγαλύτερο βάθος και βάση αυτής θα καθοριστούν τα κοπτικά άκρα που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και τα χαρακτηριστικά των υπόλοιπων σωληνώσεων. Ο μηχανικός που θα σχεδιάσει την σωλήνωση θα πρέπει να εξασφαλίσει :

- Τη μηχανική ακεραιότητα της γεώτρησης λαμβάνοντας υπόψη στη σχεδίαση τις λειτουργίες που θα εκτελέσει κατά τη διάρκεια της ζωής της.
- Το μικτότερο δυνατό κόστος.
- Την πλήρη ενημέρωση του λοιπού προσωπικού για τις προδιαγραφές και τα όρια των δυνατοτήτων της σωλήνωσης για την αποφυγή κάποιας καταστροφής ή αστοχίας.

Μέθοδος σχεδίασης

Η διαδικασία της σχεδίασης χωρίζεται σε δύο φάσεις : **προκαταρκτική (preliminary design)** και **λεπτομερής (detailed design)** σχεδίαση.

Η **προκαταρκτική σχεδίαση** περιλαμβάνει : την συλλογή πληροφοριών και την ερμηνεία τους, τον καθορισμό του αριθμού των σωλήνων και το βάθος τοποθέτησής τους, το καθορισμό του μεγέθους του φρέατος και της αντίστοιχης σωλήνωσης και τον καθορισμό του τύπου της λάσπης.

Επιλογή λάσπης. Ο τύπος της λάσπης επιλέγεται ή διαμορφώνεται επί τόπου σύμφωνα με τους παρακάτω παραγόντες

- Πίεση των πόρων του πετρώματος
- Συνοχή/αντοχή των πετρωμάτων
- Τύπος λιθολογίας
- Δυνατότητα καθαρισμού και μεταφοράς θρυμμάτων
- Ρυθμός διάτρησης
- Περιβαλλοντική προστασία

Διάμετρος φρέατος και σωλήνωσης. Η διάμετρος του φρέατος και των αντίστοιχων σωληνώσεων καθορίζονται λαμβάνοντας υπόψη :

- Τον εξοπλισμό παραγωγής και τις διαστάσεις του
- Τον εξοπλισμό εκτίμησης του κοιτάσματος και το μέγεθος των μηχανημάτων που παράγουν τις διαγραφίες (logging tools)
- Τον εξοπλισμό της διάτρησης (διάμετρος του κοπτικού άκρου και απαιτήσεις του συστήματος BOP)

Οι παραπάνω απαιτήσεις αφορούν την διάμετρο του κατώτερου κομματιού του φρέατος όπου τόσο η διάμετρος του φρέατος όσο και της σωλήνωσης είναι η μικρότερη. Έτσι τα μεγέθη των σωληνώσεων θα πρέπει να καθορίζονται με την σειρά από τον βυθό της γεώτρησης μέχρι την επιφάνεια. Η τυπική διαδικασία είναι 1) επιλογή του αγωγού μεταφοράς του πετρελαίου ανάλογα με τον αναμενόμενο ρυθμό εισροής του προϊόντος από τον ταμιευτήρα, 2) επιλογή του μεγέθους παραγωγικής σωλήνωσης, 3) επιλογή κοπτικού άκρου κατάλληλης διαμέτρου για την διάτρηση στους παραγωγικούς σχηματισμούς (μέσα στην παραγωγική σωλήνωση), 4) καθορισμός της μικρότερης σωλήνωσης από την οποία θα περάσει το κοπτικό άκρο, 5) επανάληψη της διαδικασίας για το αμέσως ανώτερο στρώμα.

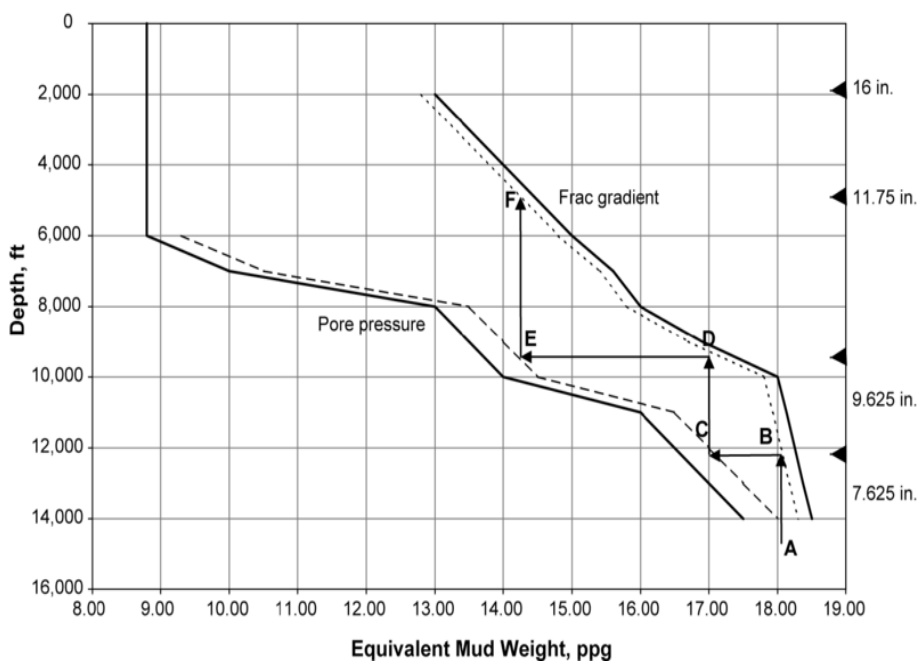
Βάθος κάθε τύπου σωλήνωσης και αριθμός σωλήνων. Αφού έχει καθοριστεί ο τύπος του κοπτικού άκρου και τα μεγέθη των σωληνώσεων ακολουθεί η επιλογή του βάθους εγκατάστασης των ξεχωριστών τύπων σωληνώσεων.

Όσον αφορά τις συμβατικές περιστροφικές γεωτρήσεις τα βάθη των σωληνώσεων καθορίζονται από την πυκνότητα της λάσπης (mud weight) και την

τιμή της πίεσης που χρειάζεται για να ρηγματωθεί ένα πέτρωμα (fracture gradient). Η ισοδύναμη πυκνότητα λάσπης (equivalent mud weight) ισούται με την πίεση δια το πραγματικό κατακόρυφο βάθος και μετριέται σε μονάδες rpg (pounds per gallon) ή lbm/gal (libres per gallon) και εκφράζει την πραγματική πυκνότητά της λάσπης όταν αυτή είναι ακίνητη και τα στερεά υλικά της ομοιομορφα κατανεμημέν

α.

Η συνολική πίεση στο βάθος της γεώτρησης προκύπτει από την πρόσθεση της πίεσης των σχηματισμών, της επιπλέον πίεσης της



λάσπης για την ισοστάθμιση της (αρνητικής) πίεσης από την ανέλκυση της διατρητικής στήλης (swab pressure) και της επιπλέον πίεσης που προκύπτει από την καθέλκυση της σωλήνωσης (surge pressure). Επιπλέον προστίθεται μια τιμή πίεσης χωρίς πραγματική υπόσταση για λόγους ασφαλείας. Η πίεση λοιπόν εκφράζεται στο σχήμα με την διακεκομμένη γραμμή που είναι υποπαράλληλη με την γραμμή της formation pressure. Η δεύτερη διακεκομμένη γραμμή εκφράζει τις ελάχιστες τιμές πίεσης της λάσπης που είναι ικανές να ρηγματώσουν τα πετρώματα, αφαιρώντας όμως μια συγκεκριμένη τιμή πάλι για λόγους ασφαλείας. Για να καθορίσουμε το βάθος στο οποίο θα εγκατασταθούν οι σωληνώσεις ακολουθούμε την εξής διαδικασία: Επιλέγουμε το σημείο της καμπύλης (ε) που παίρνει την μεγαλύτερη τιμή πίεσης (σημείο A) και φέρνουμε την κάθετη ευθεία μέχρι αυτή να συναντήσει την καμπύλη (ε') στο σημείο B. το σημείο B αντιστοιχεί στην τιμή ~12000ft η οποία είναι και το ζητούμενο βάθος εγκατάστασης της σωλήνωσης. Ύστερα φέρνουμε την οριζόντια από το σημείο B μέχρι να συναντήσει την καμπύλη (ε) στο σημείο Γ και συνεχίζουμε ομοίως.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

http://petrowiki.org/Casing_design

PETROLEUM ENGINEERING HANDBOOK Larry W. Lake, Editor-in-Chief, Volume II
DRILLING ENGINEERING Robert F. Mitchell, Editor

Working Guide to Drilling Equipment and Operations, William C. Lyons, 2010

Drilling Engineering (Institute of Petroleum Engineering, Heriot-Watt University)

<http://www.drillingformulas.com/basic-understanding-of-oil-well-casing-and-tubing/>

ΤΣΙΜΕΝΤΩΣΗ

Η τσιμέντωση του πηγαδιού είναι πολύ σημαντική εργασία στις γεωτρήσεις πετρελαίου και φυσικού αερίου και έχει σκοπό να σφραγίζει την περιοχή του φρέατος ανάμεσα στην σωλήνωση (ή στα liners) και στα πετρώματα, να "δένει" την σωλήνωση με τα πετρώματα και να αποτρέπει την επαφή της σωλήνωσης/liners με τα ρευστά των γύρω σχηματισμών. Όταν οι παραπάνω σκοποί εξυπηρετηθούν τότε εξασφαλίζεται:

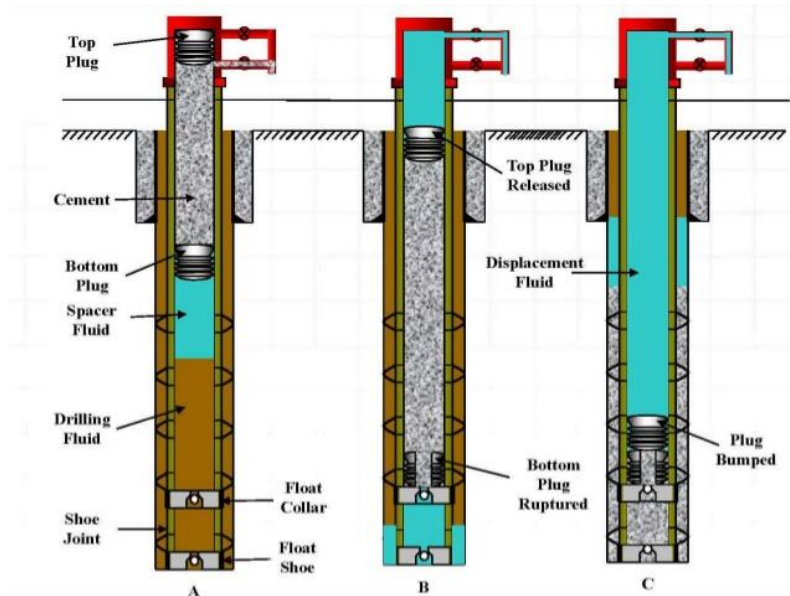
- Η επαρκής υποστήριξη της σωλήνωσης διότι διαφορετικά θα μπορούσε να λυγίσει υπό το βάρος του συστήματος BOP και της κεφαλής της γεώτρησης (wellhead).
- Η αποτροπή της μετακίνησης ρευστών από τον ένα σχηματισμό στον άλλο ή στην επιφάνεια.
- Η προστασία της σωλήνωσης (ή των liners) από τυχόν διαβρωτικά ρευστά.

Η τσιμέντωση μπορεί να χωριστεί σε **πρωταρχική (primary cementing)** ή **δευτερεύουσα (secondary ή squeeze cementing)**.

Κατά την **πρωταρχική τσιμέντωση**, ένα μεταλλικό πώμα που εφαρμόζει ακριβώς στη σωλήνωση (bottom wiper plug) εισπιέζεται ελαφρώς από τον πολτό τσιμέντου ώσπου να κατέλθει μέχρι το τέλος της σωλήνωσης και να εφαρμόσει στον σύνδεσμο float collar. Το πώμα αυτό έχει στην μέση του ένα διάφραγμα το οποίο σπάει με την αυξανόμενη πίεση του τσιμέντου και έτσι επιτρέπει στο τσιμέντο να γεμίσει τον χώρο στο τέλος της σωλήνωσης (casing shoe) και τον χώρο του φρέατος εξωτερικά της σωλήνωσης (annulus). Όταν η προβλεπόμενη ποσότητα πολτού τσιμέντου βρίσκεται πλέον μέσα στην σωλήνωση, τότε ένα δεύτερο πώμα (top wiper plug) αφήνεται, σηματοδοτώντας το τέλος του όγκου του τσιμέντου μέσα στη σωλήνωση. Ύστερα το ρευστό εκτόπισης (displacement fluid) εισέρχεται και αυτό μέσα στην σωλήνωση και εξαναγκάζει το πώμα να κατέλθει μέχρι να εφαρμόσει στο bottom wiper plug εκτοπίζοντας όλο τον πολτό τσιμέντου από την σωλήνωση και προωθώντας τον μέχρι την επιφάνεια. Αυτό, αποτελεί το τέλος της διαδικασίας και γίνεται αντιληπτό στους χειριστές από την

πίεση του
ρευστού
εκτόπισης η οποία
αυξάνεται διότι
δεν έχει πλέον
διέξοδο να
εκτονωθεί.

Η πρωταρχική
τσιμέντωση
συνήθως γίνεται
σε ένα στάδιο,
όμως σε



Η διαδικασία της πρωταρχικής τσιμέντωσης με χρονολογική σειρά Α, Β, Γ

περιπτώσεις όπου
η σωλήνωση έχει
μεγάλο μήκος τότε απαιτούνται δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο λοιπόν η
διαδικασία είναι ίδια με αυτήν που περιγράφηκε παραπάνω με την διαφορά
όμως ότι η τσιμέντωση δεν φτάνει μέχρι την επιφάνεια της σωλήνωσης αλλά
μέχρι ένα προκαθορισμένο ύψος της. Ύστερα ξεκινάει το δεύτερο στάδιο κατά
το οποίο ένα ειδικό εργαλείο ανοίγει μια τρύπα στην σωλήνωση μέσω ξεκινάει η
δεύτερη εισπίεση τσιμέντου στο φρέαρ που φτάνει και μέχρι την επιφάνεια.

Η δευτερεύουσα τσιμέντωση είναι διαδικασία η οποία λαμβάνει χώρα μετά την
πρωταρχική τσιμέντωση. Ο πολτός τσιμέντου εισπίζεται μέσα στην σωλήνωση
και μέσα από διάφορες οπές της καταλήγει στο ήδη τσιμεντωμένο ή όχι φρέαρ
(annulus) ή μέσα στα γύρω πετρώματα. Η δευτερεύουσα τσιμέντωση
εφαρμόζεται για εργασίες επιδιόρθωσης/συντήρησης και συγκεκριμένα για να:

- Σφραγίσει ζώνες παραγωγής αερίου ή νερού και συνεπώς να αυξήσει την παραγωγή πετρελαίου
- Επισκευάσει βλάβες της σωλήνωσης (π.χ. από διάβρωση) και να σφραγίσει τα σημεία διαρροής
- Σφραγίσει ζώνες απώλειας πολφού
- Ενισχύσει σημεία με ανεπαρκή πρωταρχική τσιμέντωση
- Αποτρέψει την κατακόρυφη μετανάστευση ρευστών από ζώνη σε ζώνη ή προς την επιφάνεια.

Κατά την δευτερογενή τσιμέντωση οι πόροι των πετρωμάτων δύσκολα μπορούν να επιτρέψουν την είσοδο του πολτού τσιμέντου καθώς υπολογίζεται ότι για να συμβεί αυτό απαιτείται μεγάλη περατότητα (~500 darcies). Έτσι το τσιμέντο προωθείται στα πετρώματα με δύο τρόπους:

- Με υψηλής πίεσης προώθηση η οποία υπερβαίνει την πίεση ρηγμάτωσης των πετρωμάτων (fracture gradient) και το τσιμέντο καταλαμβάνει τον χώρο του δευτερογενούς πορώδους
- Με χαμηλής πίεσης προώθηση κατά την οποία δεν απαιτείται θραύση των πετρωμάτων. Τα ρευστά συστατικά του τσιμέντου εισέρχονται μέσα στους πόρους των πετρωμάτων ενώ τα στερεά σχηματίζουν ένα τοίχωμα στην επιφάνειά τους (filter cake).

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

http://petrowiki.org/Cementing_operations

Working Guide to Drilling Equipment and Operations, William C. Lyons, 2010

Drilling Engineering (Institute of Petroleum Engineering, Heriot-Watt University)

<http://www.slideshare.net/akinrcraig/petroleum-engineering-drilling-engineering-primary-cementing>

Ο ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

Κοπτικά άκρα

Στην βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου, το κοπτικό άκρο (drill bit) είναι το εργαλείο το οποίο ανοίγει μια κυλινδρική οπή στην επιφάνεια της γης με σκοπό την έρευνα και εκμετάλλευση υδρογονανθράκων. Το κοπτικό άκρο είναι μέρος της διατρητικής στήλης και αποτελεί το τελευταίο (κατώτερο) κομμάτι της. Η διάμετρός του είναι σχετικά μικρή και κυμαίνεται μεταξύ 8,9 cm (3,5 inches) και 76cm (30 inches) ανάλογα με το βάθος της διάτρησης (με την αύξηση του βάθους της διάτρησης μικραίνει η διάμετρος του κοπτικού άκρου). Το διατρητικό ρευστό περνάει μέσα από το κοπτικό άκρο και για να καταλήξει στο μέτωπο της διάτρησης και να μεταφέρει τα παραγόμενα θρύμματα στην επιφάνεια. Υπάρχει μια τεράστια ποικιλία από κοπτικά άκρα με διαφορετικά μεγέθη και προδιαγραφές τα οποία μπορούν όμως να χωριστούν σε 3 βασικές κατηγορίες: drag bits, roller cone bits και diamond bits.

Drag bits. Είναι ο παλαιότερος τύπος κοπτικού άκρου. Αποτελείται από άκαμπτο χάλυβα και το σχήμα του μοιάζει με ουρά ψαριού. Χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία σε περιστροφικές διατρήσεις μαλακών σχηματισμών μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Η χρήση αυτού του τύπου έχει εγκαταλειφθεί διότι:

- Εισήχθησαν στην αγορά τα κοπτικά άκρα τύπου roller cone bits τα οποία μπορούσαν να διατρήσουν σε μαλακούς σχηματισμούς πιο αποτελεσματικά

- Δεν μπορούσαν να αντέξουν μεγάλο βάρος (weight on bit – WOB) χωρίς να υποστούν διάφορες βλάβες
- Είχαν τη τάση να παράγουν ελαφρώς κυρτές και όχι ευθύγραμμες γεωτρήσεις και ο έλεγχος της πορείας τους ήταν αδύνατος
- Μπορούσαν να διατρήσουν μόνο σε μαλακούς ή/και χαλαρούς σχηματισμούς

Roller cone bits (ή **rock bits**). Είναι τα πιο διαδεδομένα κοπτικά άκρα στον κόσμο. Πάνω στο κοπτικό άκρο βρίσκονται τοποθετημένοι περιστρεφόμενοι κώνοι οι οποίοι έχουν δόντια είτε από ατσάλι είτε από καρβίδιο βολφραμίου. Οι κώνοι αυτοί παράγουν την γεώτρηση κυρίως κόβοντας και “αλέθοντας” τα πετρώματα. Τα roller cone bits χωρίζονται σε milled tooth bits και insert bits ανάλογα με την επιφάνεια των κώνων που εκτίθεται στα πετρώματα. Το πρώτο επιτυχημένο roller cone bit σχεδιάστηκε το 1909 και αποτελούταν από δύο κώνους. Ήταν σημαντική καινοτομία της εποχής καθώς επέτρεπε την διάτρηση σε σκληρότερους σχηματισμούς. Ο τύπος αυτός όμως παρουσίαζε διάφορα προβλήματα και



Roller cone bit

έτσι την δεκαετία του '30 δημιουργήθηκε το ανανεωμένο roller cone bit με τρεις κώνους το οποίο μοιάζει αρκετά με τα σύγχρονα κοπτικά άκρα. Οι τρεις αυτοί κώνοι μπορούν να περιστρέφονται γύρω από τον άξονά τους καθώς περιστρέφεται ολόκληρο το κοπτικό άκρο και συγκριτικά με τον τύπο roller cone με δύο κώνους παρουσιάζονται τα εξής πλεονεκτήματα:

- Καλύτερη λειτουργία καθαρισμού λόγω της χρήσης ακροφυσίων
- Χρήση καρβιδίου βολφραμίου για ενίσχυση της αντοχής του κοπτικού άκρου την εξασφάλιση παραγωγής σταθερής διαμέτρου φρέατος
- Σφραγισμένα ρουλεμάν των κώνων για την αποφυγή της επαφής τους με την λάσπη που μπορεί να οδηγήσει στην διάβρωση και πρόωρη φθορά τους

Diamond bits. Τα διαμάντια είναι τα (φυσικά) υλικά με την μεγαλύτερη σκληρότητα, πράγμα που το καθιστά πολύ αποτελεσματικά στην χάραξη ή κοπή των πετρωμάτων. Όσον αφορά τα κοπτικά άκρα εκτός από φυσικά διαμάντια μπορούν να περιέχουν και συνθετικά τα οποία έχουν δημιουργηθεί με σύγχρονες μεθόδους. Έτσι σήμερα τα κοπτικά άκρα με διαμάντια χωρίζονται σε:

- Natural diamond bits. Η κοπτική ικανότητα των διαμαντιών εφαρμόζεται με την χάραξη, απόξυση και τελικά κοπή των πετρωμάτων σε θρύμματα. Τα

διαμάντια είναι καλά στερεωμένα σε ένα ειδικό πλέγμα το οποίο με τη σειρά του στερεώνεται στον χαλύβδινο κορμό του κοπτικού άκρου. Αντίθετα με την υψηλή αντοχή του στην φθορά, το διαμάντι είναι σχετικά ευαίσθητο στις έντονες δονήσεις και έτσι οι χειριστές του γεωτρήπανου πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεκτικοί. Επίσης πρέπει να εξασφαλιστεί επαρκής κυκλοφορία του διατρητικού ρευστού στο μέτωπο της διάτρησης για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση του διαμαντιού. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των κοπτικών άκρων διαμαντιού είναι το μεγάλο τους κόστος το οποίο είναι περίπου 10 φορές μεγαλύτερο από τα αντίστοιχων προδιαγραφών roller cone bits. Λόγω όμως της μεγάλης αντοχής τους και της ικανότητας συνεχόμενης λειτουργίας για πολλές ώρες, τα κοπτικά άκρα με διαμάντια αποτελούν συνήθως την αποτελεσματικότερη και οικονομικότερη λύση για την διάτρηση σε “δύσκολους” σχηματισμούς για τους οποίους θα χρειαζόταν να αλλαχθούν περισσότερα roller cone bits και να σπαταληθεί περισσότερος χρόνος. Επίσης, τα διαμάντια από τα diamond bits είναι αποσπώμενα και μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν σε άλλα κοπτικά άκρα.

- PDC Bits (Polycrystalline Diamond Compact bits). Εισήχθησαν την δεκαετία του '80 και είναι κοπτικά άκρα με συνθετικά διαμάντια. Σαν μηχανισμός έχει τα ίδια μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα με τα natural diamond bits όμως τα (συνθετικά) διαμάντια που

χρησιμοποιούνται έχουν το σχήμα μικρό δίσκων για την αποτελεσματικότερη κοπή των πετρωμάτων. Έχουν χρησιμοποιηθεί σε όλο τον κόσμο με μεγάλη επιτυχία, ιδιαίτερα όμως στις διατρήσεις που απαιτούν υψηλό ρυθμό διάτρησης (Rate of Penetration – ROP) και πολλές συνεχόμενες ώρες λειτουργίας.

- TSP bits (Thermally Stable Polycrystalline bits). Εισήχθησαν στα τέλη της δεκαετίας του '80 και αποτελούν προϊόν της περαιτέρω ανάπτυξης των PDC bits.

Έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τα PDC bits, μπορούν όμως να αντέξουν σε πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες.



PDC bit

Διατρητικά στελέχη (drill pipes).

Τα διατρητικά στελέχη αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της διατρητικής στήλης (drillstring) και το 90-95% του

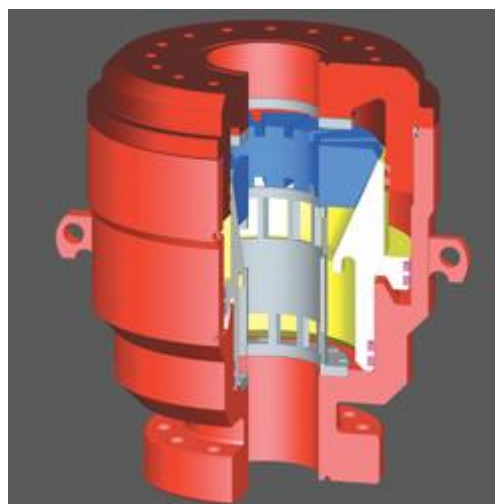
API Range	Length (ft)
1	18 – 22
2	27 – 30
3	38 - 45

συνολικού μήκους της. Τα διατρητικά στελέχη αποτελούνται από μονοκόμματος, σχετικά λεπτών τοιχωμάτων, ατσάλινους σωλήνες οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με σπειρωτούς συνδέσμους. Στην μια άκρη του στελέχους υπάρχει το θηλυκό κομμάτι του συνδέσμου (box) και στην άλλη άκρη το αρσενικό (pin). Κάθε στέλεχος ονομάζεται joint ή single και έχει συγκεκριμένες διαστάσεις που έχουν διαμορφωθεί από το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Πετρελαίου (API – American Petroleum Institute). Είναι πολύ σημαντικό για τον γεωτρυπανιστή να γνωρίζει τα ακριβή μήκη των διατρητικών στελεχών και των άλλων στελεχών της διατρητικής στήλης, διότι μόνο έτσι μπορεί να υπολογίσει το ακριβές βάθος του κοπτικού άκρου και το βάθος του μετώπου της διάτρησης. Επίσης τα διατρητικά στελέχη κατασκευάζονται με συγκεκριμένο βάρος, εξωτερική διάμετρο και προδιαγραφές αντοχής.

API Drill Pipe Grade	Minimum Yield Stress (psi)	Minimum Tensile Stress (psi)	<i>Yield Stress Tensile Stress</i>
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

Το σύστημα blow out preventer – BOP

Το BOP είναι το σημαντικότερο μέρος του εξοπλισμού και χρησιμοποιείται για την σφράγιση του πηγαδιού και την διαχείριση της ανεπιθύμητης ροής ρευστών. Συνήθως χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότερα BOPs συνδεδεμένα μεταξύ τους για να εξασφαλιστεί ο μέγιστος βαθμός ασφαλείας και μεγαλύτερη άνεση στις εργασίες ελέγχου της γεώτρησης (well control). Υπάρχουν δύο τύποι μηχανισμών BOP που χρησιμοποιούνται για την σφράγιση των πηγαδιών πετρελαίου και φυσικού αερίου και οι οποίοι χρησιμοποιούνται μαζί:



Annular preventer. Το λευκό αντικείμενο (πιστόνι) κινείται προς τα πάνω και εξαναγκάζει το μπλε αντικείμενο (ελαστικό σφράγισμα) να κινηθεί προς το κέντρο μπλοκάροντας την κυκλοφορία των ρευστών

- **Annular (bag type) preventer.** Πρόκειται για ένα κυλινδρικό ελαστικό μηχανισμό σχεδιασμένο για να αντέχει σε υψηλές εφελκυστικές δυνάμεις. Το BOP τύπου annular μπορεί να εφαρμόσει γύρω από την διατρητική στήλη, γύρω από την σωλήνωση ή σε μη κυλινδρικά αντικείμενα όπως το Kelly. Τα annular BOPs δεν είναι τόσο αποτελεσματικά στην σφράγιση του πηγαδιού όσο τα ram type BOPs και τοποθετούνται στο ανώτερο μέρος της συστάδας των BOPs ενώ τα ram type τοποθετούνται στη βάση. Η σφράγιση του πηγαδιού από τα BOP τύπου annular βασίζεται στην αρχή λειτουργίας της σφήνας και χρησιμοποιείται ένα κυκλικό (σαν σωσίβιο) ελαστικό σφράγισμα το οποίο είναι ενισχυμένο με ατσάλινες ραβδώσεις. Το σφράγισμα αυτό είναι συνδεδεμένο με ένα πιστόνι το οποίο κινείται λόγω υδραυλικής πίεσης και εξαναγκάζει το σφράγισμα να κινηθεί μαζί του μπλοκάροντας την ροή ρευστών μέσα στο φρέαρ. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα μεγάλο φάσμα αγωγών με διαφορετικές διαμέτρους λόγω του ελαστικού χαρακτήρα του υλικού σφράγισης. Επίσης μπορεί η διατρητική στήλη να συνεχίσει να περιστρέφεται ενώ το φρεάτιο έχει σφραγιστεί. Για την ομαλή λειτουργία του μηχανισμού, το ελαστικό υλικό θα πρέπει να ελέγχεται συστηματικά για την ακεραιότητά του.
- **Ram type preventer.** Ο μηχανισμός των ram type preventers μοιάζει πολύ με αυτόν της κοινής βάνας νερού με την διαφορά ότι χρησιμοποιούνται δύο αντιτιθέμενα έμβολα που προωθούν τα ελαστικά της σφράγισης (ram) μέχρι αυτά να συναντηθούν στην μέση



Εξωτερική όψη του ram preventer

του αγωγού μπλοκάροντας την κυκλοφορία των ρευστών. Τα rams ή ram block χωρίζονται σε 3 κατηγορίες: α) pipe rams. “κλείνουν” γύρω από το διατρητικό στέλεχος εμποδίζοντας την ροή ρευστών στο φρεάτιο εξωτερικά της διατρητικού στελέχους (annulus), όχι όμως και μέσα σε αυτό. β) blind rams. Σφραγίζουν το φρέαρ εντελώς απουσία διατρητικής στήλης ή άλλων υλικών. γ) shear rams. σφραγίζουν το φρέαρ εντελώς και μπορούν να “κόψουν” την διατρητική στήλη αν αυτή παραμένει στο φρέαρ.

Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

Στο σύστημα BOP συνδέονται επίσης οι αγωγοί **choke line** και **kill line**. Ο αγωγός choke line είναι ένας αγωγός υψηλής πίεσης που οδηγεί από την έξοδο του BOP

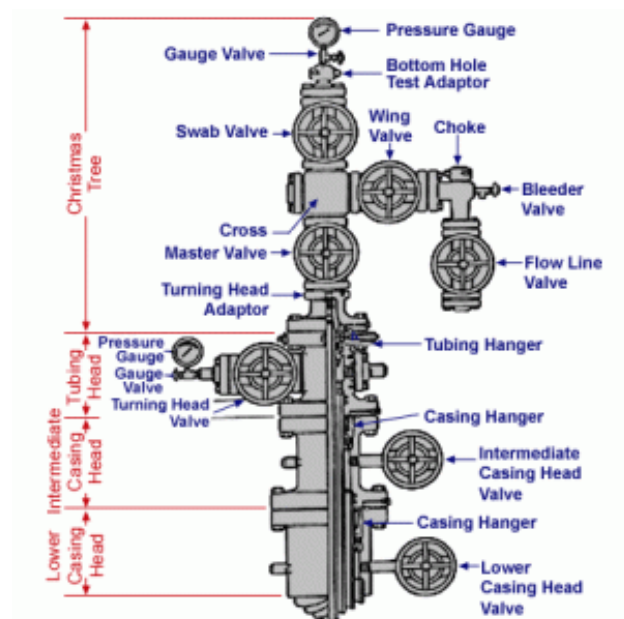
σε μια διάταξη σωλήνων και βαλβίδων που ελέγχουν την πίεση (manifold). Τα υπό πίεση ρευστά εξέρχονται του φρέατος και μέσω αυτών των αγωγών μειώνουν την πίεση τους μέχρι την τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης. Ο αγωγός kill line είναι επίσης αγωγός υψηλής πίεσης ο οποίος οδηγεί από την έξοδο του BOP στην δεξαμενή λάσπης που βρίσκεται στις εγκαταστάσεις της εξέδρας. Μέσω αυτού του αγωγού αντλούνται τα ρευστά που παραμένουν στο φρέαρ όταν αυτό έχει σφραγιστεί από το σύστημα BOP.

Η κεφαλή της γεώτρησης – wellhead

Η κεφαλή της γεώτρησης είναι ένας μηχανισμός που τοποθετείται στην επιφάνεια του ανοιγμένου πηγαδιού τόσο στις onshore όσο και στις offshore γεωτρήσεις και έχει σκοπό να ρυθμίζει την παραγωγή των υδρογονανθράκων και να παρέχει διάφορες πληροφορίες για την κατάσταση του πηγαδιού.

Επίσης εμποδίζει τυχόν διαρροές πετρελαίου ή φυσικού αερίου που προκαλούνται λόγω ύπαρξης σχηματισμών υψηλής πίεσης και γι' αυτό το wellhead κατασκευάζεται για να αντέχει υψηλές πιέσεις μέχρι 140 MPa – 1400bar.

Αποτελείται από 3 μέρη (από κάτω προς τα πάνω): την κεφαλή της σωλήνωσης (casing head), την κεφαλή των αγωγών παραγωγής (tubing head), και το Christmas tree.



Η κεφαλή της γεώτρησης (wellhead) με τα διάφορα μέρη της

Casing head: είναι μια απλή μεταλλική φλάτζα η οποία είναι προσδεμένη στο ανώτερο μέρος της σωλήνωσης επαφής (conductor casing) και συνδέει την σωλήνωση με το wellhead.

Tubing head: μηχανισμός που συνδέει το Christmas tree με το wellhead και υποστηρίζει το tubing hanger.

Tubing hanger: μηχανισμός προσδεμένος στο ανώτερο μέρος του αγωγού παραγωγής και υπεύθυνος για την συγκράτησή του στο wellhead.

Christmas tree: αποτελείται από ένα σύστημα βαλβίδων – αγωγών μεταξύ των οποίων διακρίνουμε

- Την master gate valve η οποία είναι μιας υψηλής ποιότητας βαλβίδα που όταν είναι εντελώς ανοιχτή, έχει την διάμετρο του αγωγού παραγωγής (tubing) και μπορεί να μεταφέρει διάφορα υλικά ή εργαλεία. Είναι σχεδιασμένη για να ανταποκρίνεται σε όλες τις αναμενόμενες πιέσεις και συνήθως αφήνεται εντελώς ανοιχτή καθώς δεν παίζει ρόλο στην ρύθμιση ροής του πετρελαίου.
- τον pressure gauge ο οποίος είναι μετρητής της πίεσης που τοποθετείται πάνω από την master gate valve.
- Την swab valve η οποία παρέχει χώρο για την καθέλκυση διάφορων εργαλείων (π.χ. φωρατών κτλ) μέσα στη γεώτρηση
- Επίσης μέρη του Christmas tree αποτελούν τα wing valve, variable flow choke valve και vertical tree.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Håvard Devold, (2013), Oil and gas production handbook: An introduction to oil and gas production, transport, refining and petrochemical industry.

Drilling Engineering (Institute of Petroleum Engineering, Heriot-Watt University)

<http://www.drillingformulas.com/basic-understanding-about-drill-pipe/>

http://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/c/choke_line.aspx

http://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/k/kill_line.aspx

https://en.wikipedia.org/wiki/Casing_head

<http://www.varelintl.com/Mining-and-Industrial-Home/Roller-Cone-Bits/Ridgeback-DForce-Blasthole-Bits/>

http://www.weiku.com/products/14415212/PDC_button_insert.html

<http://www.womme.ae/Products/BOP/bop.html>

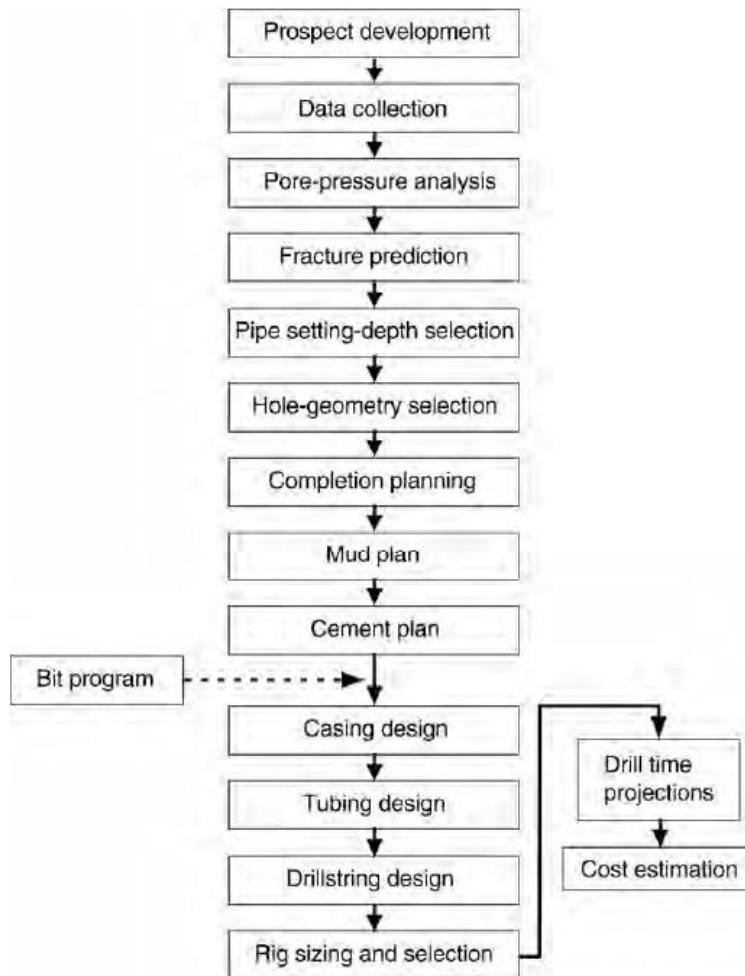
<http://www.lintech.com.sg/solutions/products/blow-out-preventer.html>

<http://www.zoombd24.com/wellhead-christmas-tree/>

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Το αντικείμενο του σχεδιασμού μιας γεώτρησης περιλαμβάνει την διαμόρφωση ενός διατρητικού προγράμματος όρυξης ενός πηγαδιού το οποίο θα πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Να είναι ασφαλές πρώτα απ' όλα για τον ανθρώπινο παράγοντα και δευτερευόντως να εξασφαλιστεί και η ακεραιότητα της κατασκευής
 - Να είναι λειτουργικό, δηλαδή να εκτελεστούν με άνεση όλες οι εργασίες που περιλαμβάνονται στην διάτρηση και παραγωγή
 - Το έργο να ολοκληρωθεί δαπανώντας όσο το δυνατόν λιγότερα χρήματα χωρίς να γίνονται "εκπτώσεις" στις προδιαγραφές ασφαλείας
- Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω, μια τυπική διαδικασία σχεδιασμού μιας γεώτρησης μπορεί να περιγραφεί από το σχήμα.



Στάδια σχεδιασμού μιας γεώτρησης με χρονολογική σειρά

Παρακάτω παραθέτεται περιληπτικά ο σχεδιασμός όρυξης της ερευνητικής γεώτρησης Old Harry Prospect στην τοποθεσία EL-1105 του κόλπου St. Lawrence (Καναδάς).

Εισαγωγή

Η εταιρία Corridor Resources Inc. είναι μια εταιρεία με έδρα τον Καναδά που δραστηριοποιείται στο χώρο της ενέργειας και σχεδιάζει να ανοίξει μια ερευνητική γεώτρηση σε έναν υποθαλάσσιο γεωλογικό σχηματισμό διαστάσεων επιφάνειας 30 x 12 km με την ονομασία "Old Harry". Ο σχηματισμός αυτός πληρεί όλες τις προϋποθέσεις ώστε να μπορεί να αποτελεί ένα κοίτασμα πετρελαίου/φυσικού αερίου – είναι δηλαδή μια πετρελαιοπιθανή περιοχή. Επιπροσθέτως, δεν έχει ξαναεπιχειρηθεί η εκτέλεση γεώτρησης σε αυτή την γεωλογική δομή η οποία είναι μια από τις μεγαλύτερες ανεξερεύνητες περιοχές του ανατολικού Καναδά. Η εταιρεία έχει εξασφαλίσει όλες τις νόμιμες άδειες και οι εργασίες επρόκειτο να ξεκινήσουν κάπου ανάμεσα στα μέσα του 2012 ως τις αρχές του 2014

Επισκόπηση του έργου

Το επίσημο όνομα του έργου είναι "The drilling of an exploration well on the Old Harry Prospect – EL 1105". Η τοποθεσία EL 1105 βρίσκεται μέσα στα όρια του Λαυρεντίου υποθαλάσσιου καναλιού και 80 km από το ακρωτήριο Anguille. Η τοποθεσία του έργου περικλείει περίπου 304 km² και οριοθετείται από τις συντεταγμένες:

48°10'59.740"N, 60°23'56.094"W (ΒΔ γωνία)

48°10'0.084"N, 60°8'57.480"W (ΒΑ γωνία)

48°04'45.681"N, 60°8'57.515"W (ΝΑ γωνία) και

47°58'22.285"N, 60°23'55.732"W (ΝΔ γωνία), ενώ οι προτεινόμενες συντεταγμένες του πηγαδιού είναι: γεωγραφικό πλάτος 48°03'05.294" και γεωγραφικό μήκος 60°23'39.385" (σύμφωνα με το NAD83 datum).

Η όρυξη του πηγαδιού αναμένεται να διαρκέσει 20 – 50 ημέρες, ενώ μερικές επιπλέον εβδομάδες θα διαρκέσουν οι διάφορες δοκιμές και εργαστηριακές αναλύσεις οι οποίες θα δώσουν στοιχεία για την περαιτέρω συνέχιση ή μη του έργου.

Η κινητή μονάδα υποθαλάσσιας διάτρησης (MODU – Mobile Offshore Drilling Unit) δεν έχει καθοριστεί ακόμα και θα μπορούσε να είναι είτε μια ημιβυθιζόμενη εξέδρα είτε πλωτή φορτηγίδα. Η μονάδα θα στελεχωθεί από αριθμό βοηθητικών λέμβων και ελικοπτέρων. Επίσης παράλληλα με την γεωτρητική διαδικασία θα εκτελεστούν και σεισμικές διασκοπήσεις δύο διαστάσεων (προφίλ)



Η τοποθεσία EL 1105 και το προτεινόμενο σημείο εκτέλεσης της γεώτρησης

Ιστορία ερευνητικών δραστηριοτήτων στο Λαυρέντιο κανάλι και στον κόλπο του St. Lawrence

Ο νότιος κόλπος του St. Lawrence καλύπτεται από μια μεγάλη ιζηματογενή λεκάνη περίπου 12 km σε βάθος και πληρεί όλες τις προϋποθέσεις για την φιλοξενία κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου. Στην λεκάνη συναντώνται σε πολλές θέσεις ψαμμιτικά πετρώματα (πιθανοί ταμιευτήρες), σχιστόλιθοι και οργανικά πετρώματα (πιθανή πηγή υδρογονανθράκων – μητρικό πέτρωμα) και πολλοί διαφορετικοί σχηματισμοί που θα μπορούσαν να παίξουν το ρόλο του αδιαπέρατου καλύμματος που θα παγιδεύσει τους υδρογονάνθρακες (cap rocks). Μια πρόσφατη εκτίμηση του Geological Survey of Canada κάνει λόγο για 39 τρισεκατομμύρια κυβικά πόδια φυσικού αερίου και 1,5 δισεκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου στην λεκάνη Maritime που βρίσκεται νότια του κόλπου και περιλαμβάνει και τις γειτονικές περιοχές. Οι εκτιμήσεις αυτές βασίζονται εν μέρει σε προηγούμενες που είχαν ανοιχτεί στην ευρύτερη περιοχή του κόλπου.

Η πρώτη γεώτρηση που ανοίχθηκε στην περιοχή του κόλπου St. Lawrence έλαβε χώρα στον κόλπο Hillsborough της νήσου Prince Edward το 1944 από την εταιρεία Island Development Company. Από το 1944 και μέχρι σήμερα έχουν εκτελεστεί άλλες 9 γεωτρήσεις (οι περισσότερες την δεκαετία του '70 ως τις αρχές της δεκαετίας του '80) και έχουν μελετηθεί αρκετές χιλιάδες χιλιόμετρα με σεισμικές διασκοπήσεις. Εκείνη την εποχή οι εταιρίες έψαχναν κυρίως για πετρέλαιο παρόλο που όλα τα στοιχεία δήλωναν την ισχυρή παρουσία φυσικού αερίου. Από τις 9 γεωτρήσεις λοιπόν που είχαν λάβει χώρα στις 5 δεν βρέθηκαν καθόλου υδρογονάνθρακες, στις 4 βρέθηκαν μόνο μικρές ποσότητες φυσικού αερίου, ενώ μόνο σε μια (East Point E-49) ανακαλύφθηκαν σημαντικά αποθέματα φυσικού αερίου. Η τελευταία γεώτρηση στην περιοχή εκτελέστηκε το 1996 στον κόλπο του St. George με την ονομασία A-36 και βρισκόταν σε 10 km ΝΔ του ακρωτηρίου George και 120 km ΒΑ της τοποθεσίας Old Harry. Η γεώτρηση δεν έδωσε υδρογονάνθρακες και εγκαταλείφτηκε. Ο νότιος κόλπος του St. Lawrence είναι μια τεράστια περιοχή που εκτείνεται περίπου 600 km στη διεύθυνση Δ-Α και 300-400 km στη διεύθυνση Β-Ν. Ωστόσο μόνο 10 υποθαλασσιες γεωτρήσεις έχουν εκτελεστεί και η τοποθεσία Old Harry είναι μια από τις αρκετές ανεξερεύνητες πετρελαιοπιθανές δομές. Η εταιρεία Corridor είχε δραστηριοποιηθεί το προηγούμενο διάστημα στη συλλογή σεισμικών προφίλ της περιοχής (1998-2002) ενώ τον Οκτώβριο του 2010 είχε εκτελέσει και έρευνα γεωλογικής επικινδυνότητας. Τα μέχρι τώρα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά και αν η ύπαρξη υδρογονανθράκων επιβεβαιωθεί από την γεώτρηση που θα εκτελεστεί, τότε αναμένεται το οικονομικό όφελος να είναι μεγάλο.

Το προσωπικό του έργου

Η διαχείριση του έργου θα γίνεται από ένα γραφείο στις επίγειες εγκαταστάσεις στο Newfoundland και Labrador όπου θα λαμβάνονται οι σημαντικές αποφάσεις για τη πορεία του έργου, ενώ την διαχείριση της διαδικασίας της διάτρησης αναλαμβάνει ξεχωριστά ο drilling manager ο οποίος θα βρίσκεται επίσης στο ίδιο γραφείο. Οι επιμέρους εργασίες της διάτρησης θα καθοδηγούνται από τους επιθεωρητές – βοηθούς του. Στις θαλάσσιες εγκαταστάσεις η καθοδηγητική ομάδα αποτελείται από τους senior drilling supervisors, designated offshore installation managers και supply vessels masters.

Εναλλακτικές προτάσεις

Η εναλλακτική για την εκτέλεση του έργου είναι η αλλαγή τους σημείου διάτρησης. Όμως η εταιρία έχει ήδη εξασφαλίσει τα νόμιμα δικαιώματα έρευνας στην περιοχή EL 1105 βγαίνοντας νικήτρια του διαγωνισμού διεκδίκησης ανταγωνιζόμενη με άλλες εταιρίες, και άρα η διαδικασία θα προχωρήσει βάση της αρχικής πρότασης. Όσον αφορά την επιλογή της κινητής μονάδας υποθαλάσσιας διάτρησης (MODU), οι εναλλακτικές είναι δύο: είτε επιλογή ημιβυθιζόμενης εξέδρας, είτε επιλογή πλωτού γεωτρύπανου για την διάτρηση, ενώ έχει ήδη αποκλειστεί η εξέδρα τύπου jack-up. Επίσης, άλλες επιλογές που πρέπει να γίνουν για να ολοκληρωθεί το γεωτρητικό πρόγραμμα, αφορούν τον καθορισμό του ρευστού διάτρησης, την τοποθεσία της βάσης ανεφοδιασμού, την τοποθεσία της βάσης υποστήριξης των ελικοπτέρων, το πρόγραμμα διαχείρισης των αποβλήτων και το χρονοδιάγραμμα των επιμέρους εργασιών.

Mobile offshore drilling units

Θα περιγραφούν και θα ληφθούν υπόψιν δύο τύποι MODU διότι δεν έχουν συγκεντρωθεί ακόμα όλα τα στοιχεία που θα μας οδηγήσουν στην τελική απόφαση. Έτσι, η διάτρηση μπορεί να εκτελεστεί από i) μια υποστηριζόμενη από άγκυρες ημιβυθιζόμενη εξέδρα (π.χ. τύπου GSF Grand Banks), ii) μια DP (Dynamically Positioned) ημιβυθιζόμενη εξέδρα (π.χ. τύπου Eric Raude) ή iii) ένα DP πλωτό γεωτρύπανο (drillship) π.χ. τύπου Deerwater Millemium. Η τελική επιλογή της εξέδρας θα βασιστεί στα χαρακτηριστικά του πηγαδιού, το φυσικό περιβάλλον, το βάθος της θάλασσας, το αναμενόμενο βάθος διάτρησης, τον οικονομικό παράγοντα, την απαιτούμενη φορητότητα της εξέδρας και διάφορους παράγοντες ασφαλείας αλλά και περιβαλλοντικούς.

Μια ημιβυθιζόμενη εξέδρα (semi-submersible) είναι μια εξέδρα η οποία “κάθεται” πλωτές ατσάλινες γέφυρες – αποβάθρες οι οποίες περιέχουν ποσότητες νερού για να εξασφαλίσουν μεγαλύτερη σταθερότητα στη εξέδρα.

Έτσι το κυρίως μέρος της εξέδρας βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας ενώ το υπόλοιπο είναι βυθισμένο. Οι εξέδρες τύπου semi-submersible ρυμουλκούνται μέχρι το σημείο που θα εκτελεστεί η γεώτρηση και εκεί στερεώνονται στο βυθό (με μια σειρά από 8-16 άγκυρες). Για βαθύτερα νερά (300-3000m) κρατιούνται σταθερές από ένα DP (Dynamically Positioned) σύστημα που βασίζεται στη λειτουργία μιας σειράς από μηχανές – προωθητήρες.

Το πλωτό γεωτρύπανο είναι ένα θαλάσσιο σκάφος στο οποίο έχει προσαρμοστεί το γεωτρύπανο με τον υπόλοιπο εξοπλισμό της διάτρησης. Το σκάφος μεταβαίνει στην επιλεγμένη τοποθεσία χρησιμοποιώντας δικό του κινητήρα και κρατείται σταθερό επίσης από ένα σύστημα DP.

Logistic support (υποστηρικτική επιμελητεία)

Στο νησί Labrador θα βρίσκεται η βάση της επιχείρησης και το κέντρο υποστήριξης του έργου. Από εκεί θα γίνονται όλες οι εργασίες που θα εξασφαλίσουν την διαθεσιμότητα της εξέδρας, των υποστηρικτικών σκαφών, των ελικοπτέρων κτλ. Επίσης, θα εξασφαλιστεί η απόκτηση ναυτικής υποστηρικτικής βάσης, δίκτυο τηλεπικοινωνιών και πληροφορίες που έχουν να κάνουν με την πρόγνωση του καιρού και την υφιστάμενη κατάσταση των γειτονικών υδάτων.

Shorebase facilities (παράκτιες εγκαταστάσεις)

Η υπάρχουσα υποδομή του Ατλαντικού Καναδικού Λιμένα μπορεί να αποτελέσει την αφετηρία των υποστηρικτικών σκαφών. Επίσης, οι ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις μπορούν άμεσα να καλύψουν τις ανάγκες για i) χώρους γραφείων, ii) εγκατάσταση γερανού, iii) φύλαξη/αποθήκευση αναλώσιμων (καύσιμα, νερό) και iv) μεταφορά αναλώσιμων. Επιπλέον λιμένες που βρίσκονται πιο κοντά στην περιοχή της γεώτρησης, θα εξεταστούν για την διαθεσιμότητά τους και την ικανότητά τους να καλύψουν τις τρέχουσες ανάγκες.

Marine support vessels/Helicopter support

Τα σκάφη που θα χρησιμοποιηθούν είναι παρόμοιων προδιαγραφών με αυτά που επιχειρούν στην εξέδρα Grand Banks. Τα σκάφη αυτά θα αναλάβουν τις εργασίες ανεφοδιασμού αλλά και θα βρίσκονται σε ετοιμότητα για τυχόν περίπτωση κινδύνου.

Τα ελικόπτερα που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι ειδικά για υπερθαλάσσιες πτήσεις και θα εκτελούν κυρίως δρομολόγια για τον ανεφοδιασμό της εξέδρας αλλά και την μεταφορά του προσωπικού.

Project activities

Το γεωτρύπανο θα ανοίξει ένα πηγάδι στην τοποθεσία EL 1105. Το γεωτρύπανο θα εξοπλίζεται από τα υποστηρικτικά σκάφη που θα έχουν την δυνατότητα αποθήκευσης και μεταφοράς των διατρητικών ρευστών, της σωλήνωσης, νερού, τσιμέντου, καυσίμων κτλ. Υπολογίζεται ότι τα σκάφη θα εκτελούν δύο με τρία δρομολόγια εβδομαδιαίως. Τα ελικόπτερα θα εκτελούν επίσης δύο με τρία δρομολόγια εβδομαδιαίως και θα μεταφέρουν το προσωπικό της εξέδρας και διάφορα ελαφριά φορτία.

Χρονοδιάγραμμα του έργου

Η γεώτρηση θα εκτελεστεί ανάμεσα στα μέσα του 2012 και αρχές του 2014 ανάλογα με την διαθεσιμότητα της εξέδρας και τις σχετικές άδειες που πρέπει να εξασφαλιστούν. Η διάτρηση θα διαρκέσει 20 – 50 ημέρες και πρέπει να γίνει απουσία πάγου στην θάλασσα. Αν εκτελεστούν και διάφορες επιπλέον δοκιμές, τότε η εξέδρα θα παραμείνει για μερικές εβδομάδες ακόμα. Αν οι δοκιμές δώσουν καλά αποτελέσματα τότε θα συνεχιστεί η έρευνα με σεισμικές διασκοπήσεις ή και μια επιπλέον γεώτρηση.

Exploration drilling

Ο στόχος (υποτιθέμενος ταμιευτήρας) στη δομή Old Harry βρίσκεται 850-2000m περίπου κάτω από τον βυθό. Η γεώτρηση θα ξεκινήσει με την διάτρηση του ανώτερου μέρους του πηγαδιού (conductor hole) το οποίο θα φτάσει σε βάθος 90m και θα ακολουθήσει η τοποθέτηση και τσιμέντωση της σωλήνωσης επαφής (conductor casing). Ύστερα με ανάλογη διαδικασία τοποθετείται η επιφανειακή σωλήνωση (surface casing) μέχρι το βάθος των 300-600m. Στην επιφανειακή σωλήνωση θα συνδεθεί η υψηλής πίεσης κεφαλή της γεώτρησης (wellhead) η οποία θα διευκολύνει και την τοποθέτηση του συστήματος BOP. Στις δύο παραπάνω σωληνώσεις θα βασιστεί η δομική ακεραιότητα του υπόλοιπου πηγαδιού και οι απαιτούμενες συνθήκες πίεσης που θα χρειαστούν μέχρι η γεώτρηση να φτάσει στο στόχο. Η γεώτρηση θα προχωρήσει μέχρι τα ανώτερα στρώματα του υποτιθέμενου στόχου και θα εγκατασταθεί η ενδιάμεση σωλήνωση (intermediate casing) σύμφωνα με το τελικό πλάνο του σχεδιασμού. Μέσω της σωλήνωσης αυτής θα βαθύνει περεταίρω το πηγάδι μέχρι τον στόχο όπου και θα γίνει επί τόπου έρευνα για την ύπαρξη υδρογονανθράκων.

- Αν ανακαλυφθεί οικονομικά ωφέλιμο κοίτασμα, τότε θα εγκατασταθεί η παραγωγική σωλήνωση (production casing ή liner) για την μελλοντική εκμετάλλευση ή την εκτέλεση διάφορων δοκιμών
- Αν δεν ανακαλυφθεί (οικονομικά ωφέλιμο) κοίτασμα, τότε δεν θα εγκατασταθεί άλλη σωλήνωση και το πηγάδι θα εγκαταλειφθεί αφού πρώτα

τσιμεντωθεί σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές των Drilling and Production Guidelines (C-NLOPB and CNSOPB 2009)

Vertical seismic profiling

Η καταγραφή του σεισμικού προφίλ εκτελείται σαν μέρος της ερευνητικής διαδικασίας. Ο εξοπλισμός της σεισμικής έρευνας μοιάζει πολύ με τον αντίστοιχο που παράγει σεισμικές καταγραφές 2D ή 3D όμως είναι μικρότερος σε μέγεθος και μπορεί να δουλέψει σε μικρότερης έκτασης περιοχή και για λιγότερο χρόνο (μερικές μέρες). Η αίτηση για χορήγηση άδειας σεισμικής έρευνας κατατίθεται μαζί με την αίτηση για την εκτέλεση της γεώτρησης και προβλέπεται να τηρούνται οι κανονισμοί που προκύπτουν από τις κατευθυντήριες γραμμές του Geophysical, Geological, Environmental and Geotechnical Program Guidelines (C-NLOPB 2008)

Well testing (δοκιμές/αναλύσεις)

Όταν το πηγάδι θα έχει ανοιχτεί ο εξοπλισμός των δοκιμών κατελκύεται μέσα στη σωλήνωση και τα ρευστά των σχηματισμών αφήνονται (ελεγχόμενα) να ρέουν επίσης μέσα στη σωλήνωση μέχρι να έρθουν σε επαφή με τον εξοπλισμό. Ύστερα ο ειδικός αυτός εξοπλισμός ανελκύεται μέχρι την εξέδρα όπου έχουν στηθεί προσωρινές εγκαταστάσεις για τις αναλύσεις, έλεγχο και διάφορες δοκιμές των ρευστών. Τα ρευστά αυτά μπορεί να αποτελούνται από υδρογονάνθρακες (φυσικό αέριο και πετρέλαιο) και νερό. Οι υδρογονάνθρακες διαχωρίζονται από το νερό, αναλύονται και ύστερα καίγονται. Αν υπάρχει νερό ή μόνο νερό τότε αυτό είτε καίγεται είτε τροποποιείται σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές του Offshore Waste Treatment Guidelines (OWTG) (National Energy Board (NEB) et al. 2010) πριν να ριχτεί στη θάλασσα. Ανάλογα με τα αποτελέσματα των αναλύσεων και σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές του Newfoundland Offshore Petroleum Drilling and Production Regulations (SOR/2009-316) αποφασίζεται αν το πηγάδι θα εγκαταλειφτεί ή θα αναπτυχθεί περεταίρω.

Well abandonment/suspension (εγκατάλειψη/διατήρηση του πηγαδιού)

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το πηγάδι μπορεί να διατηρηθεί για μελλοντική χρήση. Αν τελικά αποφασιστεί, τότε το πηγάδι σφραγίζεται με ή χωρίς τη χρήση τσιμέντου σύμφωνα με τους κανονισμούς του Drilling and Production Guidelines (C-NLOPB and CNSOPB 2009). Επίσης, τοποθετείται προστατευτικό κάλυμμα στην κεφαλή της γεώτρησης.

Αν τελικά το πηγάδι εγκαταλειφτεί, η κεφαλή της γεώτρησης απομακρύνεται από τον βυθό, ενώ υπάρχει και η δυνατότητα να εγκαταλειφτεί επί τόπου (αν εξασφαλιστεί η σχετική άδεια). Συνήθως η απομάκρυνση της κεφαλής γίνεται με

την μηχανική κοπή της όμως όπου αυτό είναι αδύνατο χρησιμοποιούνται εκρηκτικά.

Επεξεργασία και απόρριψη αποβλήτων και αέριων εκπομπών

Κάθε απόρριψη αποβλήτων της εξέδρας πρέπει να γίνεται σύμφωνα με το OWTG (Offshore Waste Treatment Guidelines) του Καναδά. Αναλυτικά:

- *Διατρητικός πολφός και θρύμματα.* Αν είναι εφικτό, η λάσπη που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι αποκλειστικά ρευστό με βάση το νερό (water base-mud – WBM). Όμως αν οι συνθήκες το απαιτήσουν θα χρησιμοποιηθεί και ρευστό με βάση το πετρέλαιο (synthetic oil-base mud – SBM). Τα θρύμματα διαχωρίζονται από την λάσπη και αφού μελετηθούν, απορρίπτονται ξανά στη θάλασσα μέσω ενός αγωγού. Η λάσπη ανακυκλώνεται για να χρησιμοποιηθεί όσο περισσότερο γίνεται. Παρόλα αυτά είναι σχεδόν αναπόφευκτο να ποσότητες λάσπης να απορρίπτεται μαζί με τα θρύμματα. Γενικά, μετά τη χρήση της η WBM απορρίπτεται στη θάλασσα και επικάθεται στο βυθό χωρίς μετρήσιμες συνέπειες για το περιβάλλον ενώ η SBM μεταφέρεται στην στεριά για περεταίρω επεξεργασία πριν την απόρριψη.
- *Τσιμέντο.* Κατά τη τσιμεντώση των επιμέρους σωληνώσεων μπορεί να περισσέψει ποσότητα τσιμέντου η οποία για λόγους καλής λειτουργίας του διατρητικού εξοπλισμού δεν επιστρέφει στην επιφάνεια αλλά αφήνεται στον βυθό
- *Νερό των σχηματισμών.* Στα δείγματα υδρογονανθράκων περιέχονται ποσότητες νερού. Το νερό καίγεται/εξατμίζεται (μετά την ανάλυση) μαζί με τους υδρογονάνθρακες. Αν μετά την καύση παραμείνει ποσότητα νερού τότε ή απορρίπτεται επί τόπου είτε μεταφέρεται στη στεριά για απορριφθούν μετά από επεξεργασία.
- *Ανθρωπογενή απόβλητα.* Μια τυπική πλατφόρμα φιλοξενεί περίπου 150 άτομα προσωπικό και τα παραγόμενα απόβλητα υπολογίζονται σε 75m³ την μέρα.
- *Bilge water/deck drainage.* Τα νερά καθαρισμού της εξέδρας θα τροποποιηθούν ώστε να μην υπερβαίνουν την περιεκτικότητα 15 mg/l σε πετρέλαιο πριν απορριφθούν.
- *Cooling water (νερό με εφαρμογή στην ψύξη των διάφορων κινητήρων).* Το νερό αυτό αρχικά αναλύεται και αν χρειαστεί επεξεργάζεται πριν απορριφτεί.
- *Στερεά απόβλητα.* Κατηγοριοποιούνται σε επικίνδυνα και ακίνδυνα (για το περιβάλλον και τον άνθρωπο) και μεταφέρονται στη στεριά.
- *Αέριες εκπομπές.* Προκύπτουν από την λειτουργία όλων των μηχανών που εμπλέκονται στην διατρητική διαδικασία. Οι ποσότητες που θα προκύψουν

δεν είναι ακόμα γνωστές διότι δεν έχουν καθοριστεί ακόμα τα βασικά μηχανήματα του έργου (τύπος εξέδρας, γεωτρύπανο, σκάφη).

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΙΣΗ

Κατά την εκτέλεση του έργου θα παρατηρηθεί επίδραση των επιμέρους εργασιών (απόρριψη ρευστών/στερεών στη θάλασσα και εκπομπές αέριων ρύπων) με το περιβάλλον και συγκεκριμένα με τον αέρα, το νερό, διάφορα είδη οργανισμών υπό εξαφάνιση, τα ψάρια και το περιβάλλον τους, τα αλιευτικά σκάφη, τα θαλάσσια πουλιά, τα θαλάσσια θηλαστικά, τις θαλάσσιες χελώνες κτλ. Όσον αφορά την ευρύτερη περιοχή εγκατάστασης της πλατφόρμας σημειώνεται δεν υπάρχει δεν υπάρχει κάποιο μοναδικό ή σπάνιο οικοσύστημα.

Φυσικό περιβάλλον

Ο κόλπος είναι μια ημικλειστή θάλασσα η οποία ανταλλάσσει αλμυρό νερό με τον Β. Ατλαντικό ωκεανό και τροφοδοτείται με γλυκό νερό από τον ποταμό St. Lawrence. Ο κόλπος καλύπτει μια περιοχή 24000 km² και όγκου 3554 km³ με μέσο βάθος 153 m και μέγιστο βάθος 535 m. Επίσης στον κόλπο παρατηρούνται ρηχές περιοχές με χαρακτηριστική Magledon στα νότια του κόλπου και περιοχές με βαθιά νερά (τάφροι) με χαρακτηριστικό το Λαυρέντιο κανάλι μήκους 1500 km το οποίο ξεκινάει από τις ηπειρωτικές περιοχές και καταλήγει στον Ατλαντικό ωκεανό.

Το κλίμα της περιοχής θεωρείται εύκρατο με την χαμηλότερη θερμοκρασία να σημειώνεται τον Φεβρουάριο (-6,5°C) και την μέγιστη τον Αύγουστο (15°C). Θερμοκρασίες άνω του μηδέν παρατηρούνται όλους τους μήνες εκτός από τον Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο. Όσον αφορά την θερμοκρασία στη επιφάνεια της θάλασσας η μικρότερη θερμοκρασία σημειώνεται επίσης τον Φεβρουάριο (-0,8°C) ενώ η υψηλότερη επίσης τον Αύγουστο και Σεπτέμβριο (~15°C).

Οι κατακρημνίσεις εμφανίζονται με την μορφή βροχής με κάποιες περιπτώσεις συνεχόμενης χιονόπτωσης που συνδέεται με φαινόμενα χαμηλής ορατότητας (ομίχλη). Η μεγαλύτερη ποσότητα κατακρημνισμάτων σημειώνεται τον Δεκέμβριο ενώ η μικρότερη τον Μάρτιο. Ο Οκτώβριος έχει καταγραφεί ως ο μήνας με τις περισσότερες μέρες (1,6) με βροχή που ξεπέρασε τα 25 mm.

Οι μήνες Οκτώβριος, Σεπτέμβριος, Νοέμβριος είναι οι μήνες με τις περισσότερες ώρες όπου η ορατότητα ξεπερνάει τα 9 km.

Οι άνεμοι παρατηρούνται ισχυρότεροι το φθινόπωρο και το χειμώνα με αρκετούς κυκλώνες να περνούν μέσα ή δίπλα από τον κόλπο. Ισχυροί άνεμοι

υψηλής ταχύτητας (24,5 – 32,6 m/s) παρατηρούνται τον Ιανουάριο και Φεβρουάριο ισχυροί άνεμοι χαμηλότερης ταχύτητας (17,2 – 24,4 m/s) παρατηρούνται όλους τους μήνες εκτός από τον Ιούλιο και Αύγουστο.

Βιολογικό περιβάλλον

Οι περισσότερες πληροφορίες έχουν πηγή τα

- Western Newfoundland and Labrador Offshore Area Strategic Environmental Assessment Amendment Report (LGL 2007)
- Environmental Assessment of the Old Harry Prospect Geohazard Program 2010-2020 (Stantec 2010).

Table 4.1 Schedule 1 Species at Risk that could Potentially Interact with the Project

Species	SARA Schedule 1 Status
Blue Whale (<i>Balaenoptera musculus</i>)	Endangered
North Atlantic Right Whale (<i>Eubalaena glacialis</i>)	Endangered
Leatherback Sea Turtle (<i>Dermochelys coriacea</i>)	Endangered
Northern Bottlenose Whale (<i>Hyperoodon ampullatus</i>), Scotian Shelf population	Endangered
Ivory Gull (<i>Pagophila eburnea</i>)	Endangered
Eskimo Curlew (<i>Numenius borealis</i>)	Endangered
Piping Plover <i>melodus</i> subspecies (<i>Charadrius melodus melodus</i>)	Endangered
Roseate Tern (<i>Sterna dougallii</i>)	Endangered
Beluga Whale (<i>Delphinapterus leucas</i>), (St. Lawrence Estuary population)	Threatened
Northern Wolffish (<i>Anarhichas denticulatus</i>)	Threatened
Spotted Wolffish (<i>Anarhichas minor</i>)	Threatened
Peregrine Falcon <i>anatum</i> subspecies (<i>Falco peregrines anatum</i>)	Threatened
Atlantic (striped) Wolffish (<i>Anarhichas lupus</i>)	Special Concern
Fin Whale (<i>Balaenoptera physalus</i>), (Atlantic population)	Special Concern
Barrow's Goldeneye (<i>Bucephala islandica</i>), (Eastern population)	Special Concern
Harlequin Duck (<i>Histrionicus histrionicus</i>), (Eastern population)	Special Concern

Είδη υπό εξαφάνιση.

Table 4.2 Species Designated 'At Risk' by the Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada that could Potentially Interact with the Project

Species	COSEWIC Designation
Atlantic Cod (<i>Gadus morhua</i>), (Laurentian North Population)	Endangered
Atlantic Cod, (Laurentian South Population)	Endangered
Atlantic Cod, (Newfoundland and Labrador Population)	Endangered
Atlantic Cod), (Southern Population)	Endangered
Winter Skate (<i>Leucoraja ocellata</i>), (Southern Gulf of St. Lawrence population)	Endangered
Roundnose Grenadier (<i>Coryphaenoides rupestris</i>)	Endangered
Porbeagle Shark (<i>Lamna nasus</i>)	Endangered
White Shark (<i>Carcharodon carcharias</i>), (Atlantic population)	Endangered
Deepwater Redfish (<i>Sebastes mentella</i>), (Gulf of St. Lawrence - Laurentian Channel population)	Endangered
Loggerhead Sea Turtle (<i>Caretta caretta</i>)	Endangered
Atlantic Salmon (<i>Salmo salar</i>), (Anticosti island population)	Endangered
Horned Grebe (<i>Podiceps auritus</i>) (Magdalen Islands population)	Endangered
Atlantic Salmon (South Newfoundland population)	Threatened
Deepwater Redfish (Northern Population)	Threatened
Acadian Redfish (<i>Sebastes fasciatus</i>), (Atlantic population)	Threatened
Shortfin Mako (<i>Isurus oxyrinchus</i>)	Threatened
American Plaice (<i>Hippoglossus platessoides</i>), (Maritime population)	Threatened
American Plaice (Newfoundland and Labrador Population)	Threatened
Striped Bass (<i>Morone saxatilis</i>), (Southern Gulf of St. Lawrence population)	Threatened
Cusk (<i>Brosme brosme</i>)	Threatened
Roughhead Grenadier (<i>Macrourus berglax</i>)	Special Concern
Spiny Dogfish (<i>Squalus acanthias</i>), (Atlantic population)	Special Concern
Blue Shark (<i>Prionace glauca</i>), (Atlantic population)	Special Concern
Basking Shark (<i>Cetorhinus maximus</i>), (Atlantic population)	Special Concern
American Eel (<i>Anguilla rostrata</i>)	Special Concern
Atlantic Salmon (Gaspé-Southern Gulf of St. Lawrence population)	Special Concern
Atlantic Salmon (Quebec Eastern North Shore population)	Special Concern
Harbour Porpoise (<i>Phocoena phocoena</i>), (Northwest Atlantic population)	Special Concern
Killer Whale (<i>Orcinus orca</i>)	Special Concern

Ιχθύες και το περιβάλλον τους

Common Name	Latin Name	Relative Level of Occurrence in the Project Area	Potential Presence in the Project Area
Porbeagle Shark	<i>Lamna nasus</i>	Low (anticipated)	More common in Canadian waters in spring, summer and fall.
Smooth Skate	<i>Raja senta</i>	Moderate	Year round
Thorny Skate	<i>Raja radiata</i>	High	Year round
Winter Skate	<i>Raja ocellata</i>	Low	Year round
American Plaice	<i>Hippoglossus platessoides</i>	High	Year round
Atlantic Cod	<i>Gadus morhua</i>	High	Year round
Atlantic Halibut	<i>Hippoglossus hippoglossus</i>	Moderate	Migrate to shallow waters in summer, return for winter
Atlantic Hookear Sculpin	<i>Artediellus atlanticus</i>	Low	Year round; Fall spawning
Atlantic Softpout	<i>Melanostigma atlanticum</i>	Moderate	Year round
Atlantic Wolffish	<i>Anarhichas lupus</i>	Low	Year round; Fall spawning
Black Dogfish	<i>Centroscyllium fabricii</i>	Moderate	Year round
Checker Eelpout	<i>Lycodes uahi</i>	Low	Year round
Deepwater Redfish	<i>Sebastes mentella</i>	High	Year round; Fall spawning
Acadian Redfish	<i>Sebastes fasciatus</i>	High	Year round; Fall spawning
Fourbeard Rockling	<i>Enchelyopus cimbrius</i>	Low	Year round
Greater Eelpout	<i>Lycodes esmarki</i>	Low	Year round
Greenland Halibut	<i>Reinhardtius hippoglossoides</i>	High	Year round
Haddock	<i>Melanogrammus aeglefinus</i>	Low	Move to deeper water in winter; inhabit shallow banks in summer
Longfin Hake	<i>Urophycis chesteri</i>	High	Year round; Fall spawning
Lumpfish	<i>Cyclopterus lumpus</i>	Moderate	Migrate to shallow waters to spawn, return during Fall
Marlin-spike Grenadier	<i>Nezumia bairdi</i>	High	Year round; Fall spawning
Monkfish (goosefish)	<i>Lophius americanus</i>	Moderate	Year round
Northern Wolffish	<i>Anarhichas denticulatus</i>	Low	Year round; Fall spawning
Polar Sculpin	<i>Coltunculus microps</i>	Low	Year round

Common Name	Latin Name	Relative Level of Occurrence in the Project Area	Potential Presence in the Project Area
Pollock	<i>Pollachius virens</i>	Low	Migrate inshore during summer, winter offshore; Fall spawning
Roundnose Grenadier	<i>Coryphaenoides rupestris</i>	Low	Year round; Fall spawning
Roughhead Grenadier	<i>Macrourus berglax</i>	Moderate	Year round
Sea Raven	<i>Hemitripterus americanus</i>	Low	Year round; Fall spawning
Shortfin Mako	<i>Isurus oxyrinchus</i>	Low (anticipated)	Year round
Silver Hake	<i>Merluccius bilinearis</i>	Low	Year round
Spiny Dogfish	<i>Squalus acanthias</i>	Low	Present off southwestern NL in June, moves to southern Labrador late summer
Spotted Wolffish	<i>Anarhichas minor</i>	Low	Year round; Fall spawning
Threebeard Rockling	<i>Gaidropsarus ensis</i>	Low	Year round
White Barracudina	<i>Notolepis rissoi</i>	Moderate	Year round
White Hake	<i>Urophycis tenuis</i>	High	Year round
Windowpane Flounder	<i>Scophthalmus aquosus</i>	Low	Year round
Witch Flounder (greysole)	<i>Glyptocephalus cynoglossus</i>	High	Year round
Wrymouth	<i>Cryptacanthodes maculatus</i>	Low	Year round
Yellowtail Flounder	<i>Limanda ferruginea</i>	Low (anticipated)	Move from shallow to deep waters in the Fall

Θαλάσσια πτηνά

Παρατηρούνται τα είδη:

(*Larus marinus*), Herring Gull (*Larus argentatus*), Ring-billed Gull (*Larus delawarensis*), Blackheaded Gull (*Larus ridibundus*), Caspian Tern (*Sterna caspia*),

Common Tern (*Sterna hirundo*), Arctic Tern (*Sterna paradisaea*) and Leach's Storm-Petrel (*Oceanodroma leucorhoa*), (Morus bassanus), Great Cormorant (*Phalacrocorax carbo*), Double-crested Cormorant (*Phalacrocorax auritus*), Blacklegged Kittiwake (*Rissa tridactyla*), Atlantic Puffin (*Fratercula arctica*), Black Guillemot (*Cepphus grille*), Common Murre (*Uria aalge*), Thick-billed Murre (*Uria lomvia*), Razorbill (*Alca torda*).

Θαλάσσια θηλαστικά και θαλάσσιες χελώνες

Table 4.4 Marine Mammals and Sea Turtles Found Within or Near the Project Area

Common Name	Latin Name	Potential Presence in the Project Area
Mysticetes (Toothless or Baleen Whales)		
North Atlantic Right Whale	<i>Eubalaena glacialis</i>	Rare
Minke Whale	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Common
Fin Whale	<i>Balaenoptera physalus</i>	Common
Sei Whale	<i>Balaenoptera borealis</i>	Data Deficient
Blue Whale	<i>Balaenoptera musculus</i>	Uncommon
Humpback Whale	<i>Megaptera novaeangliae</i>	Common
Odontocetes (Toothed Whales)		
Harbour Porpoise	<i>Phocoena phocoena</i>	Common
Atlantic White-sided Dolphin	<i>Lagenorhynchus acutus</i>	Common
White-beaked Dolphin	<i>Lagenorhynchus albirostris</i>	Common
Long-finned Pilot Whale	<i>Globicephala melas</i>	Common
Killer Whale	<i>Orcinus orca</i>	Uncommon
Beluga	<i>Delphinapterus leucas</i>	Rare

Common Name	Latin Name	Potential Presence in the Project Area
Northern Bottlenose Whale	<i>Hyperoodon ampullatus</i>	Uncommon
Sperm Whale	<i>Physeter macrocephalus</i>	Common
Common (short-beaked) Dolphin	<i>Delphinus delphis</i>	Common
Pinnipedeas (Seals)		
Harbour Seal	<i>Phoca vitulina</i>	Uncommon
Grey Seal	<i>Halichoerus grypus</i>	Common
Harp Seal	<i>Phoca groenlandica</i>	Common
Hooded Seal	<i>Cystophora cristata</i>	Common
Sea Turtles		
Leatherback Sea Turtle	<i>Dermochelys coriacea</i>	Seasonally Common
Loggerhead Sea Turtle	<i>Caretta caretta</i>	Uncommon
Kemp's Ridley Sea Turtle	<i>Lepidochelys kempii</i>	Very Rare

Ευαίσθητες περιοχές

Οι περιοχές στον κόλπο που έχουν χαρακτηριστεί ως EBSA (ecologically and biologically significant areas) είναι οι:

- το δυτικό ακρωτήριο του Breton
- ο κόλπος του St. George
- ο πορθμός του Northumberland
- το νότιο περιθώριο του Λαυρέντιου καναλιού
- η ΝΔ περιοχή του κόλπου
- η εκβολή του ποταμού
- το δυτικό μέρος της νήσου Anticosti
- το βόρειο μέρος της νήσου Anticosti
- το στενό πέρασμα της νήσου Belle
- η ανατολική ακτή του Newfoundland.

Δημόσια διαβούλευση

Η εταιρία σκοπεύει να ξεκινήσει ένα κύκλο διαβουλεύσεων με διάφορους τοπικούς φορείς με στόχο την ενημέρωσή τους αλλά και για να διαπιστώσει κατά πόσο η επένδυση είναι αποδεκτή για τις τοπικές κοινότητες και να

συζητηθούν τυχόν ανησυχίες των δύο πλευρών. Η εταιρία ανάμεσα σε άλλους φορείς θα συναντηθεί και με τους:

- (DFO) Department of Fisheries and Oceans (τμήμα αλιείας και ωκεανών της κυβέρνησης του Καναδά)
- NEB (National Energy Board - ανεξάρτητη οικονομική ρυθμιστική υπηρεσία της κυβέρνησης του Καναδά)
- Διάφορους εκλεγμένους αντιπροσώπους των Newfoundland, Labrador και Quebec
- Διάφορους πολιτικούς αρχηγούς και σωματεία αλιέων από όλη την περιοχή.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Project Description for the Drilling of an Exploration Well on the Old Harry Prospect – EL 1105 (February 21, 2011)

PETROLEUM ENGINEERING HANDBOOK Larry W. Lake, Editor-in-Chief, Volume II
DRILLING ENGINEERING Robert F. Mitchell, Editor