



**ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΣΕ ΒΑΘΕΙΑ ΚΕΚΛΙΜΕΝΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ**

**CASING DESIGN OF A DEEP INCLINED WELL FOR HYDROCARBON
PRODUCTION**

ΦΟΙΤΗΤΗΣ

Πορφυράκης Μανώλης

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ

Δρ. Νεκτάριος Βιδάκης

Δρ. Μάρκος Πετούσης

Δρ. Βασίλης Γαγάνης

ΣΕΠΤΕΜΒΡΗΣ 2016



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την εκπόνηση και την επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Καθηγητές μου κύριο Μάρκο Πετούση και κύριο Νεκτάριο Βιδάκη καθώς και τον Καθηγητή κύριο Βασίλη Γαγάνη από το τμήμα Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης για την συνεργασία του και την πολύτιμη βοήθειά του.

Ιδιαίτερως θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου αφού δίχως την στήριξή τους δεν θα μπορούσα να βρίσκομαι και να περατώνω τις σπουδές μου στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του ΤΕΙ Κρήτης.



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Καθώς οι ενεργειακές απαιτήσεις σε παγκόσμια κλίμακα συνεχίζουν να αυξάνονται με λιγνιώδη ρυθμό, η ανάγκη παραγωγής υδρογονανθράκων καθίσταται καθημερινά πιο επιτακτική. Δεδομένου ότι μετά από 150 χρόνια συνεχούς παραγωγής τα «εύκολα» ανακτήσιμα αποθέματα έχουν πλέον εξαντληθεί, οι εναπομείναντες προς εκμετάλλευση ταμειυτήρες βρίσκονται σε μεγάλα βάθη, συχνά σε θαλάσσια περιβάλλοντα.

Για την παραγωγή των περιεχόμενων υδρογονανθράκων απαιτείται η διάνοιξη βαθέων γεωτρήσεων, συχνά σε βάθος μεγαλύτερο των 20,000', οι οποίες πραγματοποιούνται τμηματικά, σε τρία έως έξι στάδια. Σε κάθε στάδιο η διάτρηση γίνεται με κοπτικά ίδια διαμέτρου έτσι ώστε η διάμετρος του φρέατος να είναι σταθερή καθ' όλο το μήκος του σταδίου, ενώ στη συνέχεια τοποθετείται χαλύβδινος σωλήνας υψηλής αντοχής για την προστασία της γεώτρησης από την κατάρρευση των τοιχωμάτων. Ο σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση της τοποθετούμενης χαλύβδινης επένδυσης (casing) αποτελεί ένα από τα πλέον σύνθετα προβλήματα σχεδιασμού στο χώρο των βαθέων γεωτρήσεων καθότι είναι δύσκολος ο προσδιορισμός της εντατικής κατάστασης της επένδυσης. Επιπρόσθετα, ο υπολογισμός των ορθών και διατμητικών τάσεων καθώς και αυτός της δυσμενέστερης φόρτισης απαιτούν σύνθετους υπολογισμούς. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετάται η τοποθέτηση επένδυσης σε μια βαθιά κεκλιμένη γεώτρηση παραγωγής υδρογονανθράκων. Με δεδομένα τη χάραξη της γεώτρησης (path) και τις επικρατούσες πιέσεις πόρων και θραύσης των πετρωμάτων καταρχάς εκτιμώνται τα βέλτιστα βάθη των επιμέρους σταδίων. Στη συνέχεια, προσδιορίζονται τα δυσμενέστερα πιθανά σενάρια (worst case scenaria) φορτίσεων στις οποίες θα μπορούσε να υποβληθεί η επένδυση κάθε σταδίου. Τέλος, πραγματοποιείται ο προσδιορισμός του τύπου και η διαστασιολόγηση των σωληνώσεων επένδυσης λαμβάνοντας επιπρόσθετα υπόψη τους απαιτούμενους συντελεστές ασφαλείας προκειμένου να αντιμετωπιστεί η αναπόφευκτη αβεβαιότητα των παραμέτρων σχεδιασμού.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Γεωτρήσεις πετρελαίου, Σωλήνωση, Διατρητικός εξοπλισμός, Σχεδιασμός γεώτρησης, Κατευθυντικές γεωτρήσεις,



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ABSTRACT

As energy demand worldwide continues to grow at a breakneck pace, the need for production of hydrocarbons is becoming more urgent. Given that after 150 years of continuous production of the "easy" recoverable reserves have been exhausted, the remaining exploitable reservoirs are now in great depths, often in marine environments.

For the production of hydrocarbons is required drilling of deep boreholes, often deeper than 20,000', which are performed partially, in three to six stages. At each stage the perforation is made by cutting the same diameter so that the diameter of the shaft to remain constant throughout the length of the stage. Next is a placed high-strength steel tube to protect the borehole from collapse.

The design and dimensioning of the steel liner (casing) to be installed, is one of the most complex design problems in the field of deep drilling because it is difficult to determine the stress condition of the coating. In addition, the calculation of normal and shear stress as well as the worst charge require complex calculations.

In this thesis, is studied the placement of a case in a deep inclined hydrocarbon production drilling. Given the design of drilling (path) and the prevailing pore pressure and fracture rocks, first are estimated the optimal depths of the individual stages. Then, a determination is made of the worst possible scenarios (worst case scenaria) loads, which could be subjected on the casing of each stage. Lastly, is carried out the determination of the type and the dimensioning of the lining pipes, taking additionally into consideration the required safety factors, in order to address the inevitable uncertainty of design parameters.

KEYWORDS: Drilling engineering, Petroleum engineering, Tubing, Drilling well, Casing design, Directional drilling,



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1 Υδρογονάνθρακες	7
1.2 Έρευνες για εντοπισμό υδρογονανθράκων	8
1.3 ΑΟΖ - Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	12
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΣ	12
2.1 Γεώτρηση.....	12
2.2 Είδη Γεώτρησης.....	13
2.3 Ακολουθία Ροής Γεώτρησης	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	17
ΣΩΛΗΝΩΣΗ	17
3.1 Σωλήνωση.....	17
3.2 Τύποι Σωλήνωσης	19
3.3 Διαδικασία Σωλήνωσης και εξοπλισμός	20
3.4 Χαρακτηριστικά της σωλήνωσης	25
3.5 Σχεδιασμός της σωλήνωσης.....	28
3.5.1 Στάδια σχεδιασμού	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	31
ΚΕΚΛΙΜΕΝΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗ	31
4.1 Εισαγωγή – Ορισμός	31
4.2 Γεωμετρικοί παράγοντες τροχιάς	32
4.3 Βασικοί τύποι τροχιάς.....	37
4.4 Εφαρμογές.....	40
4.5 Μηχανολογικός Εξοπλισμός	47
4.6 Σχεδιασμός Κεκλιμένων – Οριζόντιων Γεωτρήσεων.....	54
4.6.1 Σχεδιασμός τροχιάς Build and Hold	55



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

4.6.2 Υπολογισμός της έντασης του Dog-Leg	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	58
ΜΕΛΕΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ	58
5.1 Δεδομένα.....	58
5.2 Χάραξη διαδρομής	61
5.3 Βήματα διαδικασίας επιλογής σωλήνωσης.....	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	84
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	84
6.1 Γενικά συμπεράσματα για τις κεκλιμένες γεωτρήσεις	84
6.2 Γενικά Συμπεράσματα για την επιλογή και τον σχεδιασμό σωληνώσεων	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	86



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Υδρογονάνθρακες

Οι υδρογονάνθρακες είναι χημικές ενώσεις οι οποίες αποτελούνται από άτομα άνθρακα και υδρογόνου. Συνήθως βρίσκονται αποθηκευμένα σε πορώδη πετρώματα στα ανώτερα στρώματα του φλοιού της γης. Οι υδρογονάνθρακες σχηματίζουν τρεις τύπου μοριακών δομών:

1. Ευθείας αλυσίδας
2. Διακλαδωμένης αλυσίδας
3. Δακτυλίου

Χωρίζονται επίσης σε κορεσμένους, οι οποίοι είναι γνωστοί με τον όρο αλκάνια ή παραφίνες, και σε ακόρεστους οι οποίοι είναι γνωστοί με τον όρο αλκένια ή ολεφίνες.

Εξαιτίας του ότι στην μάζα τους έχουν βρεθεί οργανικές ύλες, οι επιστήμονες έχουν οδηγηθεί στο συμπέρασμα ότι η προέλευση των υδρογονανθράκων προήλθε από την αποσύνθεση οργανικών υλών, υπό την επίδραση αναερόβιων βακτηρίων και υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών.

Η πλειοψηφία των υδρογονανθράκων που χρησιμοποιείται σήμερα, βρίσκονται σε φυσικά αποθέματα φυσικού αερίου και αργού πετρελαίου, τα οποία περιέχουν μίγματα ποικίλων υδρογονανθράκων.

Χρησιμοποιούνται ευρέως για την παραγωγή ενέργειας μέσω της διαδικασίας της καύσης, για την κατασκευή πλαστικών υλικών, για την ασφαλτόστρωση στην οδοποιία καθώς και στην παραγωγή υλικών όπως η παραφίνη κ.α.



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

1.2 Έρευνες για εντοπισμό υδρογονανθράκων

Τα τελευταία χρόνια, γίνεται λόγος για την ύπαρξη και τις έρευνες για τον εντοπισμό μεγάλων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων, δηλαδή πετρελαίου και φυσικού αερίου στην Ελλάδα. Έχει μάλιστα δοθεί η άδεια σε ελληνικές και ξένες εταιρίες να προχωρήσουν στην έρευνα καταρτίζοντας χάρτες με τις περιοχές που εκτιμάται πως υπάρχει πετρέλαιο και φυσικό αέριο, με σκοπό να ξεκινήσουν εργασίες γεώτρησης και άντλησης των υδρογονανθράκων που θα εντοπιστούν.

Βέβαια, οι έρευνες για έναν τέτοιο εντοπισμό θα χρειαστούν αρκετό χρόνο για να ολοκληρωθούν πριν δοθεί η άδεια για την άντληση του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Η καθυστέρηση αυτή δεν οφείλεται στη διάρκεια της διαδικασίας έρευνας αλλά κυρίως στις καθυστερήσεις που θα προκύψουν από τη γραφειοκρατία και την αδράνεια του κρατικού μηχανισμού. Παρόλα αυτά οι έρευνες αργά ή γρήγορα θα ξεκινήσουν.

Τι αναζητείται όμως στις έρευνες για εντοπισμό υδρογονανθράκων; Έξι βασικά στοιχεία είναι αυτά που αναζητούνται στην έρευνα για εντοπισμό πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Το πρώτο είναι το σημείο στο οποίο βρίσκονται τα κοιτάσματα των υδρογονανθράκων. Αυτή τη στιγμή οι έρευνες στρέφονται στην περιοχή της δυτικής Ελλάδας, στο Ιόνιο. Υπάρχουν ερευνητικές εταιρίες που έχουν τη δυνατότητα βάσει της τεχνογνωσίας και του εξοπλισμού τους να εντοπίσουν το σημείο που βρίσκονται τα κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου με ακρίβεια από απόσταση 50 έως 100 χιλιόμετρα μακριά.

Δεύτερο στοιχείο για το οποίο γίνεται αναζήτηση κατά τον εντοπισμό κοιτάσματος πετρελαίου ή φυσικού αερίου είναι η έκταση που καταλαμβάνει το κοιτάσμα που έχει εντοπιστεί ορίζοντας με ακρίβεια το εμβαδόν του. Αυτό το στοιχείο καθορίζει επίσης τις δικαιοδοσίες των όμορων κρατών για το συγκεκριμένο κοιτάσμα.

Ένα επόμενο στοιχείο που ελέγχεται για ένα συγκεκριμένο κοιτάσμα υδρογονανθράκων είναι το αν συνδέεται με άλλα γειτονικά κοιτάσματα και σε πιο υψόμετρο, δηλαδή σε ποιο βάθος, βρίσκεται το κάθε ένα από αυτά.



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Τέταρτο σημείο για τον καθορισμό ενός κοιτάσματος πετρελαίου ή φυσικού αερίου είναι η εκτιμώμενη ποσότητα του (για το πετρέλαιο σε βαρέλια), κάτι που θα οδηγήσει σε συμπεράσματα σχετικά με το συμφέρον της συγκεκριμένης επένδυσης για ανάπτυξη γεωτρήσεων και άντληση.

Πέμπτο στοιχείο που χρειάζεται να εντοπιστεί και να καθοριστεί είναι κατά πόσον το συγκεκριμένο κοίτασμα είναι καθαρό ή αναμεμιγμένο με άμμο. Η διαδικασία καθαρισμού στοιχίζει πάρα πολύ, τόσο μάλιστα που θα μπορούσε να καταστήσει την εξόρυξη ασύμφορη. Αυτό είναι ένα στοιχείο που επηρεάζει καταλυτικά τις τελικές αποφάσεις για συνέχιση ή διακοπή της διαδικασίας.

Τελευταίο στοιχείο, αλλά όχι λιγότερο σημαντικό, είναι κατά πόσον η διαδικασία εξόρυξης, δηλαδή γεώτρησης και άντλησης θα επηρεάσει τη σεισμική δραστηριότητα της περιοχής εντοπισμού του κοιτάσματος. Αυτό χρειάζεται να εξεταστεί αν λάβουμε υπόψη τη μέθοδο εξόρυξης που ονομάζεται «υδραυλική ρωγμάτωση». Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, αφού το γεωτρύπανο σπάσει τα πετρώματα, διοχετεύεται με πίεση «βρώμικο» νερό, το οποίο ανοίγει τους πόρους των πετρωμάτων διευκολύνοντας τη διαδικασία άντλησης. Η πίεση αυτή λοιπόν που ασκείται στα πετρώματα, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, είναι δυνατόν να ενεργοποιήσει τη σεισμική δραστηριότητα της περιοχής απειλώντας τους κατοίκους της περιοχής. Αυτό όμως δεν ισχύει στην Ελλάδα καθότι δεν προβλέπεται σε κανένα πλάνο ρωγμάτωσης.



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

1.3 ΑΟΖ - Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη

Η Ελλάδα βρίσκεται ανάμεσα στις χώρες που το υπέδαφός τους φιλοξενεί κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου ή αλλιώς Υδρογονανθράκων. Αυτό, εκτός των άλλων έχει καταστήσει την Ελλάδα πόλο έλξης διεθνών πετρελαϊκών εταιριών για έρευνες σε κοιτάσματα και γεωτρήσεις, ήδη από το 1903. Το Ελληνικό δημόσιο όμως μόνο μετά το 1960 ξεκίνησε να διενεργεί έρευνες και γεωτρήσεις για υδρογονάνθρακες.

Η πρώτη και πιο σοβαρή περίπτωση έρευνας και γεωτρήσεων για πετρέλαιο που ξεκίνησε στην Ελλάδα, ήταν στα κοιτάσματα του Πρίνου στη θαλάσσια περιοχή της Θάσου το 1977. Γνωστή είναι από την πολιτική ιστορία του τόπου η περίπτωση του «Σεισμίκ» και της παραλίγο σύρραξης με την Τουρκία, που συνδέεται με τις συγκεκριμένες έρευνες για υδρογονάνθρακες στον Πρίνο.

Αν και το ΥΠΕΚΑ έχει προκηρύξει διαγωνισμούς για έρευνες υδρογονανθράκων στον Ελλαδικό χώρο, οι πιο πετρέλαιο-πιθανές περιοχές, στα ανατολικά και τα νότια, δεν αγγίζονται και όλη η ιστορία στο προσκήνιο, έχει να κάνει με την ΑΟΖ.

Όμως τι είναι η ΑΟΖ και πως οριοθετείτε και λειτουργεί; ΑΟΖ ή Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη είναι μια θαλάσσια περιοχή που διεκδικούν τα κράτη που βρίσκονται γύρω από αυτήν. Το πλάτος της είναι μέχρι 200 ναυτικά μίλια σε ανοιχτή θάλασσα ή διαφορετικά ορίζεται το όριό της στη μέση μεταξύ δύο χωρών. Αν και ο όρος «Υφαλοκρηπίδα» είναι σχετικός, δεν συμπίπτει. Γιατί ενώ η υφαλοκρηπίδα είναι μόνο ο βυθός και το θαλάσσιο υπέδαφος, η ΑΟΖ περιλαμβάνει επίσης τη θαλάσσια στήλη και την επιφάνεια πάνω από την υφαλοκρηπίδα.

Ενώ δε η υφαλοκρηπίδα υπάρχει σαν δικαίωμα κάθε κράτους, χωρίς να χρειάζεται να την οριοθετήσει, η ΑΟΖ υφίσταται μόνον εφόσον το κάθε κράτος την οριοθετήσει, βάσει των Διεθνών κανόνων φυσικά και όχι αυθαίρετα.

Η δε οριοθέτηση της ΑΟΖ πραγματοποιείται όταν το κράτος τη διακηρύξει. Αν η ΑΟΖ όμως εμπλέκει και άλλα όμορα κράτη, μαζί με τη διακήρυξη, απαιτείται και η συμφωνία των υπολοίπων παρακείμενων στην ΑΟΖ κρατών και εδώ αρχίζει το πρόβλημα της Ελληνικής ΑΟΖ. Στην περίπτωση που η συμφωνία των γύρω κρατών δεν μπορεί να



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

εξασφαλιστεί, η μόνη λύση που μπορεί να δοθεί δεν είναι νομική αλλά οικονομική και πολιτική, μέσω στρατηγικών συμμαχιών και οικονομικών συνεργασιών. Επειδή καμία πετρελαϊκή εταιρία δεν προτίθεται να επενδύσει σε μια περιοχή που τα πράγματα δεν είναι σαφή αλλά υπάρχει ένταση και αβεβαιότητα. Οι εταιρίες αυτές αποφεύγουν σθεναρά τις περιοχές που διεκδικούνται από περισσότερα κράτη και τα πράγματα βάσει διεθνούς δικαίου δεν είναι ξεκαθαρισμένα.



Εικόνα 1: Όρια της Ελληνικής ΑΟΖ στην Ανατολική Μεσόγειο



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΣ

2.1 Γεώτρηση

Η γεώτρηση υδρογονανθράκων αποτελεί μία πολύπλοκη και απαιτητική διαδικασία. Ο τύπος της γεώτρησης, ο σκοπός για τον οποίο αυτή εκτελείται, η τοποθεσία στην οποία βρίσκεται, το βάθος στο οποίο βρίσκεται ένα κοιτάσμα καθώς και η περιπλοκότητα της όλης διαδικασίας εξόρυξης κοιτασμάτων, αποτελούν ένα σύμπλεγμα περίπλοκων διαδικασιών που απαιτούνται για την ασφαλή και ορθή εξόρυξη ενός κοιτάσματος.

Ο προγραμματισμός που απαιτείται για την κατασκευή και την λειτουργία μίας γεώτρησης, πρέπει να είναι αναλυτικός και εκτενής. Ο συνδυασμός της γνώσης, της διαθέσιμης τεχνολογίας αλλά και της τεχνολογικής εμπειρίας, αποτελούν βασικούς παράγοντες για την εκπόνηση ενός επιτυχημένου γεωτρητικού έργου.

Η επένδυση σε ένα εγχείρημα όπως η εξόρυξη κοιτασμάτων πετρελαίου, ενέχει αυξημένο κόστος, τόσο σε εξοπλισμό όσο και στην στελέχωση του εξειδικευμένου προσωπικού που θα συντελέσουν στην ανάπτυξη ενός ασφαλούς, οικονομικού και άρτιου από τεχνικής πλευράς έργου.

Ο σχεδιασμός της ανάπτυξης και της εκτέλεση ενός έργου με τρόπο τέτοιο ώστε να μην υπάρχει κανένας κίνδυνος, είναι σχεδόν αδύνατη εξαιτίας της ασάφειας του περιβάλλοντος στο οποίο εκτελείται. Η πρόβλεψη όλων των παραμέτρων που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την εκτέλεση του έργου είναι αδύνατη. Το ίδιο ακριβώς ισχύει και για την ύπαρξη μιας συστηματικής προεργασίας, η οποία θα είναι σε θέση να εντοπίζει και να απομονώνει τα διάφορα εν δυνάμει προβλήματα, καθώς αποτελεί ασύμφορη επιλογή εξαιτίας του υψηλού κόστους.



2.2 Είδη Γεώτρησης

Γεωτρήσεις εκτελούνται τόσο για τον εντοπισμό νέων κοιτασμάτων πετρελαίου όσο και για την εξόρυξη τους. Ανάλογα με τον σκοπό για τον οποίο εκτελείται μια γεώτρηση, υπάρχει και ο ανάλογος τύπος γεώτρησης.

Ανάλογα με τον σκοπό μιας γεώτρησης έχουμε τα εξής είδη φρεατίων:

1. Εξερευνητικά

- Wildcat: Αποκαλείται η διάνοιξη φρέατος για την διερεύνηση ύπαρξης ή μη, κοιτάσματος πετρελαίου ή φυσικού αερίου, σε μια περιοχή η οποία δεν διαθέτει προηγούμενα ιστορικά στοιχεία όρυξης και δεν έχει εξερευνηθεί.
- Appraisal: Αποτελεί το επόμενο βήμα μετά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του εξερευνητικού φρεατίου. Ονομάζεται φρέαρ αξιολόγησης και είναι αυτό που παρέχει πληροφορίες όπως η έκταση ενός κοιτάσματος, η ποιότητά του κ.α.
- Extension: Αποκαλείται η επέκταση ενός φρέατος.

2. Αξιοποίησης

- Αποκαλείται η γεώτρηση η οποία έχει ορυχθεί με σκοπό την εκμετάλλευση - αξιοποίηση ενός κοιτάσματος. Το βάθος του είναι τέτοιο ώστε να μπορεί να είναι αποδοτικό και να έχει αυξημένες πιθανότητες επιτυχίας.

3. Έγχυσης

- Πρόκειται για γεωτρήσεις οι οποίες δημιουργούνται με σκοπό την έγχυση υγρών ή αέριων υλικών σε μία μονάδα παραγωγής πετρελαίου, ώστε να διατηρηθεί σταθερή η εσωτερική πίεση, η θερμοκρασία του κοιτάσματος ή το ιζώδες, επιτρέποντας του να ρεύσει προς την σωλήνωση παραγωγής. Υλικά που εγχέονται είναι ατμός, διοξείδιο του άνθρακα, νερό κ.α.



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

4. Ειδικής Χρήσεως

- Στρωματογραφικά: Αυτά τα φρεάτια, αποτελούν διερευνητικές ορύξεις, και η διάνοιξή τους έχει ως στόχο τον καθορισμό της θέσης και της τάξης της στρωματικής διαμόρφωσης των υλικών που απαρτίζουν το υπέδαφος μιας άγνωστης περιοχής. Η διαμόρφωση του υπεδάφους βοηθάει στον εντοπισμό της ποιότητας και της αντοχής των διαφόρων στρωμάτων που μπορούν να επηρεάσουν μια γεώτρηση.
- Φρεάτια ανακούφισης: Στην βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου, τα φρεάτια ανακούφισης διανοίγονται με σκοπό την σφράγιση ενός φρεάτιου παραγωγής το οποίο εξαιτίας κάποιας αστοχίας ελέγχου της πίεσης έχει αποτύχει, με αποτέλεσμα την ανεξέλεγκτη ροή προς την επιφάνεια. Μέσω των φρεατίων ανακούφισης, διοχετεύεται ειδικό ρευστό υλικό όπως η λάσπη και στην συνέχεια ακολουθεί παροχέτευση με τσιμέντο ώστε να σταματήσει η ροή από την δεξαμενή προς το κατεστραμμένο φρεάτιο.

Άλλος ένας παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει τον τύπο της γεώτρησης είναι η τοποθεσία στην οποία αυτή θα κατασκευαστεί. Υπάρχουν δύο κατηγορίες, οι χερσαίες γεωτρήσεις και οι υπεράκτιες γεωτρήσεις.

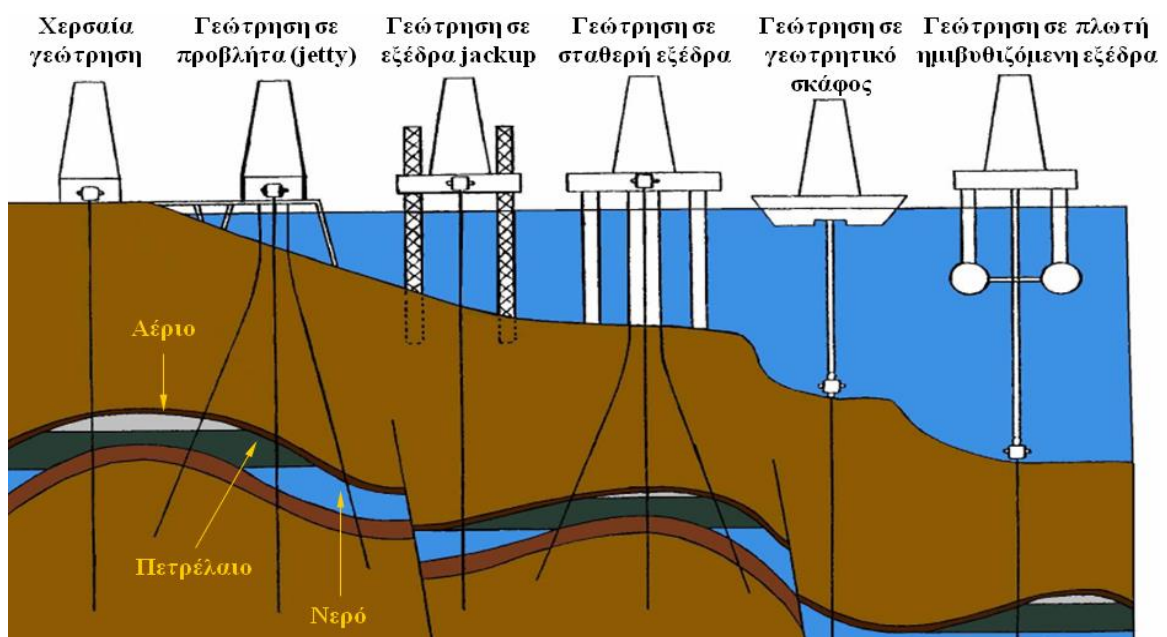
Στις χερσαίες γεωτρήσεις, η περιοχή που επιλέγεται, κρίνεται τόσο για την κατάσταση του εδάφους όσο και για τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Στην συνέχεια, κατασκευάζεται το εργοτάξιο, με τοποθέτηση του κατάλληλου εξοπλισμού και την εγκατάσταση διαφόρων υπηρεσιών υποστήριξης. Η συνηθέστερη έκταση που λαμβάνει ένα εργοτάξιο είναι μεταξύ 4000m² και 15000m².

Στις υπεράκτιες γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται αυτόνομες κινητές μονάδες γεώτρησης ανοιχτής θαλάσσης (Mobile Offshore Drilling Units, MODU's) των οποίων η επιλογή εξαρτάται κυρίως από το βάθος του νερού, τις εδαφικές συνθήκες του πυθμένα καθώς και τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια όπως ο άνεμος, το ύψος των κυμάτων κ.α.



Στις υπεράκτιες κινητές εξέδρες περιλαμβάνονται:

- Εξέδρες jack up
- Γεωτρητικά σκάφη
- Ημιβυθιζόμενες εξέδρες (semi-submergible drilling rigs)



Εικόνα 2: Είδη γεωτρήσεων ανάλογα με τον τόπο όρυξης



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

2.3 Ακολουθία Ροής Γεώτρησης

Ο σχεδιασμός ενός γεωτρητικού έργου περιλαμβάνει συγκεκριμένες ενέργειες οι οποίες είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν για την επίτευξη μιας επιτυχημένης παραγωγικής γεώτρησης.

Τα βήματα είναι τα εξής:

1. Αρχικά προσδιορίζεται ο σκοπός εκτέλεσης του έργου
2. Στην συνέχεια συλλέγονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία
3. Γίνεται ανάλυση των πιέσεων των υποκείμενων στρωμάτων
4. Προσδιορίζεται η πίεση ρηγμάτωσης
5. Γίνεται επιλογή της γεωμετρίας του φρεατίου
6. Καθορίζονται ο τύπος και οι ιδιότητες του ρευστού διάτρησης
7. Υπολογίζονται τα βάθη της σωλήνωσης και καθορίζεται ο αριθμός των ενδιάμεσων σωληνώσεων που απαιτούνται. Επίσης γίνεται επιλογή των κοπτικών που θα χρησιμοποιηθούν.
8. Σχεδιάζεται το πρόγραμμα τσιμέντωσης
9. Εκτελείται ο σχεδιασμός της σωλήνωσης και της διατρητικής στήλης
10. Αναλύονται οι προδιαγραφές των γεωτρήσεων και επιλέγεται το καταλληλότερο.
11. Συντάσσεται το χρονοδιάγραμμα εκτέλεσης όλων των διεργασιών
12. Τέλος εκτελείται ανάλυση του κόστους για την υλοποίηση του εγχειρήματος.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΩΛΗΝΩΣΗ

3.1 Σωλήνωση

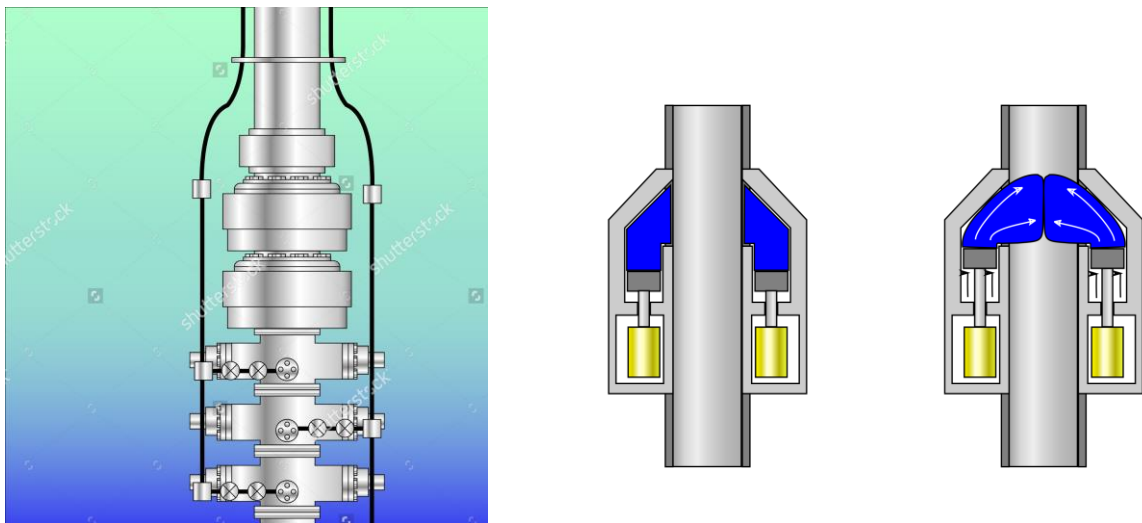
Η σωλήνωση εκτελεί σημαντικούς σκοπούς τόσο κατά την διάρκεια διάνοιξης μιας γεώτρησης όσο και κατά την ολοκλήρωση της. Αφενός προλαμβάνει την κατάρρευση του φρεατίου κατά την εκτέλεση της γεώτρησης, απομονώνοντας υδραυλικά τα ρευστά της γεώτρησης από την επιφάνεια των σχηματισμών και τα υγρά τους. Αφετέρου λειτουργεί ως προστατευτικό μέσο για την διατήρηση του περιβάλλοντος του υπεδάφους κατά την εκτέλεση της γεώτρησης καθώς και για την διαφύλαξη του φρεατίου από τυχόν εχθρικό υπέδαφος.



Εικόνα 3: Στελέχη σωλήνωσης



Παρέχει επίσης έναν υψηλής αντοχής αγωγό, ώστε το παραγόμενο ρευστό της γεώτρησης να μεταφέρεται στην επιφάνεια και με τη βοήθεια του συστήματος αποτροπής εκτινάξεων και εκρήξεων, (Blow Out Preventer, BOP), επιτρέποντας το συνεχή έλεγχο των πιέσεων σχηματισμού.



Εικόνα 4: Σύστημα αποτροπής εκτινάξεων και εκρήξεων (Blow Out Preventer, BOP) και σκαρίφημα λειτουργίας του.

Με τη συνεχή εκμετάλλευση των αξιοποιήσιμων ταμιευτήρων υδρογονανθράκων, είναι επιτακτική η ανάγκη για διερεύνηση και αξιοποίηση ταμιευτήρων που βρίσκονται σε πολύ μεγάλα βάθη. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση του χρησιμοποιούμενου αριθμού και του μεγέθους των σωληνώσεων.

Από τα επιμέρους προγράμματα που απαρτίζουν μία γεώτρηση, η σωλήνωση αποτελεί το πιο ακριβό. Για αυτό τον λόγο επιλέγονται κατά τον σχεδιασμό οι πιο οικονομικές λύσεις για το πρόγραμμα της σωλήνωσης χωρίς όμως να παραγκωνίζεται η ασφάλεια της γεώτρησης.

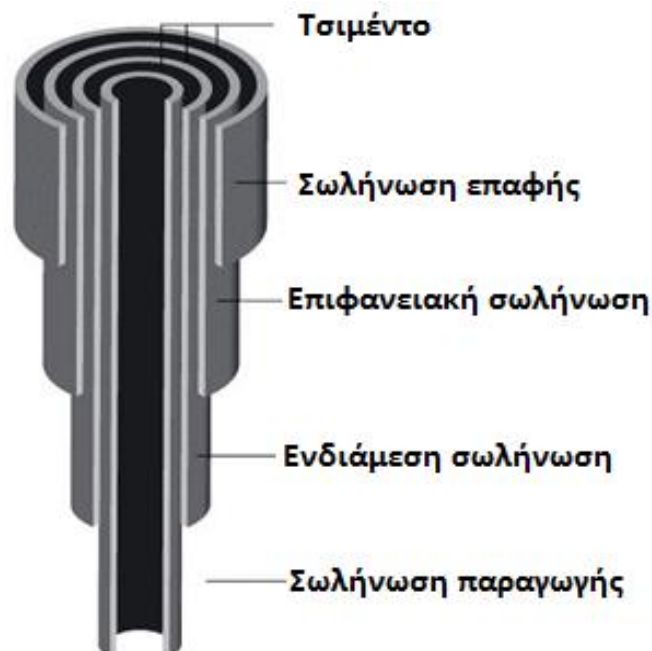


3.2 Τύποι Σωλήνωσης

Η σωλήνωση ανάλογα με το βάθος στο οποίο βρίσκεται ο στόχος, αποτελείται από διάφορους τύπους σωλήνωσης. Δεν χρησιμοποιούνται όλοι οι τύποι σε κάθε γεώτρηση. Για κάθε γεώτρηση στην οποία εκτελείται μελέτη, γίνεται εκτενής ανάλυση των συνθηκών που επικρατούν ώστε να προσδιοριστεί με ακρίβεια ο αριθμός των στηλών σωλήνωσης που απαιτούνται για την υλοποίηση μια γεώτρησης.

Οι υπάρχοντες τύποι σωλήνωσης είναι οι ακόλουθοι:

- Σωλήνωση οδηγός (drive or structural pipe)
- Σωλήνωση επαφής (conductor pipe)
- Επιφανειακή σωλήνωση (surface casing)
- Ενδιάμεση σωλήνωση (intermediate casing)
- Σωλήνωση παραγωγής (production casing)
- Σωλήνωση liner (liner casing)



Εικόνα 5: Τυπικό διάγραμμα με τα μέρη μιας σωλήνωσης.



3.3 Διαδικασία Σωλήνωσης και εξοπλισμός

Κατά τη διαδικασία της επένδυσης της γεώτρησης, ακολουθούνται συγκεκριμένες εργασίες, οι οποίες έχουν ως στόχο την ασφαλή και επιτυχή κατασκευή και λειτουργία της γεώτρησης.

Αρχικά, μετά από την επιλογή της περιοχής όπου βρίσκεται ένας αξιοποιήσιμος ταμειευτήρας, ακολουθεί η συλλογή των διαθέσιμων πληροφοριών σχετικά με τη περιοχή αυτή. Ο καθορισμός των γεωλογικών και γεωφυσικών στοιχείων της περιοχής σε συνδυασμό με τα στοιχεία των γεωτρητικών δραστηριοτήτων που έχουν τυχόν αναπτυχτεί, βοηθούν στην ανάλυση και αξιολόγηση του σημείου για την ελαχιστοποίηση της εμφάνισης προβλημάτων κατά την διαδικασία των εργασιών.

Γι' αυτό το λόγο η πρώτη εκτίμηση που πρέπει να γίνει είναι για τις γεωπιέσεις της περιοχής καθώς και για τον σαφή προσδιορισμό των πιέσεων ρωγμάτωσης των σχηματισμών. Στην συνέχεια γίνεται η σύνταξη του προγράμματος του ρευστού διάτρησης με καθορισμό των ιδιοτήτων των ρευστών και των τύπο τους. Με την ολοκλήρωση του προγράμματος αυτού, ο μελετητής είναι πλέον σε θέση να γνωρίζει τον αριθμό και την λειτουργία των στελεχών σωληνώσεων που απαιτούνται για την εκτέλεση της διάτρησης καθώς και τα βάθη στα οποία θα τοποθετηθούν τα στελέχη αυτά.

Έχοντας γνώση όλων των χαρακτηριστικών της γεώτρησης και των παραμέτρων του προγράμματος διάτρησης επιλέγεται το είδος του γεωτρώπανου, των κοπτικών και ο μηχανολογικός εξοπλισμός. Είναι εξαιρετικά σημαντικό η επιλογή να γίνει με βάση τις προδιαγραφές που ικανοποιούν ακριβώς το υπό μελέτη πρόγραμμα.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθείται από τη διάνοιξη μέχρι την σωλήνωση.

1. Αρχικά τοποθετείται η σωλήνωση επαφής η οποία θα πρέπει να φτάνει σε βάθος 100ft. Η εξωτερική της διάμετρος είναι μεγάλη φτάνοντας μέχρι και τις 30". Η σωλήνωση αυτή βοηθάει στο να συγκρατεί τους σχηματισμούς του εδάφους της επιφάνειας από το να καταρρέουν κατά την διάρκεια της διάτρησης σε βαθύτερα στρώματα.

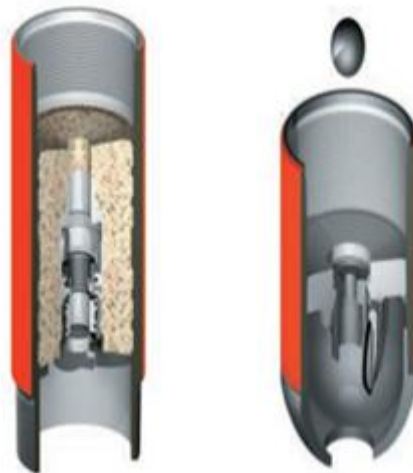


2. Στην συνέχεια εκτελείται διάτρηση με μια μεγάλου μεγέθους διατρητική στήλη. Το κοπτικό άκρο πρέπει να είναι διαμέτρου μικρότερης από την εσωτερική διάμετρο της σωλήνωσης επαφής. Το βάθος μπορεί να φτάσει τα 2000', ενώ κατά την διάρκεια της διάτρησης χρησιμοποιείται η κυκλοφορία λάσπης για ευκολότερη διάνοιξη. Μόλις γίνει προσέγγιση των 2000', απομακρύνεται η διατρητική στήλη και τοποθετείται η επιφανειακή σωλήνωση για την προστασία του υδροφόρου ορίζοντα.
3. Έπειτα, χρησιμοποιώντας ένα κοπτικό άκρο που θα είναι λίγο μικρότερο από την εσωτερική διάμετρο της επιφανειακής σωλήνωσης, γίνεται καταβίβαση της διατρητική στήλης μέσα στην σωλήνωση μέχρι να φτάσει τον πάτο του φρέατος. Σε αυτό το σημείο, προετοιμάζεται και παροχετεύεται ο πολφός τσιμέντου στο δακτυλιοειδές κενό εξωτερικά της σωλήνωσης, ώστε να σφραγιστεί η σωλήνωση και να αποφευχθεί η κατάπτωση πετρωμάτων στην σωλήνωση.
4. Στην συνέχεια ακολουθεί η τοποθέτηση του BOP (Blow Out Preventer), το οποίο θα αποτρέπει την ανεξέλεγκτη ροή των ρευστών σχηματισμού να μεταφερθούν προς την επιφάνεια. Με την λήψη αυτού του μέτρου ασφαλείας, εκτελείτε διάτρηση του επόμενου κομματιού της γεώτρησης. Μόλις το κοπτικό φτάσει στο επιθυμητό βάθος, τοποθετείται το επόμενο στέλεχος σωλήνωσης, η ενδιάμεση.
5. Στην περίπτωση που υπάρχει μόνο ένα στέλεχος ενδιάμεσης σωλήνωσης που πρέπει να τοποθετηθεί, η γεώτρηση συνεχίζει με μικρότερης διατομής κοπτικό άκρο. Σε αυτή την διαδικασία η διάτρηση συνεχίζεται μέχρι τον στόχο. Αυτό γίνεται αντιληπτό τόσο από το πετρέλαιο που θα εμφανίζεται στα ρευστά της διάτρησης όσο και από τους ανιχνευτές αερίων. Στην περίπτωση που υπάρχει και δεύτερη ενδιάμεση σωλήνωση επαναλαμβάνεται το βήμα με μικρότερης διαμέτρου κοπτικό άκρο από την προηγούμενη.
6. Σε αυτό το σημείο αφαιρείται η διατρητική στήλη και γίνεται δειγματοληψία για την ποιότητα του πετρελαίου καθώς και μια αξιολόγηση για την λειτουργία της γεώτρησης υπό κανονικές συνθήκες. Αν το κοίτασμα κριθεί ότι είναι αξιοποιήσιμο τότε τοποθετείται η σωλήνωση παραγωγής και ακολουθεί τσιμέντωση.



Στην συνέχεια, ακολουθεί η συναρμολόγηση της στήλης της σωλήνωσης με τον πρόσθετο αναγκαίο εξοπλισμό. Ο εξοπλισμός αυτός αποτελείται από:

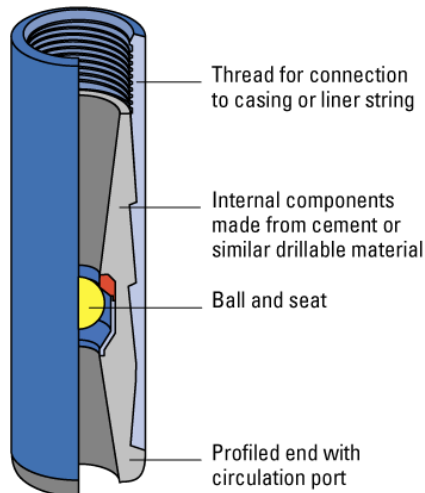
- Πέλμα (Guide or casing shoe), τοποθετείται στο κατώτερο σημείο της στήλης σωλήνωσης, διαθέτει λεπτυνόμενο άκρο και οδηγεί την σωλήνωση προς το κέντρο του φρεατίου. Στο εσωτερικό του περιέχει τσιμέντο και θερμοπλαστικό καθώς θα διανοιχθεί περεταίρω. Υπάρχει επιλογή, ύπαρξης πλαϊνών θυρών για την βελτίωση του καθαρισμού του φρεατίου.
- Δακτύλιος επίπλευσης (Float Collar): Τοποθετείται σε μία έως τρεις αρθρώσεις πάνω από τον πυθμένα της στήλης σωλήνωσης. Εγκλωβίζει το τσιμέντο το οποίο έχει μολυνθεί από λάσπη ενώ παράλληλα προλαμβάνει την αντιστροφή ροής τσιμέντου και λάσπης. Διαθέτει επίσης, μία βαλβίδα ελέγχου ώστε να εξασφαλίζει ότι η ροή ακολουθεί μία κατεύθυνση. Παρόλα αυτά η λάσπη θα πρέπει να προστεθεί με μη αυτόματα μέσα.



Εικόνα 6: Δακτύλιος επίπλευσης



- Πέλμα επίπλευσης (Float shoe): Διαθέτει ιδιότητες ίδιες με εκείνες του πέλματος οδηγού.



Εικόνα 7: Πέλμα επίπλευσης

- Κεντρωτήρες (Centralizers): Τοποθετούνται στο κάτω μέρος της στήλης σωλήνωσης, φροντίζοντας για την ομοκεντρικότητα της, σε σχέση με την διάμετρο του φρεατίου. Συμβάλλει επίσης στην βελτίωση της ροής του τσιμεντοπολτού ενώ το εξάρτημα αυτό αποτελεί ζωτικής σημασίας εξοπλισμό για τις παρεκκλίνουσες γεωτρήσεις.

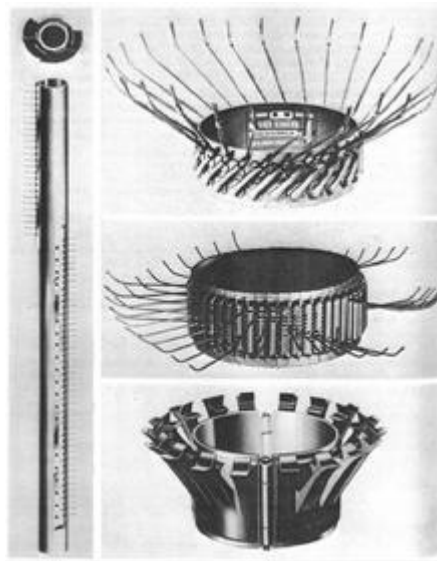


Εικόνα 8: Κεντρωτήρες



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

- Αποξεστήρας (Scratchers): Μπορούν να τοποθετηθούν στο κάτω μέρος της στήλης ή και ψηλότερα. Ο ρόλος τους είναι να απομακρύνουν το επίστρωμα λάσπης ώστε να βελτιωθεί προσκόλληση του τσιμέντου στα τοιχώματα του φρεατίου.



Εικόνα 9: Αποξεστήρες

Το τελικό στάδιο αποτελείται από την κάθοδο της στήλης σωλήνωσης στο φρεάτιο. Αυτό πρέπει να γίνει σε όσο το δυνατόν μικρότερο χρονικό διάστημα γίνεται. Η ταχύτητα καθόδου θα πρέπει να είναι ελεγχόμενη και να προσαρμόζεται ανάλογα με τις αντιστάσεις που αναπτύσσονται στο φρεάτιο από το ρευστό διάτρησης.

Μόλις η στήλη της σωλήνωσης φθάσει στη θέση που πρέπει, η λάσπη τιθέεται σε κυκλοφορία. Στην συνέχεια εκτελείται το πρόγραμμα της τσιμεντώσης.



3.4 Χαρακτηριστικά της σωλήνωσης

Κατηγορίες σωλήνωσης: Οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται στις γεωτρήσεις, κατασκευάζονται από σφυρήλατο ατσάλι χωρίς ραφή. Σύμφωνα με το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Πετρελαίου (API), παρέχονται οκτώ κατηγορίες σωλήνωσης όπως παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Κατηγορία –Grade	Ελάχιστο όριο ελαστικότητας (minimum yield strength) (psi)	Ελάχιστη συνολική αντοχή εφελκυσμού (minimum ultimate tensile strength) (psi)
H40	40000	60000
J55	55000	75000
K55	55000	95000
C75	75000	95000
L80	80000	95000
N80	80000	100000
C90	90000	100000
C95	95000	105000
P110	110000	125000

Πίνακας 1: Κατηγορίες σωλήνωσης σύμφωνα με το Αμερικανικό Ινστιτούτο Πετρελαίου (API)

Η κατηγορία της κάθε σωλήνωσης εκφράζεται από ένα γράμμα και έναν αριθμό. Για παράδειγμα στην κατηγορία σωλήνωσης H40, το γράμμα H αποτελεί τον γενικό ορισμό της ποιότητας του χάλυβα που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή της σωλήνωσης καθώς και την θερμική κατεργασία που έχει υποστεί. Ο αριθμός 40, εκφράζει το ελάχιστο όριο ελαστικότητας σε 10^3 psi, που στην προκειμένη περίπτωση είναι 40,000 psi όπως φαίνεται και στον πίνακα. Γενικά το όριο ελαστικότητας (yield strength), κατά τα οριζόμενα από την API, είναι η εφελκυστική τάση που απαιτείται για να προκύψει συνολική επιμήκυνση ανά μονάδα μήκους 0.005, σε ένα κοινό δείγμα δοκιμών. Η ελάχιστη τιμή του ορίου ελαστικότητας λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς ελέγχου διάρρηξης και αστοχίας.



Όσον αφορά το μέσο όριο ελαστικότητας προκύπτει συνήθως αυξημένο κατά 10,000 psi από το ελάχιστο όριο ελαστικότητας. Ο αριθμός αυτός χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των διαξονικών τάσεων.

Διαστάσεις σωλήνωσης: Εκτός από την ταξινόμηση τους στις διάφορες κατηγορίες, υπάρχουν και επιμέρους χαρακτηριστικά όπως αυτά των διαστάσεων. Στις διαστάσεις περιλαμβάνονται τα εξής μεγέθη:

- Εξωτερική διάμετρος (Outside Diameter)
- Πάχος τοιχώματος (Wall Thickness)
- Μήκος σωλήνωσης (Length of Joint)
- Βάρος ανά μονάδα μήκους (Weight Per Unit Length)

Για κάθε τμήμα της γεώτρησης χρησιμοποιείται διαφορετικό μέγεθος σωλήνωσης. Αυτό εξασφαλίζει την ομαλή διάτρηση της γεώτρησης μέχρι να φτάσει στον τελικό στόχο. Θα μπορούσε δηλαδή να εφαρμοστεί σωλήνωση ίδιας εξωτερικής διαμέτρου καθ' όλο το μήκος της γεώτρησης, χρησιμοποιώντας όμως διαφορετικά πάχη τοιχωμάτων ή ακόμη και διαφορετική κατηγορία σωλήνωσης, για περισσότερη οικονομία.

Η εσωτερική, ωφέλιμη διάμετρος (drift diameter), παίζει ουσιαστικό ρόλο στον σχεδιασμό της σωλήνωσης. Είναι ελαφρώς μικρότερη από την εσωτερική διάμετρο και αναφέρεται στην ελάχιστη εγγυημένη διάμετρο ενός εμβόλου το οποίο έχει την δυνατότητα να διέρχεται από την σωλήνωση χωρίς να δημιουργούνται τάσεις. Κατά την διάτρηση, θεωρείται ως η διάμετρος του κοπτικού το οποίο διέρχεται με ασφάλεια μέσα από την σωλήνωση.

Μεγέθη σωλήνωσης: Για την επιλογή της εξωτερικής διαμέτρου της σωλήνωσης, υπάρχουν 14 διαφορετικά μεγέθη τα οποία είναι σε ίντσες και αποτελούν τις διαθέσιμες ονομαστικές διαμέτρους σωλήνωσης. Αυτές είναι:

$4\frac{1}{2} - 5 - 5\frac{1}{2} - 6\frac{5}{8} - 7 - 7\frac{5}{8} - 8\frac{5}{8} - 9\frac{5}{8} - 10\frac{3}{4} - 11\frac{3}{4} - 13\frac{3}{8} - 16 - 18\frac{5}{8} - 20.$



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Εύρη μηκών: Το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Πετρελαίου ορίζει τρία εύρη μηκών, σύμφωνα με τα οποία θα πρέπει να κατασκευάζονται οι σωληνώσεις.

A/A	Εύρος μήκους (ft)	Μέσο μήκος (ft)
Εύρος 1	16 – 25	22
Εύρος 2	25 – 34	31
Εύρος 3	34 – 48	42

Πίνακας 2: Εύρη μηκών στελεχών σωλήνωσης κατά API

Για λόγους οικονομίας και μείωση του αριθμού των συνδέσμων που απαιτούνται για κάθε στήλη, στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται σωλήνωση εύρους 3.

Βάρος σωλήνωσης: Τα μεγέθη για το βάρος μιας σωλήνωσης που ορίζονται από το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Πετρελαίου είναι τρία:

- Ονομαστικό βάρος (nominal weight)
- Βάρος του κυρίως σώματος της σωλήνωσης (plain end weight)
- Συνολικό βάρος κυρίου σώματος και συνδέσμων (threaded and coupled weight)

Γενικά το ονομαστικό βάρος χρησιμοποιείται για λόγους διάκρισης των διαφορετικών τύπων σωλήνωσης κατά την ταξινόμηση τους. Εκφράζεται σε μονάδες βάρους ανά μονάδες μήκους lb/ft ή kg/m. Δεν αποτελεί το πραγματικό βάρος μιας σωλήνωσης και ο υπολογισμός του γίνεται βρίσκοντας το θεωρητικό βάρος ανά πόδι για σωλήνωση με μήκος 20 ft.

Μηχανικά χαρακτηριστικά σωλήνωσης: Μια σωλήνωση υπόκειται σε δράσεις των ακόλουθων φορτίων:

- Εφελκυσμός (tension) ο οποίος οφείλεται στο βάρος της σωλήνωσης. Η δύναμη εφελκυσμού μειώνεται από την άνωση, αφού η σωλήνωση βρίσκεται μέσα στο ρευστό της διάτρησης, ενώ η μέγιστη εφελκυστική δύναμη αναπτύσσεται στην κορυφή της σωλήνωσης κοντά στην επιφάνεια.



- Κατάρρευση (collapse) η οποία αποτελεί αστοχία προς το εσωτερικό της σωλήνωσης εξαιτίας των υδροστατικών πιέσεων που ασκούνται στην εξωτερική επιφάνεια της. Μεγαλύτερα φορτία ασκούνται στην σωλήνωση κατά την κάθοδο της, καθώς στον πυθμένα της δημιουργούνται υψηλές πιέσεις λάσπης.
- Διάρρηξη (burst) είναι αστοχία που προκαλείται από την εσωτερική πίεση όταν προκύπτει μεγάλη διαφορά με την εξωτερική πίεση κατά μήκος του τοιχώματος της σωλήνωσης.

3.5 Σχεδιασμός της σωλήνωσης

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο σχεδιασμός ενός σωστού προγράμματος σωλήνωσης, πρέπει να περιλαμβάνει ενέργειες όπως την ακριβή ανάλυση της θέσεως της γεώτρησης τόσο στην επιφάνεια όσο και στο τελικό βάθος-στόχο, τον καθορισμό του απαιτούμενου μεγέθους της παραγωγικής σωλήνωσης κ.α.

Η λεπτομερής ανάλυση των αναμενόμενων συνθηκών κάτω από τις οποίες θα εκτελεστεί η όρυξη και η λειτουργία της γεώτρησης είναι απαραίτητη για τον σχεδιασμό μιας ασφαλούς γεώτρησης.

Τα βασικά στοιχεία που εξετάζονται και αξιολογούνται είναι:

- Η ευστάθεια της γεώτρησης
- Οι πιέσεις και η ευστάθεια σχηματισμού
- Τα ρευστά διάτρησης, ο καθαρισμός της γεώτρησης και οι προφυλάξεις τσιμέντωσης
- Η γεωμετρία της γεώτρησης και η ύπαρξη καμπυλόγραμμων τμημάτων
- Ο απαιτούμενος μηχανικός εξοπλισμός
- Η οικονομία του έργου



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

3.5.1 Στάδια σχεδιασμού

Αρχικό στάδιο σχεδιασμού: Σε αυτό το στάδιο, γίνεται προσδιορισμός του βάθους στο οποίο θα φτάσει η κάθε στήλη σωλήνωσης. Μέσα από την αξιολόγηση των γεωλογικών συνθηκών, εκτιμάται το βάθος στο οποίο θα εδράζεται κάθε στήλη σωλήνωσης. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται γι' αυτόν τον σκοπό είναι οι πιέσεις των σχηματισμών (formation pressure) και ρωγμάτων (fracture pressure). Η εκτίμηση του βάθους έδρασης ξεκινά από την κατώτερη σωλήνωση που τοποθετείται πρώτη στην γεώτρηση, μετά το conductor, και προχωράει ανοδικά προς την επιφάνεια, κάτω προς τα πάνω προσέγγιση. Επίσης λαμβάνονται υπόψη όλες οι νομοθετικές διατάξεις και οι διεθνείς κανονισμοί που καθορίζουν τους περιορισμούς που διέπουν τον σχεδιασμό και τη λειτουργία μιας γεώτρησης.

Στάδιο λεπτομερούς σχεδιασμού: Προσδιορίζονται οι παράμετροι που επηρεάζουν την αστοχία της στήλης σωλήνωσης και γίνεται επιλογή της πιο κατάλληλης κατηγορίας. Ο σχεδιασμός κάθε προγράμματος σωλήνωσης θα πρέπει να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές που έχουν τεθεί για την ολοκλήρωση της γεώτρησης καθώς και την παραγωγή. Η επιλογή μεγεθών σωληνώσεων ξεκινά από την επιλογή της διαμέτρου της σωλήνωσης παραγωγής. Το κοπτικό που θα επιλεγεί για την όρυξη του τελευταίου κομματιού της γεώτρησης θα πρέπει να έχει διάμετρο τέτοια ώστε να είναι μεγαλύτερη από την εξωτερική διάμετρο της παραγωγικής σωλήνωσης και των συνδέσμων της. Ο λόγος είναι ότι πρέπει να εξασφαλίζεται επαρκές διάκενο μεταξύ των τοιχωμάτων της σωλήνωσης και των τοιχωμάτων του φρεατίου. Επίσης θα πρέπει να μπορεί να διέρχεται από τα ήδη σωληνωμένα τμήματα της γεώτρησης. Αυτό καθορίζει το ελάχιστο μέγεθος που θα πρέπει να διαθέτει η αμέσως προηγούμενη στήλη σωλήνωσης. Ακολουθώντας, με την ίδια λογική επιλέγονται τα μεγέθη του κοπτικού και της σωλήνωσης για τα πιο επιφανειακά τμήματα της γεώτρησης.

Μετά από την επιλογή της εξωτερικής διαμέτρου της στήλης σωλήνωσης, προσδιορίζονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά της. Η βασική αρχή του μηχανικού



**ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

σχεδιασμού μιας σωλήνωσης αποτελείται από την έννοια του μέγιστου φορτίου. Από την ανάλυση και τον έλεγχο, προκύπτει μια στήλη σωλήνωσης ικανή να φέρει τα φορτία των εσωτερικών και εξωτερικών πιέσεων διάρρηξης και κατάρρευσης καθώς και τις τάσεις που δημιουργούνται από το ίδιο βάρος της, εφελκυσμός ή θλίψη. Αυτά τα τρία είδη φορτίων απαρτίζουν τα βασικά κριτήρια σχεδιασμού. Κατά τον σχεδιασμό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και το περιθώριο ασφαλείας το οποίο έχει ως σκοπό την αντιμετώπιση της αναμενόμενης φθοράς της σωλήνωσης και τις πιθανές τάσεις που μπορεί να παρουσιαστούν από εξωγενείς παράγοντας όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία.

Επίσης ο σχεδιασμός εκτελείται έχοντας ως στόχο το ελάχιστο κόστος. Οπότε κατά την επιλογή τύπων σωληνώσεων εξετάζονται πάντα οι πιο οικονομικοί οι οποίοι θα μπορούν να ανταποκρίνονται σε όλες τις αναμενόμενες συνθήκες φόρτισης. Για να επιτευχθεί το ελάχιστο κόστος, επιλέγεται σωλήνωση χαμηλότερης κατηγορίας, που να διαθέτει το ελάχιστο δυνατό βάρος ανά πόδι και να είναι ικανή να αντέχει στις συνθήκες φόρτισης.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΚΕΚΛΙΜΕΝΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗ

4.1 Εισαγωγή – Ορισμός

Κατευθυνόμενη διάτρηση είναι η διαδικασία της προγραμματισμένης και ελεγχόμενης παρέκκλισης από την κατακόρυφη διεύθυνση. Με αυτόν τον τρόπο δίνεται η επιθυμητή παρέκκλιση σε μια γεώτρηση ώστε να μπορέσει να προσεγγίσει ένα προκαθορισμένο στόχο, ακολουθώντας την συντομότερη δυνατή οδό.

Εξαιτίας των οικονομικών πιέσεων καθώς και τις αδυναμίας πολλές φορές για την εκτέλεση μιας κατακόρυφης γεώτρησης, είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός μιας κατευθυνόμενης γεώτρησης.

Οι παράγοντες που επιβάλλουν την χρήση τους είναι:

- I. Εκμετάλλευση κοιτασμάτων που βρίσκονται κάτω από πυκνοκατοικημένες περιοχές, ή σε περιοχές με δύσβατο τοπογραφικό ανάγλυφο όπου η προσέγγισή τους καθίσταται από δυσχερής ως και αδύνατη
- II. Η από ξηράς προσέγγιση παράκτιων σχηματισμών
- III. Η εκμετάλλευση σχηματισμών που βρίσκονται κάτω ή πλευρικά ενός δόμου άλατος
- IV. Η ταυτόχρονη προσέγγιση πολλών ζωνών παράλληλης στρωμάτωσης
- V. Η ταυτόχρονη προσέγγιση πολλών παραγωγικών σχηματισμών μικρών διαστάσεων, διεσπαρμένων στον ίδιο χώρο
- VI. Τα προγράμματα όρυξης πολλαπλών γεωτρήσεων από το ίδιο επιφανειακό χερσαίο ή θαλάσσιο σημείο
- VII. Η εκμετάλλευση υποθαλάσσιων σχηματισμών μεγάλης επιφανειακής εξάπλωσης

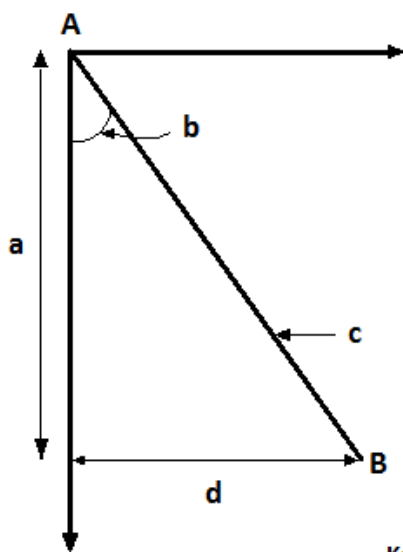


4.2 Γεωμετρικοί παράγοντες τροχιάς

Εξαιτίας της τρισδιάστατης υπόστασης κάθε έργου, έτσι και κάθε κεκλιμένη γεώτρηση, παρουσιάζουν συνεχώς αλλαγές στον προσανατολισμό τους τόσο στην κατακόρυφη όσο και στην οριζόντια διεύθυνση. Αυτό οφείλεται στις εναλλαγές των πετρωμάτων και των λοιπών χαρακτηριστικών που απαρτίζουν το υπέδαφος μιας περιοχής.

Ο σχεδιασμός της τροχιάς μιας κεκλιμένης γεώτρησης βασίζεται στις εξής παραμέτρους:

1. Γωνία Κλίσης (Inclination Angle ή Drift Angle): Ονομάζεται η γωνία μεταξύ της κατακόρυφης διεύθυνσης και της εφαπτομένης σε οποιοδήποτε σημείο της τροχιάς.



A: Σημείο Kick-off

B: Στόχος

a: Πραγματικό Μετρούμενο Βάθος (TVD)

b: Γωνία Κλίσης (INCL)

c: Ολικό Μετρούμενο Βάθος (MD)

d: Ολική Οριζόντια Μετατόπιση (HDS)

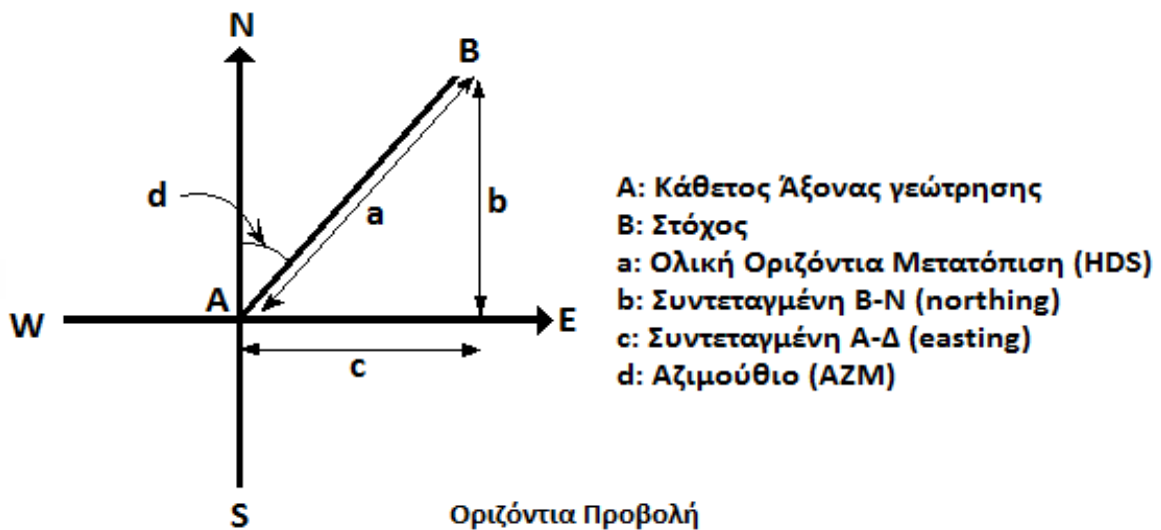
Κατακόρυφη Προβολή

Εικόνα 10: Κατακόρυφη προβολή της γεώτρησης.

Η γωνία κλίσης σχηματίζεται ανάμεσα στην γραμμή του κατακόρυφου πραγματικού βάθους και της ευθείας του ολικού μετρούμενου βάθους.



2. Γωνία Διεύθυνσης ή Αζιμούθιο (Direction Angle ή Azimuth): Ονομάζεται η γωνία που δημιουργείται από την διεύθυνση του βορρά και την εφαπτομένη πάνω σε οποιοδήποτε σημείο της τροχιάς. Πρέπει να σημειωθεί πως για την διεύθυνση του βορρά χρησιμοποιείται εκείνη του γεωγραφικού βορρά και όχι του μαγνητικού.



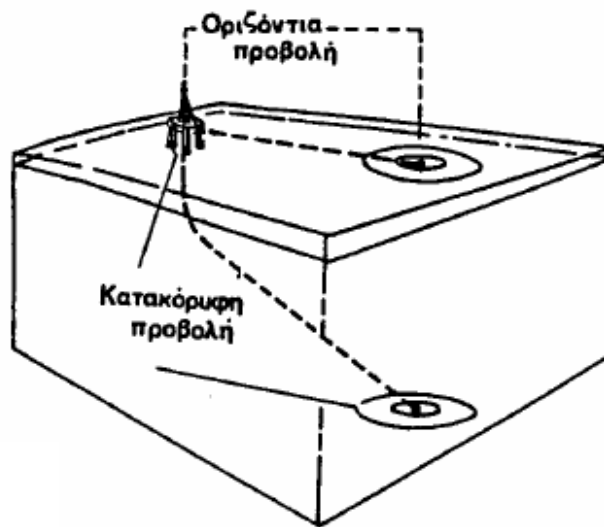
Εικόνα 11: Οριζόντια προβολή της γεώτρησης.

Το αζιμούθιο είναι η γωνία που σχηματίζεται από την ολική οριζόντια μετατόπιση με τον άξονα του βορά.

3. Πραγματικό Κατακόρυφο Βάθος (True Vertical Depth): Ονομάζεται η κατακόρυφη απόσταση κάθε σημείου της τροχιάς από την επιφάνεια.



4. Οριζόντια Μετατόπιση / Απόσταση (Horizontal Displacement / Drift): Ονομάζεται η οριζόντια απόσταση κάθε σημείου της τροχιάς από την κατακόρυφο που διέρχεται από τη θέση έναρξης της γεώτρησης στην επιφάνεια.



Εικόνα 12: Οριζόντια προβολή του στόχου από την κατακόρυφο της επιφάνειας της γεώτρησης

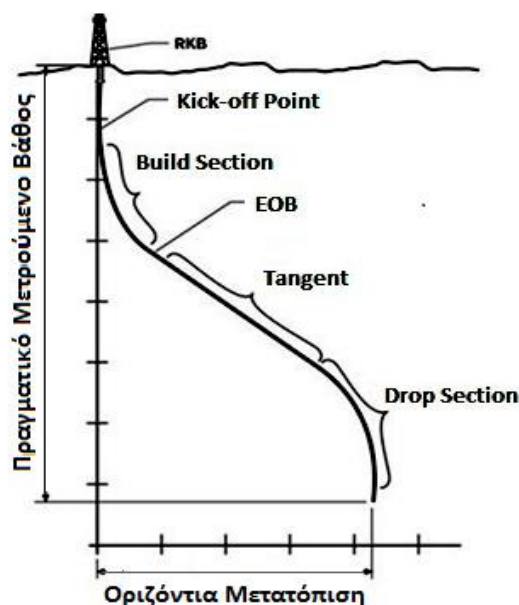
5. Ολικό Μετρούμενο Βάθος (Measured Depth): Ονομάζεται το ολικό μήκος της γεώτρησης από την επιφάνεια μέχρι την προσέγγιση του τελικού στόχου
6. Συντεταγμένες B-N και A-Δ (Coordinates N-S, E-W): Κάθε σημείο πάνω στην τροχιά έχει συντεταγμένες που το διαφοροποιούν από τα άλλα. Αυτές οι συντεταγμένες είναι ουσιαστικά οι αποστάσεις κάθε σημείου της τροχιάς, με βάση το οριζόντιο επίπεδο, κατά τις διευθύνσεις βορρά-νότου (B-N) και ανατολής-δύσης (A-Δ), από ένα καθορισμένο σημείο αναφοράς.
7. Σημείο Kick-off (kick-off point): Ονομάζεται το σημείο που βρίσκεται στο βάθος όπου αρχίζει η πρώτη παρέκκλιση της γεώτρησης από την κατακόρυφη διεύθυνση.



8. Σημείο καταγραφής (Survey Station): Ονομάζεται κάθε σημείο της τροχιάς, στο οποίο εκτελούνται μετρήσεις που έχουν ως σκοπό τον έλεγχο της πορείας της γεώτρησης.
9. Στόχος (Target ή Target point ή Objective): Αποκαλείται ο γεωλογικός σχηματισμός που αποτελεί τη ζώνη ενδιαφέροντος του εκάστοτε προγράμματος διάτρησης. Ως στόχος επίσης αποκαλείται και κάθε σημείο το οποίο έχει προκαθοριστεί ως το σημείο όπου θα καταλήξει η γεώτρηση.
10. Γωνία Dog-leg: Ονομάζεται κάθε απότομη αλλαγή στην πορεία της γεώτρησης ανάμεσα σε δύο σημεία-σταθμούς, η οποία δημιουργείται εξαιτίας της αλλαγής της γωνίας κλίσης δηλαδή μέσω αλλαγής της πορείας στο κατακόρυφο επίπεδο, ή από την αλλαγή της γωνίας διεύθυνσης με αλλαγή της πορείας στο οριζόντιο επίπεδο. Συμβαίνει ακόμα και σε ταυτόχρονη αλλαγή των δύο γωνιών μέσω αλλαγής της πορείας στον 3-διάστατο χώρο.
11. Ένταση του Dog-leg (Dog-leg severity): Ονομάζεται η γωνία dog-leg, εκφρασμένη επί ενός καθορισμένου διαστήματος, συνήθως εκφράζεται ανά 100 ft ή 30 m.
12. Ρυθμός Build-up (Build-up rate): Ονομάζεται ο ρυθμός αύξησης της γωνίας κλίσης, εκφρασμένος σε deg ανά δεδομένο διατηρηθέν μήκος τμήματος, συνήθως εκφράζεται σε μοίρες ανά 100 ft ή 30 m.
13. Ρυθμός Drop-off (Drop-off rate): Ονομάζεται ο ρυθμός μείωσης της γωνίας κλίσης εκφρασμένος σε deg ανά δεδομένο διατηρηθέν μήκος τμήματος, συνήθως εκφράζεται σε μοίρες ανά 100 ft ή 30 m.
14. Ρυθμός μεταβολής Γωνίας Διεύθυνσης (Turn rate): Ονομάζεται ο λόγος της μεταβολής της γωνίας διεύθυνσης ως προς καθορισμένο μήκος διατηρηθέντος τμήμα-τος, συνήθως εκφράζεται σε μοίρες ανά 100 ft ή 30 m. Αρκετές φορές το μήκος αυτό δεν αποτελεί το πραγματικό ολικό μετρούμενο μήκος τροχιάς, αλλά η προβολή αυτού του μήκους στο οριζόντιο επίπεδο. Πρόκειται δηλαδή για 100 ft ή 30 m μήκους μετρούμενου πάνω στην οριζόντια προβολή της τροχιάς.



15. Τμήμα Build-up (Build-up section): Ονομάζεται κάθε καμπυλόγραμμο τμήμα της τροχιάς κατά το οποίο η γωνία κλίσης συνεχώς αυξάνεται έως τη μέγιστη επιθυμητή τιμή.
16. Εφαπτομενικό τμήμα (Tangent ή Straight ή Hold section): Ονομάζεται το ευθύγραμμο τμήμα που ακολουθεί διεύθυνση εφαπτομενική σε κάποιο σημείο του καμπυλόγραμμου τμήματος και κατά μήκος του οποίου οι γωνίες κλίσης και διεύθυνσης παραμένουν σταθερές.
17. Τμήμα Drop-off (Drop-off section): Ονομάζεται το τμήμα που συνήθως βρίσκεται μετά από το εφαπτομενικό τμήμα, κατά μήκος του οποίου η γωνία κλίσης σταδιακά ελαττώνεται μέχρι να προσεγγιστεί η επιθυμητή τιμή.
18. Γωνία προσανατολισμού (Tool face orientation angle): Είναι το μέγεθος που προκύπτει από το συνδυασμό των επιτεύξιμων γωνιακών συνθηκών σε κάθε σημείο της γεώτρησης, αποτελεί τον προσανατολισμό της στην ίδια θέση και μετράτε σε κλίμακα από 0° - 90° προς τα δεξιά ή από 90° - 0° προς τα αριστερά του υφιστάμενου προσανατολισμού.



Εικόνα 13: Όλες οι παράμετροι που απαρτίζουν μια κεκλιμένη γεώτρηση

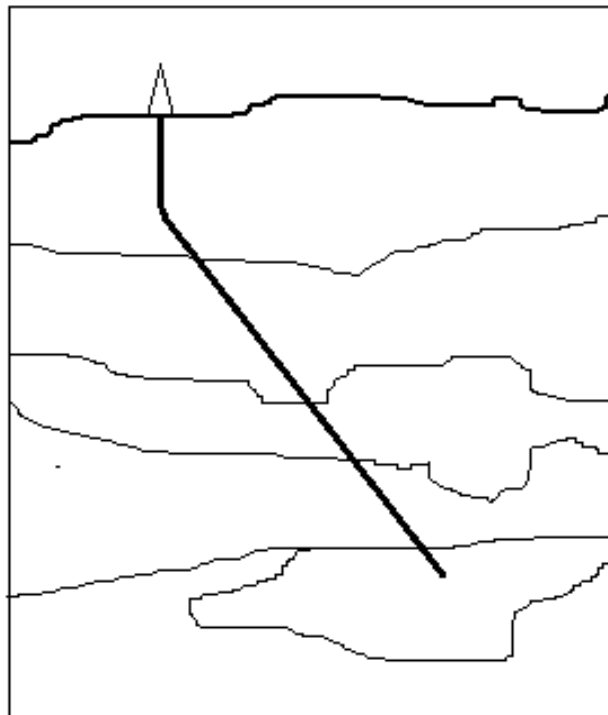


4.3 Βασικοί τύποι τροχιάς

Κατά το στάδιο σχεδιασμού της τροχιάς της γεώτρησης, πρέπει να επιλεγθεί ο τύπος της τροχιάς. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η γεώτρηση πρέπει να σχεδιαστεί με τον ελάχιστο δυνατό οικονομικό και συντομότερο τρόπο έχουμε τους εξής τύπους τροχιάς:

Τύπος 1: Τροχιά ευθείας παρέκκλισης (build-and-hold type)

Σε αυτό τον τύπο τροχιάς από το σημείο kick-off το οποίο συνήθως βρίσκεται σε σχετικά μικρό βάθος, η τιμή της γωνίας κλίσης αυξάνεται μέχρι να επιτευχθεί η μέγιστη επιθυμητή τιμή. Αυτή διατηρείται σταθερή κατά το εφαπτομενικό τμήμα μέχρι να προσεγγίσει τον στόχο της γεώτρησης. Σχηματικά η μορφή της τροχιάς ξεκινάει από ένα κατακόρυφο τμήμα, ακολουθεί ένα τμήμα αύξησης της καμπυλότητας και καταλήγει στο εφαπτομενικό τμήμα όπως φαίνεται και στην επόμενη εικόνα.



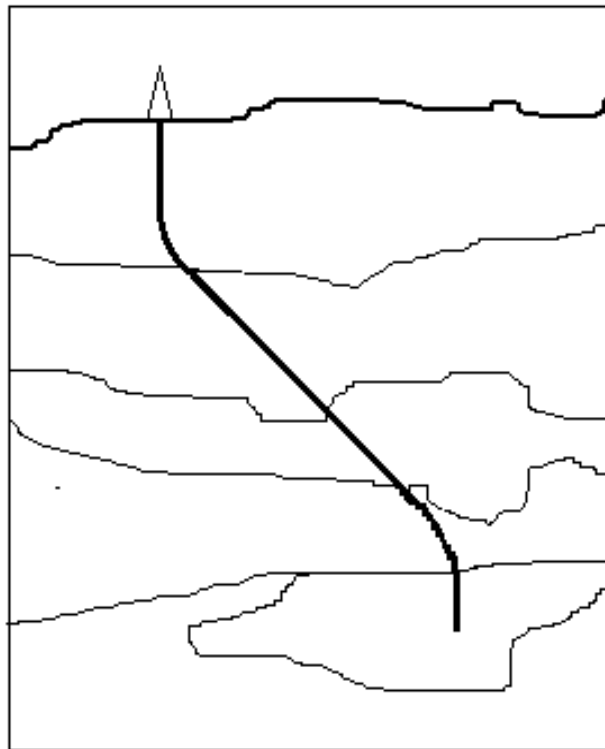
Εικόνα 14: Τροχιά γεώτρησης τύπου 1



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Τύπος 2: Τροχιά τύπου S (build-hold and drop type)

Σε αυτόν τον τύπο τροχιάς, η παρέκκλιση από την κατακόρυφη διεύθυνση ξεκινάει σε μικρό βάθος και ακολουθεί τμήμα αύξησης της γωνίας κλίσης (build-up) μέχρι την μέγιστη επιθυμητή. Στην συνέχεια η γωνία κλίσης διατηρείται σταθερή κατά το εφαπτομενικό τμήμα (hold) και τέλος μειώνεται βαθμιαία μέχρι να αποκτήσει και πάλι κατακόρυφη κλίση προσεγγίζοντας τον στόχο (drop-off). Σχηματικά η τροχιά τύπου S προκύπτει από το κατακόρυφο τμήμα, το τμήμα αύξησης της καμπυλότητας, ένα ενδιάμεσο εφαπτομενικό τμήμα, το τμήμα μείωσης της καμπυλότητας και το τελικό εφαπτομενικό τμήμα.



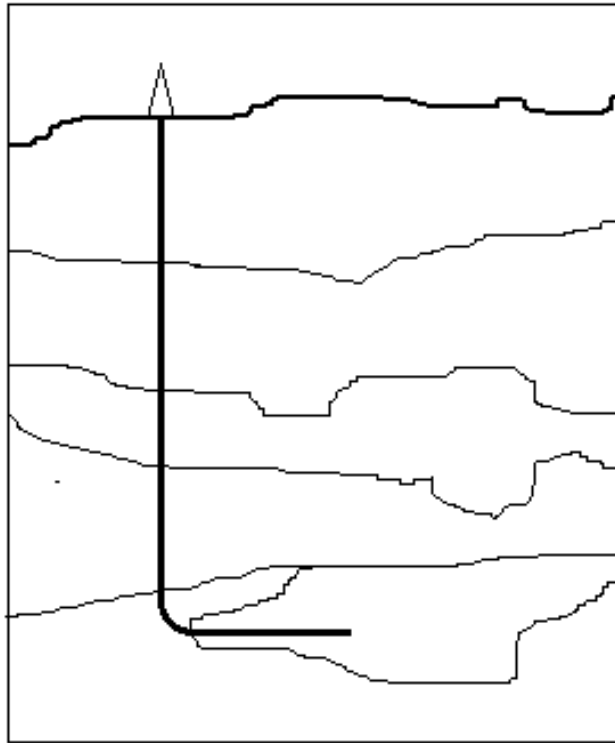
Εικόνα 15: Τροχιά γεώτρησης τύπου 2 (S)



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Τύπος 3: Τροχιά τύπου J ή τύπου L

Αυτός ο τύπος τροχιάς παρουσιάζει στοιχεία όμοια με την τροχιά ευθείας παρέκκλισης, φτάνοντας σε πολύ μεγαλύτερο βάθος. Στην συνέχεια αναπτύσσεται το καμπυλόγραμμο τμήμα με αύξηση της γωνίας κλίσης και έπειτα ακολουθεί το ευθύγραμμο εφαπτομενικό τμήμα του οποίου η κλίση είναι οριζόντια και διατηρείται μέχρι να προσεγγιστεί ο στόχος. Σε σχηματική απεικόνιση αυτός ο τύπος τροχιάς αποτελείται από το κατακόρυφο τμήμα, το τμήμα αύξησης της καμπυλότητας και το εφαπτομενικό τμήμα.



Εικόνα 16: Τροχιά γεώτρησης τύπου 3 (J ή L)

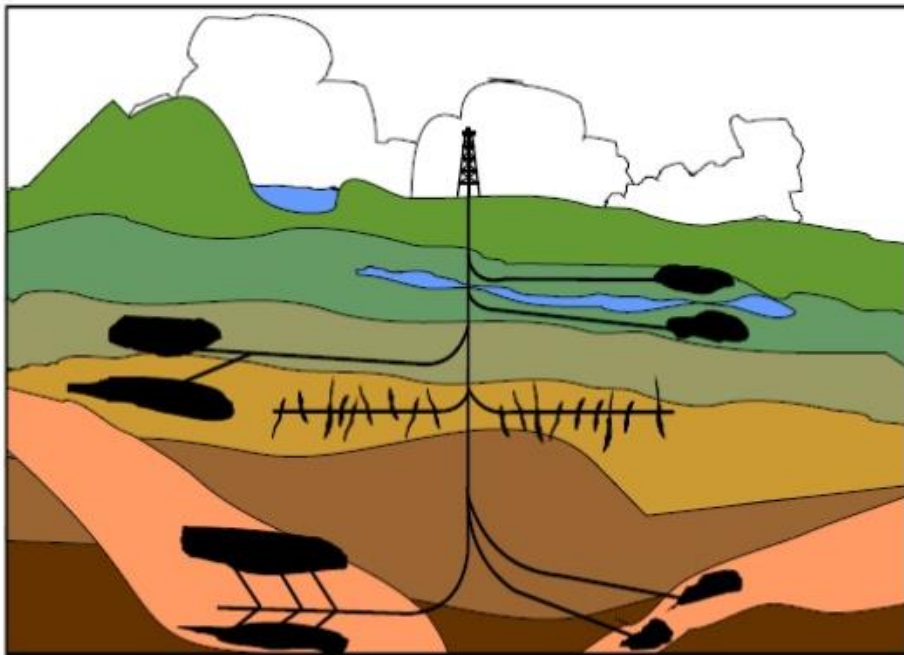


4.4 Εφαρμογές

Οι κεκλιμένες γεωτρήσεις χρήζουν ευρείας ανταπόκρισης σε παγκόσμια κλίμακα. Εξαιτίας της ευχρησίας τους, επιλέγονται για να δώσουν λύση σε πολλά προβλήματα που προκύπτουν κατά τον σχεδιασμό. Οι κύριες περιπτώσεις εφαρμογής τους είναι οι εξής:

1. *Ανάπτυξη κοιτασμάτων με πολλαπλές γεωτρήσεις (Multi-well platform drilling):*

Με αυτήν την εφαρμογή, παρατηρείται μεγάλη μείωση του κόστους λειτουργίας και διατήρησης πολλαπλών γεωτρήσεων σε μια περιοχή. Για την εκμετάλλευση μεγάλων κοιτασμάτων, ο σχεδιασμός πολλαπλών κεκλιμένων γεωτρήσεων που συνδέονται όλες με μια κεντρική παραγωγική γεώτρηση, είναι ο πλέον οικονομικός τρόπος ανάπτυξης τους. Ο αριθμός των κεκλιμένων γεωτρήσεων σε μια περιοχή ενδιαφέροντος μπορεί να φτάσει και τις 60.



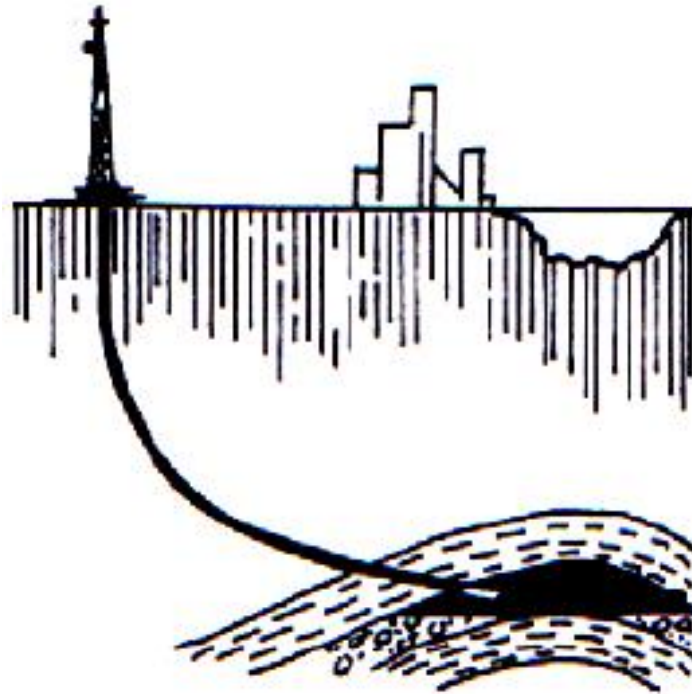
Εικόνα 17: Ανάπτυξη κοιτασμάτων με πολλαπλές γεωτρήσεις



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

2. Κοιτάσματα σε δυσπρόσιτες περιοχές (*Inaccessible locations*):

Στις περιπτώσεις όπου ο στόχος βρίσκεται κάτω από ανώμαλο τοπογραφικό ανάγλυφο όπως λίμνες, βουνά κ.α., κάτω από κατοικημένες περιοχές ή κάτω από στρώματα πάγου, κεκλιμένη γεώτρηση αποτελεί την μοναδική λύση για την εκμετάλλευσή τους. Η γεώτρηση τοποθετείται σε μια απόσταση η οποία αποτελεί ασφαλές και οικονομική για την κατασκευή και την λειτουργία της.



Εικόνα 18: Εκμετάλλευση κοιτάσματος που βρίσκεται κάτω από κατοικημένη περιοχή και λίμνη



3. Διάτρηση δόμου άλατος (*Salt dome drilling*):

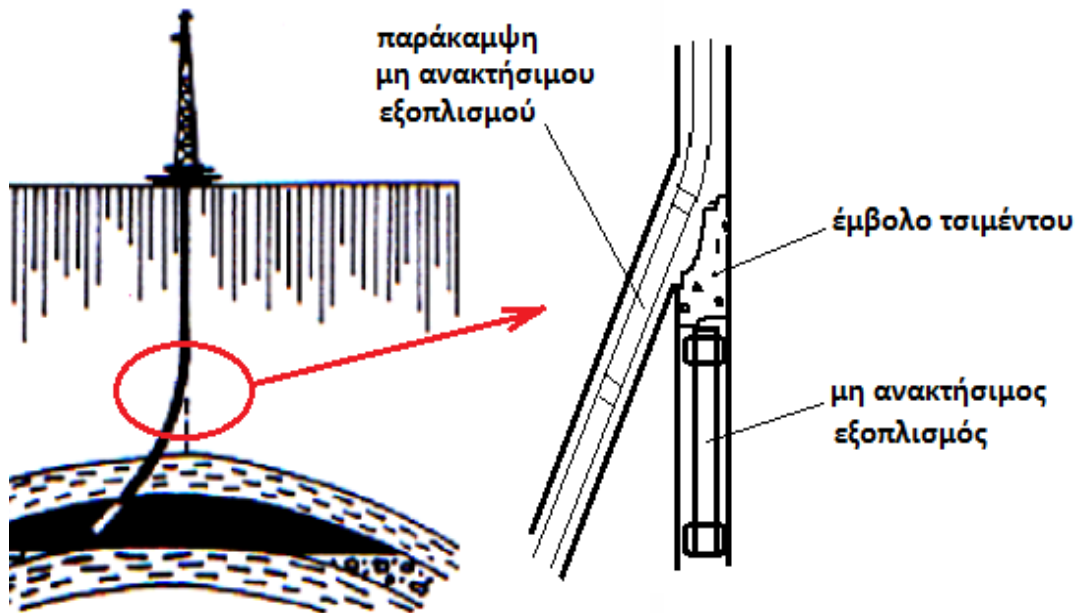
Σε ορισμένες περιπτώσεις δημιουργούνται κοιτάσματα γύρω από έναν δόμο άλατος. Συχνά οι ταμιευτήρες σχηματίζονται ακριβώς κάτω από τον δόμο άλατος. Αυτό εξαιτίας του ότι δυσχεραίνει την προσέγγιση του στόχου προκαλώντας σοβαρά προβλήματα, επιβάλλεται ο σχεδιασμός κεκλιμένων γεωτρήσεων. Έτσι παρακάμπτεται ο δόμος και εκτελείται με ασφάλεια η λειτουργία της γεώτρησης.



Εικόνα 19: Εκμετάλλευση κοιτασμάτων που βρίσκονται κάτω από δόμο άλατος



4. Πλευρική όρυξη (Sidetracking):



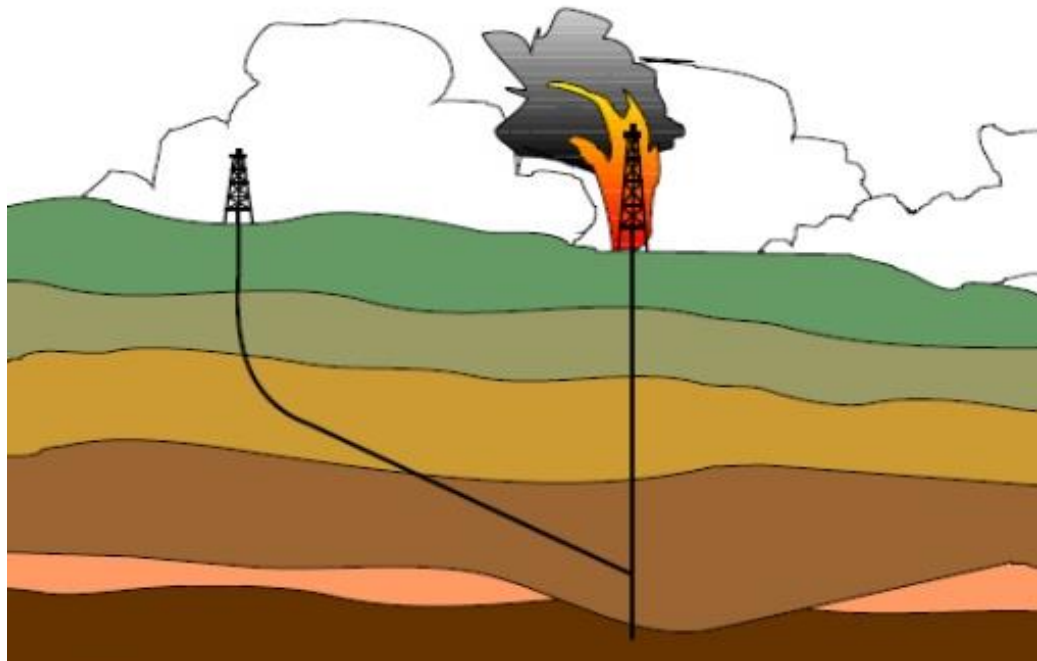
Εικόνα 20: Πλευρική όρυξη μετά από αποτυχία ανάκτησης τμήματος εξοπλισμού από το φρεάτιο

Κατά την όρυξη μιας γεώτρησης μπορεί να υπάρξει κάποιο ατύχημα με τον μηχανολογικό εξοπλισμό όπως μερική ή ολική ενσφήνωση της διατηρητικής στήλης, θραύση, πτώσεις σίδηρών εργαλείων μέσα στο φρεάτιο κ.α. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού επιχειρείται αλίευση του εξοπλισμού που βρίσκεται μέσα στην γεώτρηση. Αν αυτό αποτύχει τότε σφραγίζεται το τμήμα που προκαλεί το πρόβλημα με τσιμέντο και στην συνέχεια εφαρμόζεται αλλαγή στην πορεία με πλευρική όρυξη.



5. Περιπτώσεις δυσμενών συνθηκών (Relief wells):

Μια άλλη εξαιρετικά προβληματική γεώτρηση είναι εκείνη που παρουσιάζει ανάφλεξη ή ανεξέλεγκτη ροή ρευστών. Αυτές οι γεωτρήσεις χρήζουν ακρήστευσης. Η κεκλιμένη βοηθητική γεώτρηση ορύσσεται σε μια εύλογη απόσταση και τέμνει την αρχική σε σημείο όπου επιτρέπει την διοχέτευση υλικών για την πλήρωση του πηγαδιού. Τα υλικά αυτά αποτελούνται από λάσπη υψηλής πυκνότητας ή γαλάκτωμα τσιμέντου.



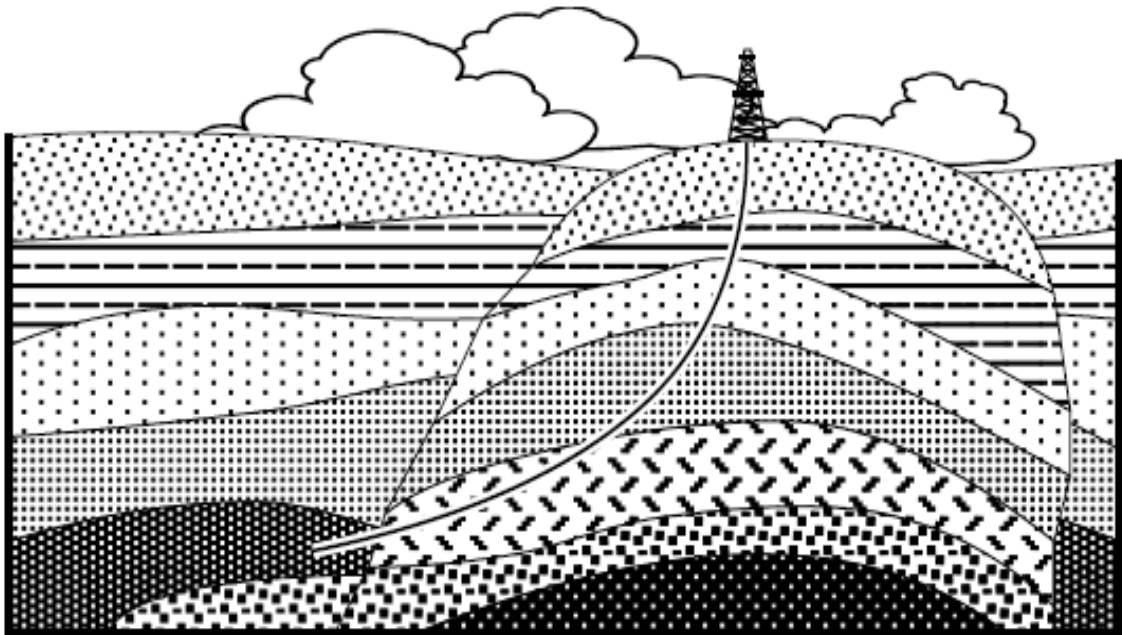
Εικόνα 21: Γεώτρηση ανακούφισης για ανεξέλεγκτη γεώτρηση



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

6. *Ελαττωματική Γεώτρηση (Fault drilling):*

Η όρυξη ενός άκρως επικλινούς επιπέδου είναι αρκετά δύσκολο εγχείρημα. Ειδικά όταν το έδαφος είναι ελαττωματικό. Συχνά το κοπτικό εκτρέπεται της πορείας τους όταν περνάει μέσα από ελαττωματικά επίπεδα. Ένα ελαττωματικό επίπεδο καθιστά ιδιαίτερα δύσκολη την συνέχιση της γεώτρησης. Για την αποφυγή της αστάθειας στην γεώτρηση, σχεδιάζεται μια κεκλιμένη γεώτρηση οι οποία παρεκκλίνει το προβληματικό σημείο αποφεύγοντας την επαφή με αυτό.



Εικόνα 42: Γεώτρηση σε ελαττωματικό και επικίνδυνο έδαφος



Υπάρχουν επίσης και ειδικές περιπτώσεις όπου η όρυξη κεκλιμένων γεωτρήσεων είναι απαραίτητη. Τέτοιες περιπτώσεις είναι:

1. Περιοχές όπου υφίστανται ειδικοί περιορισμοί. Οι περιορισμοί αυτοί αφορούν σε δύο τομείς. Ο πρώτος αφορά την διατηρητική δραστηριότητα όπως σε δρόμους θαλάσσιων μεταφορών, σε όρια υπάρχει αλλαγή των ιδιοκτησιακών στοιχείων μεταξύ φορέων έρευνας και εκμετάλλευσης ή κρατών, σε σιδηροδρομικές γραμμές κ.α. Ο δεύτερος αφορά την εγκατάσταση και λειτουργία εξέδρων σε περιοχές τουριστικού ενδιαφέροντος, περιοχές που εντάσσονται στα πλαίσια προστασίας του περιβάλλοντος κ.α.
2. Για την ανάπτυξη πολλών σχηματισμών σε ταυτόχρονη φάση, οι οποίοι βρίσκονται στην ίδια περιοχή. Αρκετές φορές μάλιστα, οι σχηματισμοί αυτοί βρίσκονται στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο, με αποτέλεσμα η προσέγγιση τους να είναι σχετικά εύκολη, είτε με αλλαγή της γωνίας κλίσης είτε με αλλαγή στην γωνία διεύθυνσης.
3. Η εκμετάλλευση γεωθερμικών πεδίων μέσω της χρήσης κεκλιμένων γεωτρήσεων για την έγχυση νερού.
4. Για την ανάκτηση μεθανίου από εξόρυξη μετάλλων.
5. Για την εγκατάσταση, κατασκευή και διέλευση αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου σε περιοχές με δυσπρόσιτο τοπογραφικό ανάγλυφο.
6. Για την απόθεση επικίνδυνων αποβλήτων στο υπέδαφος καθώς και για την εκτέλεση όλων των λειτουργιών που αφορούν τον χημικό έλεγχο της περιοχής (δειγματοληψία, αντιμετώπιση προβλημάτων ή απομάκρυνση).



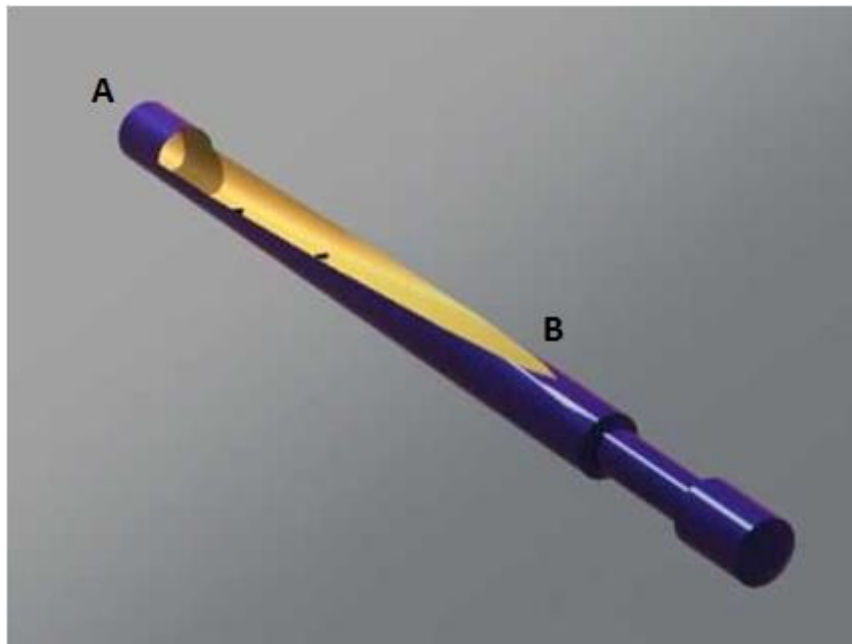
4.5 Μηχανολογικός Εξοπλισμός

Για την όρυξη κεκλιμένων γεωτρήσεων είναι σημαντικό να χρησιμοποιηθεί ο κατάλληλος μηχανολογικός εξοπλισμός όπως:

Εργαλεία παρέκκλισης: Η πρόσδωση παρέκκλισης από την κατακόρυφη διεύθυνση, δίνεται με την χρήση ειδικών οργάνων.

Τέτοια όργανα είναι:

- ❖ Σφήνες (whipstocks): Το σφηνοειδές αυτό εργαλείο, είναι κατασκευασμένο από χάλυβα. Ασκεί δύναμη υπό κλίση ώστε να παρεκκλίνει το κοπτικό. Συνήθως χρησιμοποιείται για την παρέκκλιση ενός ήδη σωληνωμένου πηγαδιού. Υπάρχουν σφήνες μόνιμης τοποθέτησης ή ανακλήσιμες ανάλογα με την περίπτωση.



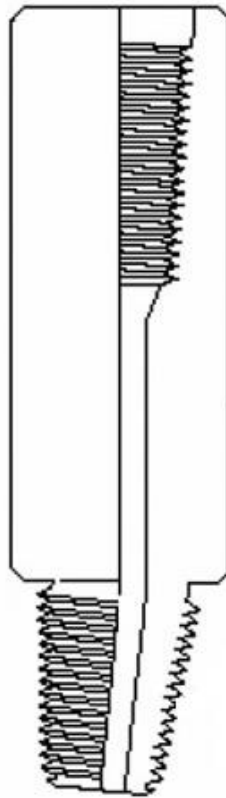
Εικόνα 23: Ανακλήσιμη σφήνα.

Το κοπτικό εισέρχεται από την οπή στο σημείο A και αρχίζει να παρεκκλίνει μέχρι να φτάσει το σημείο B



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

- ❖ Αντίβαρα σταθερής ή μεταβλητής κλίσης (Bent subs): Αποτελούν σωλήνες μικρού μήκους. Διαθέτουν διάμετρο παραπλήσια με εκείνη των κολάρων διάτρησης ενώ ο άξονας στην κορυφή και στο κάτω μέρος δεν συμπίπτουν. Η γωνία απόκλισης ονομάζεται tile angle και ο άξονας του κοπτικού δεν βρίσκεται σε παράλληλη θέση με τον άξονα της διατρητικής στήλης.

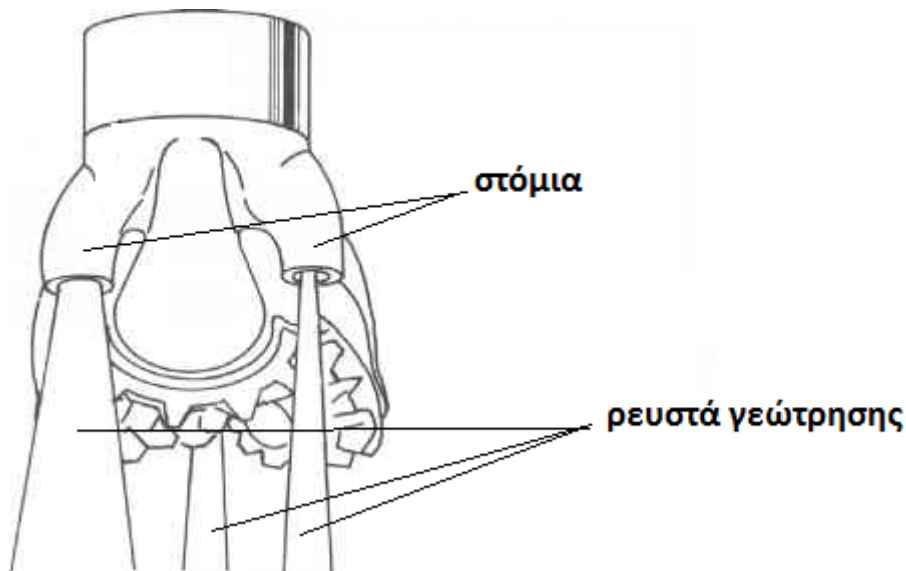


Εικόνα 24: Αντίβαρο σταθερής κλίσης

- ❖ Αρθρωτά εργαλεία (Knuckle Joint)
- ❖ Ειδικά κοπτικά άκρα για την όρυξη μαλακών σχηματισμών με τη βοήθεια των κυκλοφορούντων ρευστών διάτρησης (Jetting Bits): Ένα ακόμα αποτελεσματικό μέσο αλλαγής της τροχιάς ενός πηγαδιού είναι η υδροβολή. Κατά την υδροβολή, η υδραυλική δύναμη των ρευστών της γεώτρησης διαβρώνει έναν θύλακα στο πάτο



του πηγαδιού. Τα εξαρτήματα της διάτρησης εισέρχονται χωρίς περιστροφή μέσα στον θύλακα για μια απόσταση που κυμαίνεται από 3 μέχρι 6 ft. Σε αυτό το σημείο γίνεται έναρξη της περιστροφής και ξεκινάει η συμβατική γεώτρηση μέχρι να φτάσει σε βάθος 20 με 25 ft. Στην συνέχεια εκτελούνται έρευνες για την εκτίμηση του τελευταίου κομματιού υδροβολής. Στην περίπτωση που απαιτείται περισσότερη αλλαγή στην τροχιά, προσανατολίζεται ξανά ο μηχανολογικός εξοπλισμός της υδροβολής και επαναλαμβάνεται η ίδια ακολουθία. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή αλλαγή της τροχιάς.



Εικόνα 25: Κοπτικό άκρο που εκτοξεύει ρευστά γεώτρησης μέσα από στόμια.

Διάταξη B.H.A. (Bottom Hole Assembly): Σε αυτή την διάταξη υπάρχουν ειδικά αντίβαρα (wiggles). Πρόκειται για κανονικά αντίβαρα τα οποία έχουν μικρό μήκος και διαθέτουν αρθρώσεις που τους επιτρέπουν να προσδίδουν βάρος και ευκαμψία, καθώς διέρχονται από το καμπυλόγραμμο τμήμα της τροχιάς. Η περιστροφή της διάταξης εκτελείται από την επιφάνεια και προσφέρει ρυθμό μεταβολής της γωνίας κλίσης μέχρι και 3° ανά ft.

Στον πιο σύγχρονο εξοπλισμό, συναντάμε στις θέσης του εργαλείου με άρθρωση και του διευρυντήρα, σταθεροποιητές μικρού μήκους (short stabilizers) οι οποίοι διαθέτουν λεπίδες στην εξωτερική τους επιφάνεια. Κατά την όρυξη του καμπυλόγραμμου τμήματος,



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

με την περιστροφή της στήλης, οι λεπίδες που βρίσκονται κοντά στο κοπτικό άκρο κόβουν το πάνω τοίχωμα της γεώτρησης ενώ οι λεπίδες που βρίσκονται προς το κάτω μέρος του τοιχώματος λειτουργούν ως υπομόχλιο.

Η συγκεκριμένη διάταξη μπορεί να χρησιμεύσει και σαν μηχανισμός διάτρησης των εφαιπτομενικών ή των οριζόντιων τμημάτων της γεώτρησης. Παρόλα αυτά οι σταθεροποιητές που φέρουν λεπίδες αντικαθίστανται από σταθεροποιητές που διαθέτουν δόντια. Αυτοί συνδυάζονται με αντίβαρα μικρού μήκους για να εκτελεστεί η διάτρηση των τμημάτων αυτών με ασφάλεια.

Σύστημα Eastman Whipstock: Είναι το σύστημα που ανέπτυξε η εταιρία Texas Eastern Drilling Systems και προορίζεται αποκλειστικά για την όρυξη γεωτρήσεων μικρού τόξου οριζόντιας κατεύθυνσης. Ο ρυθμός μεταβολή της γωνίας κλίσης που προσφέρει είναι γρήγορος και κυμαίνεται από $1,5^\circ$ με 3° ανά ft. Αυτό του επιτρέπει να αλλάζει την πορεία μιας κατακόρυφης γεώτρησης σε οριζόντια διεύθυνση σε διάστημα 30 με 60 ft.

Το σύστημα αποτελείται από:

- Σφήνα μεγάλης παρέκκλισης
- Μηχανισμό διάτρησης καμπυλόγραμμου τμήματος το οποίο είναι ικανό να σχηματίζει τόξο υπό ακτίνα 20 με 40 ft
- Μηχανισμό διάτρησης ευθύγραμμου-οριζοντίου τμήματος με μήκος που φτάνει τα 200 με 300 ft

Σύστημα Telepilot: Το τηλεκατευθυνόμενο σύστημα αυτό αναπτύχθηκε στα πλαίσια της αντιμετώπισης της ανάγκης ανέλκυσης της διατρητικής στήλης προς την επιφάνεια κάθε φορά που απαιτείται αλλαγή στην πορεία της γεώτρησης και τοποθέτηση διαφορετικών αντίβαρων με παρέκκλιση (bend subs). Αποτελείται από ένα αντίβαρο μεταβλητής κλίσης, του οποίου η λειτουργία ελέγχεται από την επιφάνεια. Διαθέτει δέκα διαφορετικές θέσεις, όπου το αντίβαρο έχει την δυνατότητα να πραγματοποιήσει στροφή 360° σε οριζόντιο επίπεδο, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να μεταβάλει την γωνία κλίσης από 0°



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

μέχρι και 3°. Η επιθυμητή κάθε φορά γωνία κλίσης, καθορίζεται με τηλεχειριστήριο από την επιφάνεια.

Είναι ένα σύστημα ακριβείας που διαθέτει:

- Όργανα εκτέλεσης μετρήσεων για την πορεία της γεώτρησης
- Κινητήρας πυθμένα (downhole motor) που τοποθετείται πίσω από το κοπτικό άκρο

Τα χαρακτηριστικά του το καθιστούν ικανό να πραγματοποιήσει όρυξη καμπυλόγραμμων αλλά και εφαπτομενικών-οριζόντιων τμημάτων της γεώτρησης.

Πολυκρυσταλλικά συμπαγή αδαμαντοτρύπανα: Η ανάπτυξη πολυκρυσταλλικών συμπαγών αδαμαντοτρυπάνων (polycrystalline diamond compact bits / PDC Bits) αποτέλεσαι σημαντικό παράγοντα στην αύξηση του χρόνου λειτουργίας, του μήκους της διάτρησης καθώς και του ρυθμού διάτρησης.



Εικόνα 26: Πολυκρυσταλλικά αδαμαντοτρύπανα

Τα μεγάλα επίπεδα αντοχής τους, επιτρέπουν την συνεχή λειτουργία με αποτέλεσμα την διάτρηση μεγάλων τμημάτων. Αποτελούν υποκατάστατο των τρίκωνων κοπτικών κατά την όρυξη κεκλιμένων γεωτρήσεων που διαθέτουν οριζόντια μετατόπιση σε εκτεταμένο βαθμό, καθώς και στις οριζόντιες γεωτρήσεις μεγάλου τόξου.



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Διατρητικά στελέχη από αλουμίνιο: Κατά την όρυξη υπό κλίση, εμφανίζονται αυξημένες δυνάμεις τριβής μεταξύ της διατρητικής στήλης και των τοιχωμάτων της γεώτρησης. Η δραστική μείωση του βάρους της διατρητικής στήλης, μέσα από χρήση διατρητικών στελεχών τα οποία είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο, έδωσε την λύση σε αυτό το πρόβλημα. Τα στελέχη αυτά διαθέτουν ελαφρύτερη κατασκευή σε σύγκριση με τα χαλύβδινα.

Η αποτελεσματικότητα του αλουμινίου στην διατρητική στήλη επιτυγχάνεται σε συνδυασμό και με άλλους παράγοντες όπως η λιπαντική ικανότητα της λάσπης (oil-based mud), η χρήση κινητήρων πυθμένα και η ελάττωση των συχνών και απότομων αλλαγών στην τροχιά της γεώτρησης.



Εικόνα 27 : Στελέχη αλουμινίου.

Η λεία επιφάνεια τους βοηθά στην σημαντική μείωση των τριβών με τα εδαφικά πετρώματα.

Τα στελέχη αλουμινίου έχουν μεγαλύτερο χρόνο ζωής. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της ευκαμψίας του υλικού που βοηθάει στην μείωση της ανάπτυξης μεγάλων δυνάμεων τριβής, με αποτέλεσμα την μείωση των καταπονήσεων λόγω φθοράς.



Επίσης, το αλουμίνιο ως υλικό διαθέτει διπλάσια αντοχή σε κάμψη σε σύγκριση με τον χάλυβα. Ο συνδυασμός στελεχών χάλυβα και αλουμινίου σε μια διατρητική στήλη, επιτρέπει την σύνθεση της στήλης με τρόπο τέτοιο ώστε να εξυπηρετεί τις όποιες συνθήκες διάτρησης τόσο σε κεκλιμένο όσο και σε οριζόντιο επίπεδο.

Κινητήρες πυθμένα: Ο μηχανισμός ενός κινητήρα πυθμένα βρίσκεται μεταξύ του κοπτικού και της διατρητικής στήλης. Η ενεργοποίηση του γίνεται μέσω της διέλευσης της λάσπης, η οποία δίνει την απαιτούμενη περιστροφική ώθηση στο κοπτικό, χωρίς όμως να περιστρέφεται η στήλη.

Αυτό το χαρακτηριστικό έχει να κάνει με την χρήση του για την όρυξη κεκλιμένων και οριζόντιων γεωτρήσεων. Εξαιτίας της ευκολίας στον τρόπο λειτουργίας του, αντιμετωπίζει αποτελεσματικά το πρόβλημα περιστροφής από την επιφάνεια σε μεγάλο μήκος καθώς και το βάρος της διατρητικής στήλης.

Αποτελεί μέρος των σύγχρονων συστημάτων οδήγησης που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα. Στα συστήματα αυτά, η συνήθεις διάταξη του κατώτερου τμήματος της διατρητικής στήλης αποτελείται από αντίβαρο υπό κλίση, τον κινητήρα πυθμένα και το κοπτικό άκρο. Μέσα από συνεχή εξέλιξη πάνω στον σχεδιασμό και την χρήση αυτών των συστημάτων, υπάρχουν διάφοροι τύποι κινητήρων πυθμένα οι οποίοι διαφέρουν σε ταχύτητα περιστροφής, στο μέγεθος καθώς και στην περιστροφική ώθηση που δίνουν στο κοπτικό άκρο.

Άλλα Συστήματα: Εκτός από τα συστήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, έχουν αναπτυχθεί και άλλα εξίσου σημαντικά συστήματα. Τέτοια είναι:

- Ενιαίο σύστημα οδήγησης στην κορυφή του γεωτρήπανου (Top Drive System)
- Συστήματα εκτέλεσης μετρήσεων κατά τη διάτρηση (Measurements While Drilling Systems)
- Συστήματα οδήγησης του κοπτικού άκρου (Steerable Drilling Systems)
- Συστήματα γεωπροσανατολισμού της γεώτρησης (Steerable Systems)

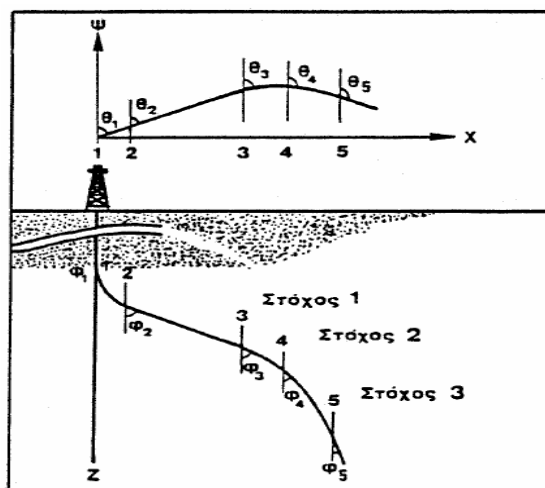


4.6 Σχεδιασμός Κεκλιμένων – Οριζόντιων Γεωτρήσεων

Κατά την φάση του σχεδιασμού, θα πρέπει να προσδιοριστούν οι θέσεις όλων των σημείων πάνω στον άξονα της γεώτρησης αναφορικά με το σημείο έναρξης της επιφάνειας. Για τον ακριβή προσδιορισμό των σημείων ελέγχονται οι εξής παράμετροι:

- Η γωνία κλίσης
- Η γωνία διεύθυνσης
- Το ολικό μετρούμενο βάθος
- Το πραγματικό κατακόρυφο βάθος
- Η ολική οριζόντια μετατόπιση και οι συντεταγμένες A-Δ και B-N

Η βασική μορφή της τροχιάς μπορεί να περιλαμβάνει τα εξής:



Εικόνα 28: Βασικοί τύποι τμημάτων τροχιάς κεκλιμένης γεώτρησης

1. Τμήμα όπου μεταβάλλεται η γωνία κλίσης, καμπυλόγραμμο τμήμα 1-2
2. Εφαπτομενικό ευθύγραμμο τμήμα όπου οι γωνίες κλίσης και διεύθυνσης παραμένουν σταθερές, τμήμα 2-3
3. Τμήμα ελικοειδούς στροφής όπου η γωνία διεύθυνσης μεταβάλλεται, τμήμα 3-4
4. Τμήμα όπου η γωνία κλίσης και διεύθυνσης μεταβάλλονται με ταυτόχρονο ρυθμό, τμήμα 4-5

Αυτά τα τμήματα μπορούν να περιλαμβάνονται σε μια τροχιά είτε χωριστά είτε σε συνδυασμούς αυτών.

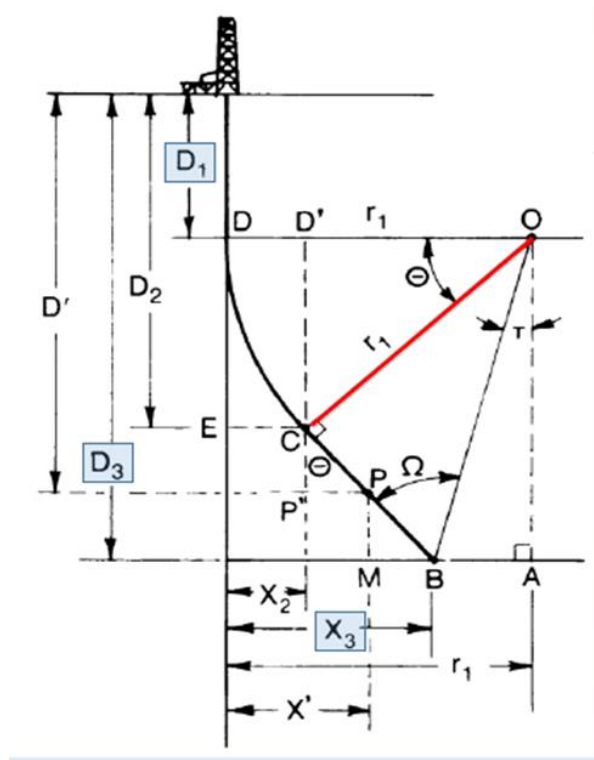


4.6.1 Σχεδιασμός τροχιάς Build and Hold

Για τον σχεδιασμό μιας τροχιάς τύπου Build and Hold, απαιτείται η γνώση ορισμένων στοιχείων τα οποία έχουν ληφθεί μέσω ερευνητικών γεωτρήσεων.

Αυτά τα στοιχεία είναι:

- Το βάθος στο οποίο βρίσκεται ο στόχος, D_3
- Το βάθος στο οποίο βρίσκεται το Kick-Off point, D_1
- Η οριζόντια απόσταση του στόχου από τον κατακόρυφο άξονα που διέρχεται από το σημείο έναρξης στην επιφάνεια X_3
- Τον ρυθμό αύξησης της γωνίας κλίσης α



Εικόνα 29: Γεωμετρικοί παράγοντες μιας γεώτρησης



Αυτές οι τιμές υπολογίζονται με τα εξής βήματα:

- Υπολογισμός γωνίας r_1

$$\frac{q}{1 \text{ ft}} = \frac{360}{2 * \pi * r_1} \Rightarrow r_1 \text{ (ft)} = \frac{180}{\pi} * \frac{1}{q}$$

- Υπολογισμός της μέγιστης γωνίας κλίσης $\theta = \Omega - \tau$

$$\tan \tau = \frac{BA}{AO} = \frac{r_1 - X_3}{D_3 - D_1} \Rightarrow \tau = \tan^{-1} \left(\frac{r_1 - X_3}{D_3 - D_1} \right)$$

$$OB = \sqrt{BA^2 + AO^2} = \sqrt{(r_1 - X_3)^2 + (D_3 - D_1)^2}$$

$$\sin \Omega = \frac{r_1}{OB} \Rightarrow \sin^{-1} \left(\frac{r_1}{\sqrt{(r_1 - X_3)^2 + (D_3 - D_1)^2}} \right)$$

- Το μήκος του καμπυλόγραμμου και του εφαπτομενικού τμήματος.
Τμήματα DC και CB του σχήματος

$$DC = r_1 \left(\theta * \frac{\pi}{180} \right)$$

$$CB = \frac{r_1}{\tan \Omega}$$

Η τροχιά της γεώτρησης σχεδιάζεται ως εξής:

- Κατακόρυφη όρυξη μέχρι το βάθος στο σημείο D_1
- Όρυξη του καμπυλόγραμμου τμήματος, το οποίο έχει μήκος DC με ρυθμό αύξησης της γωνίας κλίσης q
- Διατήρηση του εφαπτομενικού-ευθύγραμμου τμήματος για μήκος CB



4.6.2 Υπολογισμός της έντασης του Dog-Leg

Ο υπολογισμός της έντασης dog-leg ακολουθεί την εξής σειρά:

- Γίνεται μέτρηση της γωνίας κλίσης I_1 , I_2 και του αζιμούθιου Az_1 , Az_2 σε δύο συνεχόμενους σταθμούς.
- ΔI και ΔA αντιστοιχούν στην αλλαγή της κλίσης και της διεύθυνσης
- Η ένταση του dog-leg μετράει για την ολική απόσταση μεταξύ των σταθμών
- Ο γενικός τύπος για τον υπολογισμό της έντασης του dog-leg είναι:

$$DLS = \frac{100}{\Delta MD} \cos^{-1}(\cos(I_1) \cos(I_2) + \sin(I_1) \sin(I_2) \cos(Az_2 - Az_1))$$

Ο τύπος για τις διάφορες περιπτώσεις ισχύει ως εξής:

1. Κατακόρυφη γεώτρηση με $I = Az = 0$

$$DLS = 0$$

2. Κατακόρυφη γεώτρηση με $I_1 = I_2 = 0$

$$DLS = 0$$

3. Αν η τροχιά βρίσκεται σε διδιάστατο επίπεδο, όπως την περίπτωση που εξετάζουμε, τότε το αζιμούθιο δεν αλλάζει.

Οπότε $Az_1 = Az_2$

$$DLS = \frac{100}{\Delta MD} \cos^{-1}(\cos(I_1) \cos(I_2) + \sin(I_1) \sin(I_2))$$



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΕΛΕΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ

ΑΝΤΟΧΗΣ

5.1 Δεδομένα

Για την παρούσα πτυχιακή εργασία επιλέχθηκε ο σχεδιασμός σωλήνωσης μιας γεώτρησης. Το στάδιο αυτό του λεπτομερούς σχεδιασμού της σωλήνωσης, αφορά στον προσδιορισμών όλων των παραμέτρων που μπορούν να επηρεάσουν την σωλήνωση υπό μορφή αστοχίας. Γι' αυτό τον λόγο έγινε η διερεύνηση της καταλληλότερης κατηγορίας σωλήνωσης, με σκοπό τον ορθό σχεδιασμό της γεώτρησης και την συμμόρφωση βάση των προδιαγραφών στις οποίες πρέπει αυτή να ανταποκρίνεται.

Η προς σχεδιασμό γεώτρηση, υπολογίστηκε σε δισδιάστατο κεκλιμένο επίπεδο (no azimuth change), με τύπο τροχιάς S, δηλαδή Build-Hold-Drop και σημείο έναρξης της παρέκκλισης (kick off point) σε βάθος 2,000'.

Για την αποφυγή υπερβολικής κάμψης των καμπύλων σημείων της σωλήνωσης, προβλέφθηκε ανάπτυξη γωνίας το πολύ μέχρι $\alpha=3^{\circ}/100'$. Το πραγματικό κατακόρυφο βάθος (True Vertical Depth) είναι στα 13,000', ενώ η οριζόντια απόσταση (horizontal departure) μεταξύ του wellhead και του στόχου είναι ίση με 5,800'. Εξαιτίας του τύπου της τροχιάς, η διαδρομή που χαράχθηκε επιτρέπει στο γεωτρήπανο να προσεγγίσει το στόχο απόλυτα κατακόρυφα.

Παραστατικά τα δεδομένα έχουν την εξής μορφή:

Γωνία Διεύθυνσης	No azimuth change
Τύπος	Build-Hold-Drop
Kick off Point	2,000'
Horizontal Departure	5,800'
True Vertical Depth	13,000'
Ανάπτυξη Γωνίας	3°/100'

Πίνακας 2: Δεδομένα της υπό σχεδιασμού γεώτρησης



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Η επιλογή του αριθμού των στελεχών σωληνώσεων καθώς για τα αντίστοιχα βάθη τους, βασίζεται στην διερεύνηση των παραγόντων πιέσεων πόρων και πιέσεων θραύσης των σχηματισμών που επρόκειτο να διατηρηθούν. Γι' αυτό τον λόγο χρησιμοποιήθηκαν πίνακες από γειτονικές μετρήσεις με στοιχεία που αφορούν το προφίλ των πιέσεων πόρων και θραύσης. Τα στοιχεία αυτά παρατίθενται στον επόμενο πίνακα.

Sediment depth TVD (ft)	P formation (psi)	P fracture (psi)
Βάθος πετρώματος	Πίεση πόρων	Πίεση θραύσης
2775	1293	2082
3175	1479	2420
3850	1794	3009
4075	1899	3210
4450	2073	3549
5150	2399	4198
5950	2772	4961
6175	2877	5180
6875	3203	5869
7400	3448	6394
7725	3599	6722
7975	3716	6977
8300	3123	7366
8400	2289	7578
8950	3351	8062
8975	2255	8246
9175	2674	8411
9250	3218	8418
9325	4340	8373
9350	4656	8375
9400	4988	8408
9575	5487	8571
9650	6157	8647
9775	6332	8774
9850	6864	8875
9975	7149	9015
10050	7244	9092
10150	7484	9208
10325	7807	9403
10475	7992	9558



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

11140	8903	10263
11325	9039	10440
11725	9437	10839
12300	9957	11405
13000	10628	12100

Πίνακας 4: Προφίλ πιέσεων πόρων και θραύσης από γειτονικές γεωτρήσεις

Από τον πίνακα αυτόν, προκύπτει το προφίλ πιέσεων πόρων και θραύσης το οποίο παρουσιάζεται στο επόμενο γράφημα.



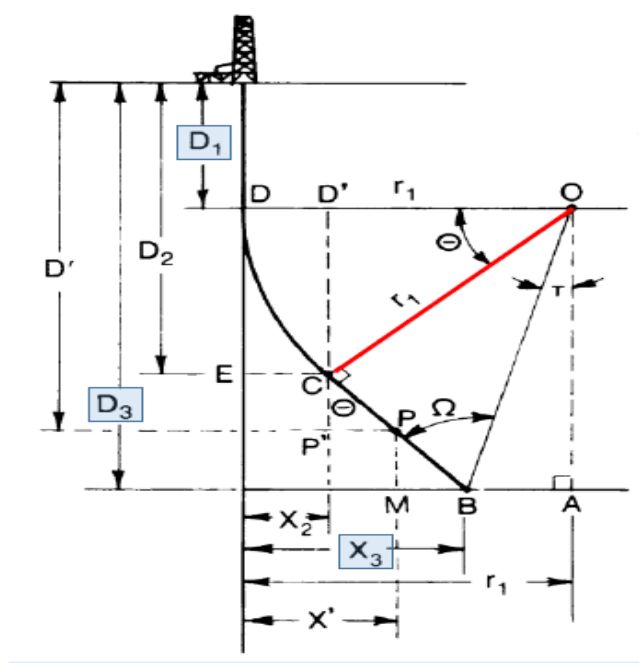
Διάγραμμα 1: Προφίλ πιέσεων πόρων και θραύσης σε σχηματική απεικόνιση.



Με το μπλε χρώμα εμφανίζεται η γραμμή των πιέσεων πόρων ενώ με την κόκκινη η γραμμή των πιέσεων θραύσης. Οι πιέσεις που θα αναπτυχθούν δεν πρέπει να βρίσκονται έξω από το διάστημα πόρος-θραύση. Για αυτό το λόγο επιλέγετε το κατάλληλο casing. Σύμφωνα με τον πίνακα καθώς και με το διάγραμμα, οι βαθμίδες πίεσης πόρων (pore pressure gradients) και οι βαθμίδες ρωγμάτωσης (fracture gradients) των σχηματισμών, θα βοηθήσουν για την εκτίμηση του αριθμού των σωληνώσεων που θα επιλεχθούν και του βάθους έδρασης της κάθε σωλήνωσης.

5.2 Χάραξη διαδρομής

Το πρώτο βήμα που ακολουθήθηκε για τον σχεδιασμό της γεώτρησης πετρελαίου στην παρούσα πτυχιακή εργασία είναι ο υπολογισμός του πραγματικού μήκους της γεώτρησης Measured Depth. Από τον υπολογισμό του, είναι αναμενόμενο να προκύψει λίγο μεγαλύτερο από το κατακόρυφο βάθος (True Vertical Depth) το οποίο είναι ίσο με 13000'.



Εικόνα 30: Παράγοντες γεωμετρίας που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της τροχιάς



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Το πραγματικό βάθος της γεώτρησης υπολογίζεται από το άθροισμα όλων των τμημάτων της γεώτρησης.

Δηλαδή:

$$MD = D + 2 * DC + CB + Drop\ of\ section$$

Όπου:

- Το D αντιστοιχεί στο Kick off Point το οποίο σύμφωνα με τα δεδομένα είναι ίσο με 2000'
- Το DC αντιστοιχεί στα καμπύλα τμήματα τα οποία προκύπτουν είτε σχεδιαστικά, είτε με γεωμετρικούς υπολογισμούς
- Το CB αντιστοιχεί στο σχεδιαστικό μήκος του Tangential section
- Εξαιτίας του ότι το γεωτρύπανο πρέπει να προσεγγίσει το στόχο απόλυτα κατακόρυφα προσθέτουμε το Drop-off section ίσο με 500'

Επίσης έχουμε τα εξής δεδομένα:

- ❖ $r_1 = 1909$
- ❖ Οριζόντια απόσταση στόχου: $X_3 = 5800$
- ❖ $\theta = 32,072$
- ❖ Τα καμπύλα τμήματα υπολογίζονται με τον τύπο $DC = 2 * \pi * r_1 * (\theta/360)$ ο.

Οπότε:

$$DC = 2 * \pi * r_1 * \left(\frac{\theta}{360}\right) = 2 * 3,14 * 1909 * \left(\frac{32,072}{360}\right) = 1068,585653'$$

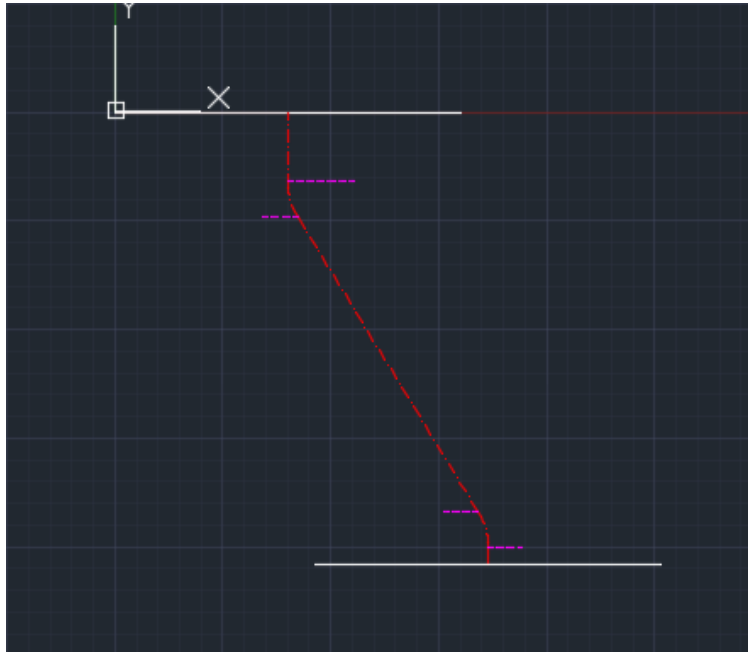
- ❖ Το Tangential section σχεδιαστικά προκύπτει ίσο με 9965,1555

Άρα το πραγματικό βάθος της γεώτρησης είναι:

$$\begin{aligned} MD &= D + 2 * DC + CB + Drop\ of\ section \\ &= 2000 + 2 * 1068,585654 + 9965,1555 + 500 = 14602,32681' \end{aligned}$$



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



Εικόνα 31: Η τροχιά της γεώτρησης όπως φαίνεται σχεδιαστικά στο πρόγραμμα AutoCad. Τα σημεία στα οποία επέρχεται αλλαγή της κλίσης της σωλήνωσης, περιέχονται ανάμεσα στις μωβ οριζόντιες γραμμές.

5.3 Βήματα διαδικασίας επιλογής σωλήνωσης

5.3.1 Εκτίμηση του βάθους σωλήνωσης

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό του βάθους, στο οποίο θα εκτελεστεί κάθε σωλήνωση, είναι η εξής:

1. Αρχικά έγινε ανάλυση του πίνακα πιέσεων πόρων και θραύσης (Πίνακας 1). Με την δημιουργία του γραφήματος έχουμε μια πρώτη εικόνα των πιέσεων που ασκούνται σε κάθε βάθος, σε γειτονικές γεωτρήσεις.
2. Έγινε αύξηση της πίεσης των πόρων κατά 50 psi και μείωση της πίεσης θραύσης κατά 50 psi, ώστε να στενέψει το προφίλ των πιέσεων για λόγους ασφαλείας. Ο πίνακας που προκύπτει από την μείωση και την αύξηση των πιέσεων είναι ο ακόλουθος:



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Sediment depth TVD (ft)	P formation (psi)	P fracture (psi)
Βάθος	Πίεση πόρων	Πίεση θραύσης
2775	1343	2032
3175	1529	2370
3850	1844	2959
4075	1949	3160
4450	2123	3499
5150	2449	4148
5950	2822	4911
6175	2927	5130
6875	3253	5819
7400	3498	6344
7725	3649	6672
7975	3766	6927
8300	3173	7316
8400	2339	7528
8950	3401	8012
8975	2305	8196
9175	2724	8361
9250	3268	8368
9325	4390	8323
9350	4706	8325
9400	5038	8358
9575	5537	8521
9650	6207	8597
9775	6382	8724
9850	6914	8825
9975	7199	8965
10050	7294	9042
10150	7534	9158
10325	7857	9353
10475	8042	9508
11140	8953	10213
11325	9089	10390
11725	9487	10789
12300	10007	11355
13000	10678	12050

Πίνακας 6: Οι πιέσεις πόρων και θραύσης όπως προκύπτουν μετά την προσθαφαίρεση του συντελεστή ασφαλείας



Από την σύνταξη του πίνακα προέκυψε το προφίλ πιέσεων πόρων και θραύσης. Με το πράσινο χρώμα εμφανίζεται η γραμμή των πιέσεων θραύσης ενώ με την μπλε οι πιέσεις πόρων.



Διάγραμμα 2: Το νέο προφίλ πιέσεων πόρων και θραύσης

3. Στην συνέχεια με βάση των στοιχείων του Πίνακα 1, έγινε υπολογισμός του προφίλ των ισοδύναμων πυκνοτήτων $P_{equivalent}$. Από την στήλη των πιέσεων σχηματισμού έγινε υπολογισμός της ισοδύναμης πυκνότητας πόρων, η οποία είναι ίση με:

$$P_{equivalent\ formation} = P_{formation} / (D * 0.052)$$

Αντίστοιχα, για την εύρεση της ισοδύναμης πυκνότητας θραύσης ο υπολογισμός έγινε με τον τύπο:

$$P_{equivalent\ fracture} = P_{fracture} / (D * 0.052).$$

Ο νέος πίνακας που προκύπτει είναι ο εξής:



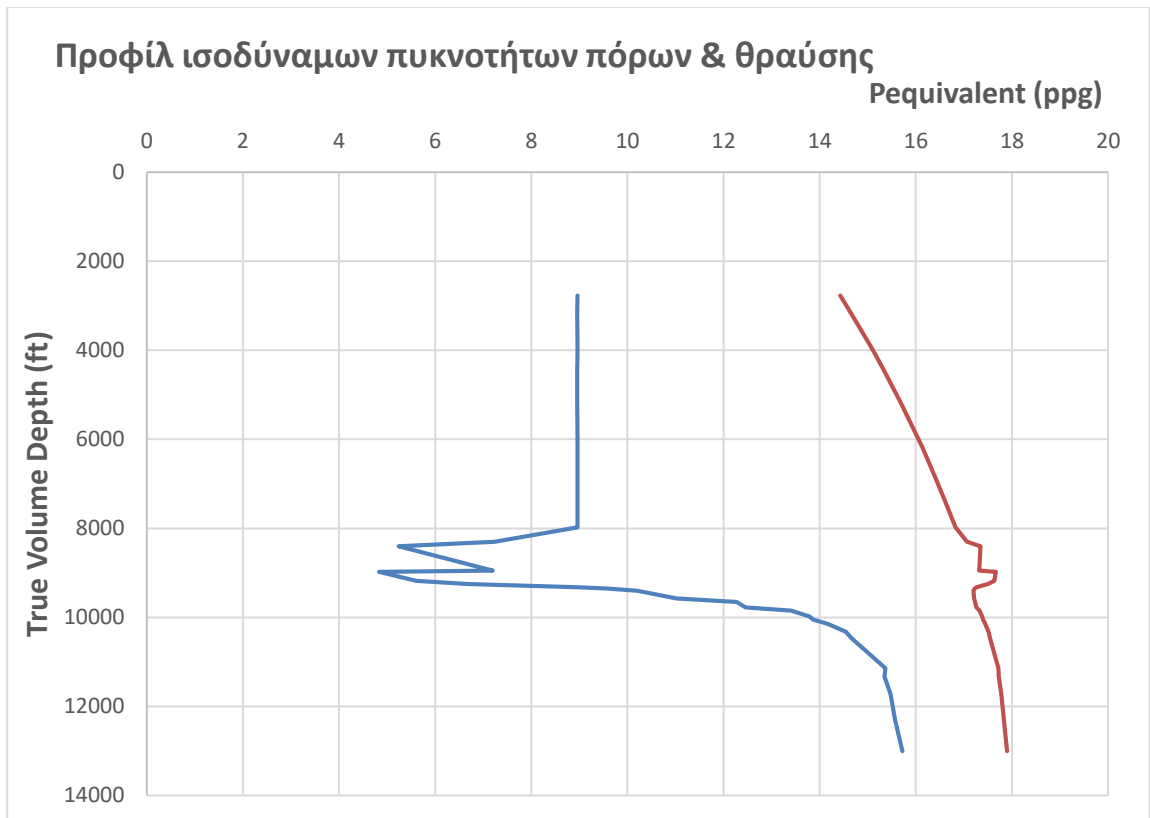
ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Sediment depth TVD (ft)	Req formation (ppg)	Req fracture (ppg)
Βάθος	Πυκνότητα πόρων	Πυκνότητα θραύσης
2775	8,960	14,428
3175	8,958	14,658
3850	8,961	15,030
4075	8,962	15,149
4450	8,959	15,337
5150	8,958	15,676
5950	8,959	16,034
6175	8,960	16,132
6875	8,959	16,417
7400	8,960	16,616
7725	8,959	16,734
7975	8,961	16,824
8300	7,236	17,067
8400	5,240	17,349
8950	7,200	17,323
8975	4,832	17,669
9175	5,605	17,629
9250	6,690	17,501
9325	8,950	17,267
9350	9,576	17,225
9400	10,205	17,201
9575	11,020	17,214
9650	12,270	17,232
9775	12,457	17,261
9850	13,401	17,327
9975	13,783	17,380
10050	13,861	17,398
10150	14,180	17,446
10325	14,541	17,514
10475	14,672	17,547
11140	15,369	17,717
11325	15,349	17,728
11725	15,478	17,778
12300	15,568	17,831
13000	15,722	17,899

Πίνακας 7: Αποτελέσματα υπολογισμών των πυκνοτήτων πόρων και θραύσης



Με το αντίστοιχο προφίλ ισοδύναμων πυκνοτήτων. Εδώ η γραμμή των πυκνοτήτων πόρων παρουσιάζεται με την μπλε γραμμή ενώ η γραμμή πυκνοτήτων θραύσης με την κόκκινη.



Διάγραμμα 3: Προφίλ των ισοδύναμων πυκνοτήτων πόρων και θραύσης σχηματικά

4. Ακολούθησε υπολογισμός τη ισοδύναμης πυκνότητας πόρων και θραύσης χρησιμοποιώντας αυτή την φορά τις πιέσεις με τον συντελεστή ασφαλείας από τον Πίνακα 4 για λόγους ασφαλείας.

Ο νέος πίνακας που προέκυψε είναι ο εξής:



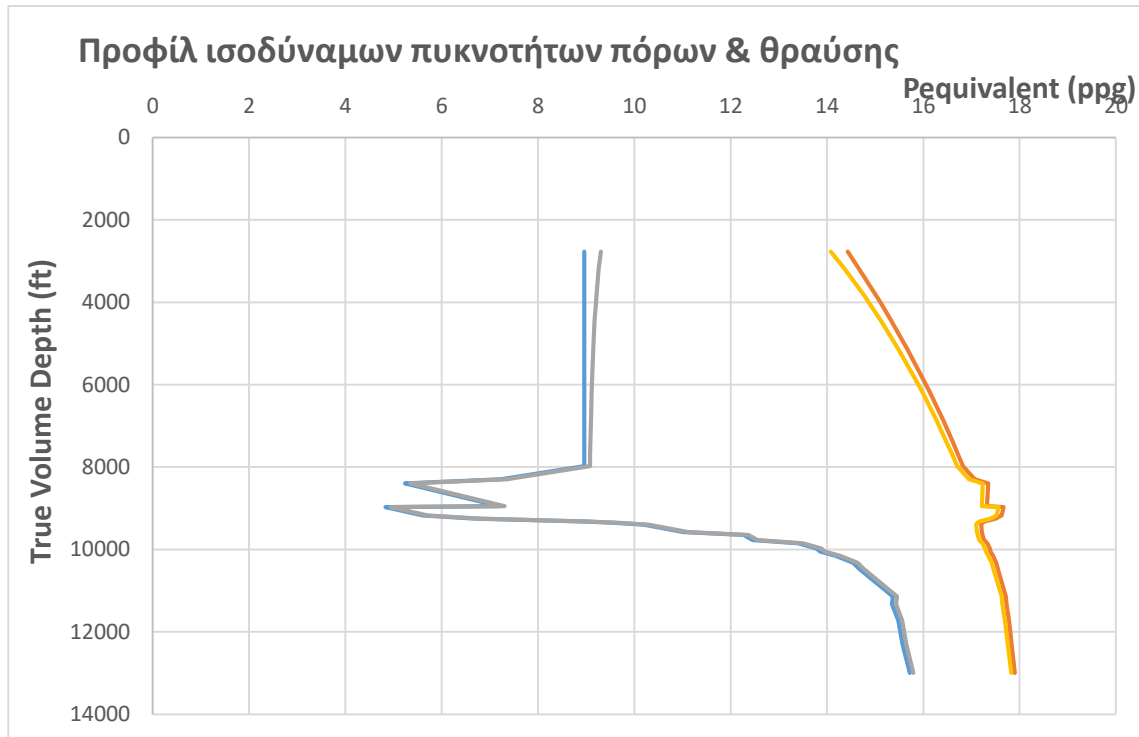
ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Sediment depth TVD (ft)	Req formation (ppg)	Req fracture (ppg)
Βάθος	Πυκνότητα πόρων	Πυκνότητα θραύσης
2775	9,307	14,082
3175	9,261	14,355
3850	9,211	14,780
4075	9,198	14,913
4450	9,175	15,121
5150	9,145	15,489
5950	9,121	15,873
6175	9,116	15,976
6875	9,099	16,277
7400	9,090	16,486
7725	9,084	16,609
7975	9,081	16,704
8300	7,352	16,951
8400	5,355	17,234
8950	7,308	17,215
8975	4,939	17,562
9175	5,709	17,525
9250	6,794	17,397
9325	9,053	17,164
9350	9,679	17,123
9400	10,307	17,099
9575	11,121	17,114
9650	12,369	17,132
9775	12,556	17,163
9850	13,499	17,230
9975	13,879	17,284
10050	13,957	17,302
10150	14,274	17,351
10325	14,634	17,420
10475	14,764	17,455
11140	15,455	17,631
11325	15,434	17,643
11725	15,560	17,696
12300	15,646	17,753
13000	15,796	17,825

Πίνακας 9: Αποτελέσματα υπολογισμών ισοδύναμων πυκνοτήτων πόρων και θραύσης με τις τιμές που περιέχουν συντελεστή ασφαλείας.



5. Συνεχίζοντας δημιουργείται το διάγραμμα ισοδύναμων πυκνοτήτων που συνδυάζει τα δεδομένα του Πίνακα 6 και Πίνακα 8.



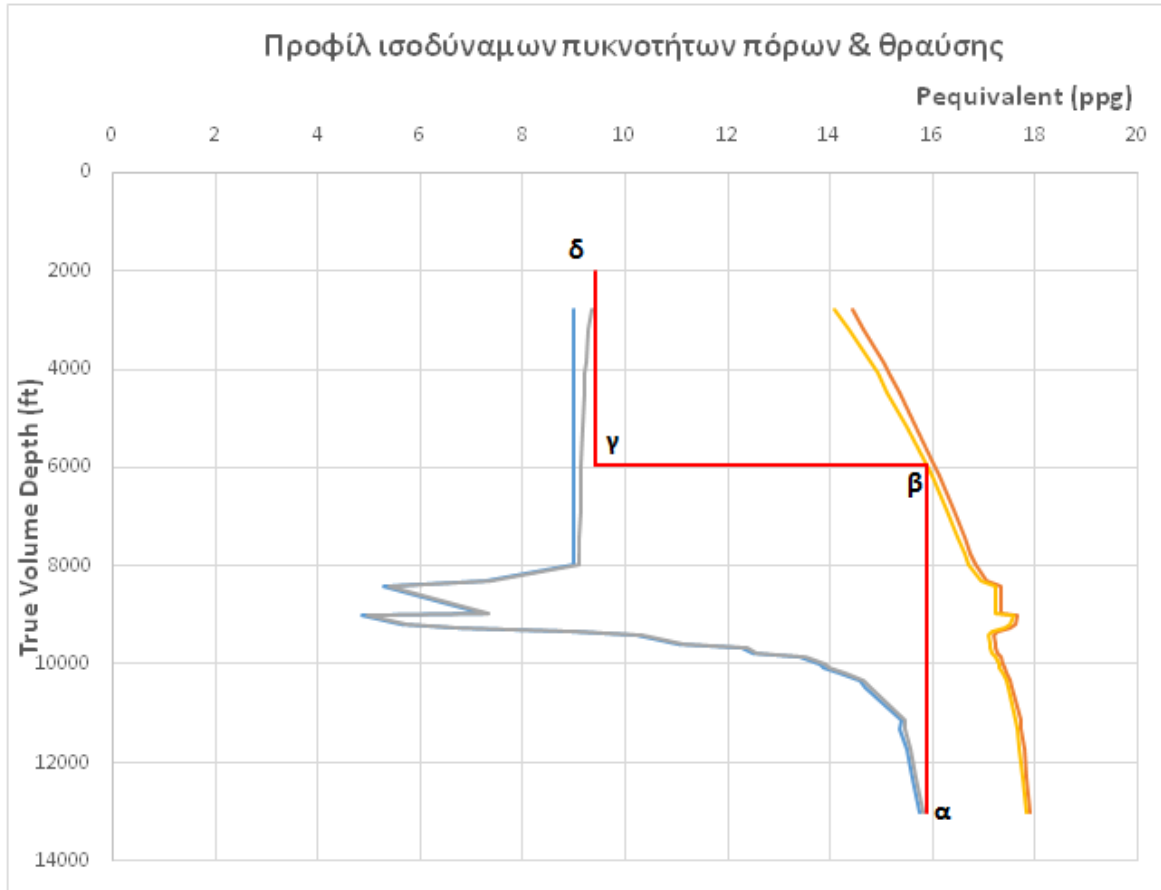
Διάγραμμα 4: Νέο προφίλ ισοδύναμων πυκνοτήτων πόρων και θραύσης.

Οι εξωτερικές γραμμές αριστερά και δεξιά αποτελούν τις πυκνότητες πόρων και θραύσης του πίνακα 6 ενώ οι εσωτερικές των ισοδύναμων πυκνοτήτων πόρων και θραύσης

6. Για τον προσδιορισμό των βαθών στα οποία θα βρίσκεται η κάθε σωλήνωση, χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας 9. Ο σχεδιασμός της σωλήνωσης ξεκινά από το κατώτερο σημείο και ανεβαίνει προς τα πάνω. Ξεκινώντας από το βάθος των 13,000', στο διάγραμμα των ισοδύναμων πυκνοτήτων, φέρουμε μια οριζόντια γραμμή μέχρι αυτή να τμήσει την γραμμή που αντιπροσωπεύει την ισοδύναμη πυκνότητα των πόρων (σημείο α). Από το σημείο α, φέρουμε μια κατακόρυφη γραμμή μέχρι να τμήσει την γραμμή πυκνότητας θραύσης (σημείο β). Από το σημείο β φέρουμε μια οριζόντια γραμμή μέχρις ότου αυτή τμήσει την γραμμή πυκνότητας πόρων (σημείο γ). Από το σημείο γ φέρουμε κάθετη γραμμή μέχρι το βάθος των 2,000' (σημείο δ).



Το διάγραμμα ισοδύναμων πυκνοτήτων προκύπτει ως εξής:



Διάγραμμα 5: Εύρεση του αριθμού των απαιτούμενων σωληνώσεων

Εξαιτίας του ότι η γραμμή της πυκνότητας πόρων έχει μια κλίση προς τα δεξιά, η οριζόντια γραμμή σταμάτησε λίγο πριν το σημείο τομής. Αυτό έγινε εξαιτίας του ότι στις οριζόντιες γραμμές, κάθε σημείο τομής με τη γραμμή της πυκνότητας πόρων, αποτελεί το σημείο καθορισμού της πυκνότητας της λάσπης που είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί κατά την διάτρηση του τμήματος στο συγκεκριμένο βάθος, που περιέχεται στην περιοχή μεταξύ δύο σημείων τομής.

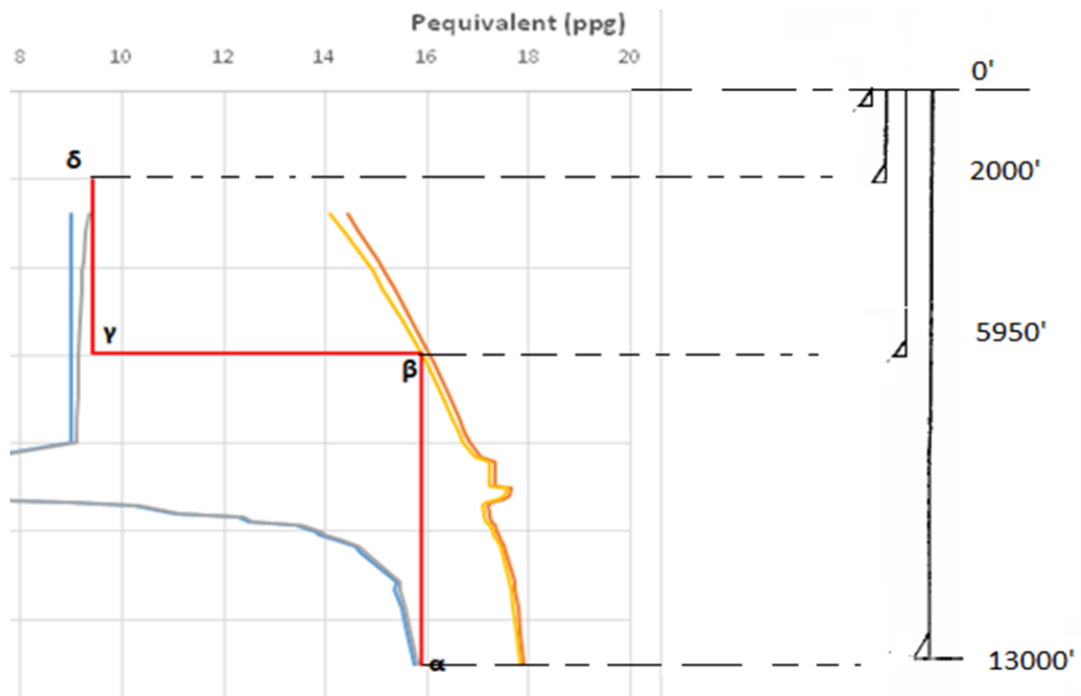


Αυτές περιγράφονται στον επόμενο πίνακα.

Sediment depth TVD (ft)	Req (ppg)
13000	15,86982249
5950	15,86982249
5950	9,4
2000	9,4

Πίνακας 10: Σημεία στα οποία επέρχεται αλλαγή στην σωλήνωση

Από τις κάθετες γραμμές και τα σημεία τομής τους με την γραμμή των πυκνοτήτων θραύσης, προκύπτουν τα βάθη στα οποία γίνεται η αλλαγή στην σωλήνωση. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται ο προσδιορισμός των βαθών αλλά και των τύπων των σωληνώσεων που θα χρησιμοποιηθούν για την σωλήνωση της γεώτρησης.



Εικόνα 32: Καθορισμός Βαθών - στελεχών σωλήνωσης από το προφίλ ισοδύναμων πυκνοτήτων πόρων και θραύσης



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

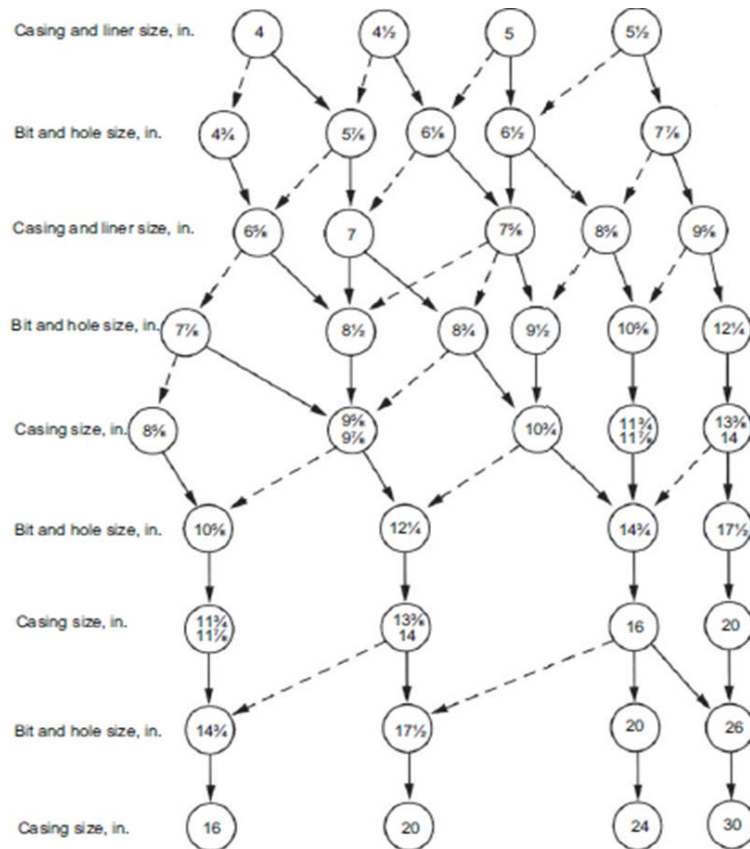
Στην συγκεκριμένη περίπτωση, προέκυψε ότι μαζί με τις σωληνώσεις επαφής και επιφανειακή, οι οποίες θα προστατεύουν τον υδροφόρο ορίζοντα, πρέπει να χρησιμοποιηθεί μία μόνο ενδιάμεση σωλήνωση, πριν από την παραγωγική.

- Σωλήνωση επαφής - conductor shoe: 0 - 100'
- Επιφανειακή σωλήνωση – surface casing shoe: 0 - 2000'
- Ενδιάμεση σωλήνωση - intermediate casing show: 0 - 5950'
- Σωλήνωση παραγωγής- production casing shoe: 0-13000'



5.3.2 Επιλογή διαμέτρων σωλήνωσης και έλεγχος αντοχής

Η διαδικασία επιλογής διατομών για τις σωληνώσεις και τα κοπτικά άκρα έγινε με την βοήθεια του διαγράμματος επιλογής κοπτικών άκρων και σωληνώσεων. Για την σωλήνωση παραγωγής επιλέγεται διάμετρος 7 5/8". Από εκεί ακολούθησε πορεία προς τα κάτω επιλέγοντας την επόμενη διατομή για bit hole.



Εικόνα 33: Διάγραμμα επιλογής κοπτικών άκρων και σωληνώσεων

Στην συνέχεια έγινε επιλογή διατομής του επόμενου στελέχους σωληνώσεων κ.τ.λ.

Οι διατομές των σωληνώσεων και των κοπτικών που επιλέγηκαν είναι οι εξής:

7 5/8" – 8 3/4" – 9 5/8" – 10 5/8" – 11 3/4" – 14 3/4" – 16"



Μετά από την επιλογή των διαμέτρων των σωληνώσεων έγινε η επιλογή κατηγορίας τους (grade) σύμφωνα με τις προδιαγραφές του API.

- Για την σωλήνωση παραγωγής, η οποία έχει διάμετρο 7 5/8", επιλέγεται κατηγορία σωλήνωσης C-95.
- Για την ενδιάμεση σωλήνωση η οποία έχει διάμετρο 9 5/8", επιλέγεται κατηγορία σωλήνωσης C-75.
- Για την επιφανειακή σωλήνωση η οποία έχει διάμετρο 11 3/4", επιλέγεται κατηγορία σωλήνωσης C-75.
- Για την σωλήνωση επαφής, η οποία έχει διάμετρο 16", επιλέγεται κατηγορία σωλήνωσης K-55.

Από τους πίνακες γεωμετρικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των σωληνώσεων κατά API, έγινε η επιλογή των λοιπών διαστάσεων, εξωτερικής διαμέτρου και πάχους τοιχώματος, καθώς και οι θεωρητικές τιμές όπως η αντοχή διαρροής και η αντοχή κατάρρευσης.

Size Outside Diameter (in.)	Nominal Weight Threads and Coupling (lbm/ft)	Grade	Wall Thickness (in.)	Inside Diameter (in.)	Drift Diameter (in.)	Outside Diameter of Coupling (in.)	Outside Diameter Special Clearance (in.)	Drift Diameter (in.)	Outside Diameter of Box Powertight (in.)	Collapse Resistance (psi)	Pipe Body Yield Strength (1,000 lbf)
7 5/8"	26.40	L-80	0.328	6.969	6.844	8.500	8.125	6.750	8.010	3,400	602
	29.70	L-80	0.375	6.875	6.750	8.500	8.125	6.750	8.010	4,790	683
	33.70	L-80	0.430	6.785	6.640	8.500	8.125	6.640	8.010	6,560	778
	39.00	L-80	0.500	6.625	6.500	8.500	8.125	6.500	8.010	8,820	895
	42.80	L-80	0.562	6.501	6.376	8.500	8.125	—	—	10,810	998
	45.30	L-80	0.595	6.435	6.310	8.500	8.125	—	—	11,510	1,051
	47.10	L-80	0.625	6.375	6.250	8.500	8.125	—	—	12,040	1,100
	26.40	N-80	0.328	6.969	6.844	8.500	8.125	6.750	8.010	3,400	602
	29.70	N-80	0.375	6.875	6.750	8.500	8.125	6.750	8.010	4,790	683
	33.70	N-80	0.430	6.785	6.640	8.500	8.125	6.640	8.010	6,560	778
39.00	N-80	0.500	6.625	6.500	8.500	8.125	6.500	8.010	8,820	895	
42.80	N-80	0.562	6.501	6.376	8.500	8.125	—	—	10,810	998	
45.30	N-80	0.595	6.435	6.310	8.500	8.125	—	—	11,510	1,051	
47.10	N-80	0.625	6.375	6.250	8.500	8.125	—	—	12,040	1,100	
26.40	C-90	0.328	6.969	6.844	8.500	8.125	6.750	8.010	3,610	677	
29.70	C-90	0.375	6.875	6.750	8.500	8.125	6.750	8.010	5,040	769	
33.70	C-90	0.430	6.785	6.640	8.500	8.125	6.640	8.010	7,050	875	
39.00	C-90	0.500	6.625	6.500	8.500	8.125	6.500	8.010	9,620	1,007	
42.80	C-90	0.562	6.501	6.376	8.500	8.125	—	—	11,890	1,122	
45.30	C-90	0.595	6.435	6.310	8.500	8.125	—	—	12,950	1,183	
47.10	C-90	0.625	6.375	6.250	8.500	8.125	—	—	13,540	1,237	

Εικόνα 34: Πίνακας γεωμετρικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των τυποποιημένων σωληνώσεων για διάμετρο 7 5/8" σύμφωνα με το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Πετρελαίου.



Στην συνέχεια, συντάχθηκε ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας με το Measured Depth.

α/α	Βάθη	Outside Diameter (in.)	t = Wall Thickness (in.)	Grade	Μήκος (ft) MD
Conductor	0-100'	16	0,438	K-55	100
Bit and hole size	14 3/4				
Surface	0-2000'	11 3/4	0,435	K- 55	2000
Bit and hole size	10 5/8				
Indermediate	0-9250'	9 5/8	0,395	C-75	6517,021
Bit and hole size	8 3/4				
Production	0-13000'	7 5/8	0,625	C-95	14602,327

Πίνακας 11: Γενικά χαρακτηριστικά σωληνώσεων της γεώτρησης σύμφωνα με τους πίνακες του Αμερικανικού Ινστιτούτου Πετρελαίου.

α/α	Collapse Resistance	σ yield (lbf)	Burst
Conductor	1020	1178	2630
Bit and hole size			
Surface	2070	850	3560
Bit and hole size			
Indermediate	2990	859	5390
Bit and hole size			
Production	14300	1306	13630

Πίνακας 12: Θεωρητικές τιμές υλικών έχουν συλλεχθεί από τους πίνακες του Αμερικανικού Ινστιτούτου Πετρελαίου

Με τα στοιχεία αυτά έγιναν υπολογισμοί ελέγχου για εσωτερικές πιέσεις (burst), εξωτερικές πιέσεις (collapse) καθώς και έλεγχος για αξονική καταπόνηση.



1. Αξονική καταπόνηση

Η εφελκυστική δύναμη της σωλήνωσης καθορίζει την αντοχή διαρροής της ως το αξονικό φορτίο του σωλήνα, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα η καταπόνηση να είναι ίση με την ελάχιστη καθορισμένη αντοχή διαρροής του υλικού. Έχοντας επιλέξει σωληνώσεις σύμφωνα με τις προδιαγραφές της API, χρησιμοποιήθηκαν οι ονομαστικές τιμές της OD(εξωτερική διάμετρος) και ID(εσωτερική διάμετρος). Γι' αυτό τον λόγο ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της αξονικής αντοχής είναι ο εξής:

$$F_{ten} = A_s * \sigma_{yield}$$

Όπου: $A_s = (\pi * (d_n^2 - d^2)) / 4$

Οπότε:

- Για την σωλήνωση παραγωγής, διαμέτρου 7 5/8'' και κατηγορίας C-95:

$$A_s = (\pi * (d_n^2 - d^2)) / 4 = (3,14 * (7,626^2 - 0,625^2)) / 4 = 13,744 \text{ in}^2$$

$$F_{ten} = A_s * \sigma_{yield} = 13,744 \text{ in}^2 * 95000 \text{ lb/in}^2 = 1.305.724 \text{ lbf}$$

- Για την ενδιάμεση σωλήνωση, διαμέτρου 9 5/8'' και κατηγορίας C-75:

$$A_s = (\pi * (d_n^2 - d^2)) / 4 = (3,14 * (9,625^2 - 0,395^2)) / 4 = 11,454 \text{ in}^2$$

$$F_{ten} = A_s * \sigma_{yield} = 11,454 \text{ in}^2 * 75000 \text{ lb/in}^2 = 859.033 \text{ lbf}$$

- Για την επιφανειακή σωλήνωση, διαμέτρου 11 3/4'' και κατηγορίας K-55:

$$A_s = (\pi * (d_n^2 - d^2)) / 4 = (3,14 * (11,75^2 - 0,435^2)) / 4 = 15,463 \text{ in}^2$$

$$F_{ten} = A_s * \sigma_{yield} = 15,463 \text{ in}^2 * 55000 \text{ lb/in}^2 = 850.465 \text{ lbf}$$

- Για την σωλήνωση επαφής, διαμέτρου 16'' και κατηγορίας K-55:

$$A_s = (\pi * (d_n^2 - d^2)) / 4 = (3,14 * (16^2 - 0,438^2)) / 4 = 21,414 \text{ in}^2$$

$$F_{ten} = A_s * \sigma_{yield} = 21,414 \text{ in}^2 * 55000 \text{ lb/in}^2 = 1.177.747 \text{ lbf}$$



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Από τα αποτελέσματα, συγκρίνουμε με τις τιμές που έχουν ορισθεί κατά API, στον ακόλουθο πίνακα:

α/α	σ_{yield} (lbf)	F_{tension} (lbf)
Conductor	1.178.000	1.177.747
Bit and hole size		
Surface	850.000	850.465
Bit and hole size		
Indermediate	859.000	859.033
Bit and hole size		
Production	1.306.000	1.305.724

Πίνακας 13: Αποτελέσματα ελέγχου σε εφελκυστική καταπόνηση και σύγκρισή τους με τις αντίστοιχες θεωρητικές τιμές

Βλέπουμε ότι οι αριθμοί επαληθεύονται για τις σωληνώσεις με τις συγκεκριμένες διαστάσεις.



2. Έλεγχος αντοχής σε διάρρηξη (Burst)

Η διάρρηξη στις σωληνώσεις αποτελεί την αστοχία προς το εσωτερικό εξαιτίας των υδροστατικών πιέσεων που ασκούνται από το εξωτερικό περιβάλλον της. Για την εκτίμηση της εσωτερικής πίεσης, χρησιμοποιήθηκε ο τύπος του Barlow:

$$P_{cr} = f [(2\sigma_{yield} t)/d_n]$$

Όπου το f αποτελεί τον συντελεστή διόρθωσης του πάχους του τοίχου της σωλήνωσης και ισούται με 0,875.

Οπότε:

- Για την σωλήνωση παραγωγής, διαμέτρου 7 5/8'' και κατηγορίας C-95:
 $P_{cr} = f [(2\sigma_{yield} t)/d_n] = 0,875 * [(2 * 95000 * 0,625) / 7,625] = 13627,05 \text{ psi}$
- Για την ενδιάμεση σωλήνωση, διαμέτρου 9 5/8'' και κατηγορίας C-75:
 $P_{cr} = f [(2\sigma_{yield} t)/d_n] = 0,875 * [(2 * 75000 * 0,395) / 9,625] = 5386,36 \text{ psi}$
- Για την επιφανειακή σωλήνωση, διαμέτρου 11 3/4'' και κατηγορίας K-55:
 $P_{cr} = f [(2\sigma_{yield} t)/d_n] = 0,875 * [(2 * 55000 * 0,435) / 11,75] = 3563,30 \text{ psi}$
- Για την σωλήνωση επαφής, διαμέτρου 16'' και κατηγορίας K-55:
 $P_{cr} = f [(2\sigma_{yield} t)/d_n] = 0,875 * [(2 * 55000 * 0,438) / 16] = 2634,84 \text{ psi}$



Σύμφωνα με τον κανονισμό πρέπει τα πάχη των σωληνώσεων να στρογγυλοποιούνται κατά 0,001 in και τα αποτελέσματα του τύπου του Barlow να στρογγυλοποιούνται στην πλησιέστερη δεκάδα. Κάνοντας τις στρογγυλοποιήσεις στα αποτελέσματα προκύπτει ο επόμενος πίνακας.

α/α	Ορισμένη τιμή Burst	Burst Resistance (psi)
Conductor	2630	2634,84 → 2630
Bit and hole size		
Surface	3560	3563,30 → 3560
Bit and hole size		
Indermediate	5390	5386,36 → 5390
Bit and hole size		
Production	13630	13627,05 → 13630

Πίνακας 14: Αποτελέσματα υπολογισμών αντοχής σε διάρρηξη και σύγκριση τους με τις αντίστοιχες θεωρητικές τιμές.

3. Έλεγχος σε εξωτερικές πιέσεις – Κατάρρευση

Η κατάρρευση μια σωλήνωσης επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως η παραμόρφωση, ο λόγος εξωτερικής διαμέτρου προς το πάχος τοιχώματος, το όριο διαρροής και άλλα.

Σύμφωνα με την API, ο λόγος της εξωτερικής διαμέτρου με το πάχος τοιχώματος καθώς και το ελάχιστο όριο διαρροής, χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό του τύπου που πρέπει να χρησιμοποιηθεί.

Για την εύρεση των τύπων υπολογισμού της κατάρρευσης, χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω πίνακας και το παρακάτω διάγραμμα.

Σε αυτά καθορίζεται σε ποια περιοχή εμπίπτει ο λόγος d_n/t και αναλόγως επιλέγεται ο κατάλληλος τύπος.



Grade*	←Yield Strength→ Collapse	←Plastic→ Collapse	←Transition→ Collapse	←Elastic→ Collapse
H-40	16.40	27.01		42.64
-50	15.24	25.63		38.83
J-K-55 & D	14.81	25.01		37.21
-60	14.44	24.42		35.73
-70	13.85	23.38		33.17
C-75 & E	13.60	22.91		32.05
L-80 & N-80	13.38	22.47		31.02
C-90	13.01	21.69		29.18
C-95	12.85	21.33		28.36
-100	12.70	21.00		27.60
P-105	12.57	20.70		26.89

Εικόνα 35: Ο λόγος d_n/t για κάθε κατηγορία χάλυβα και οι περιοχές στις οποίες εμπίπτουν

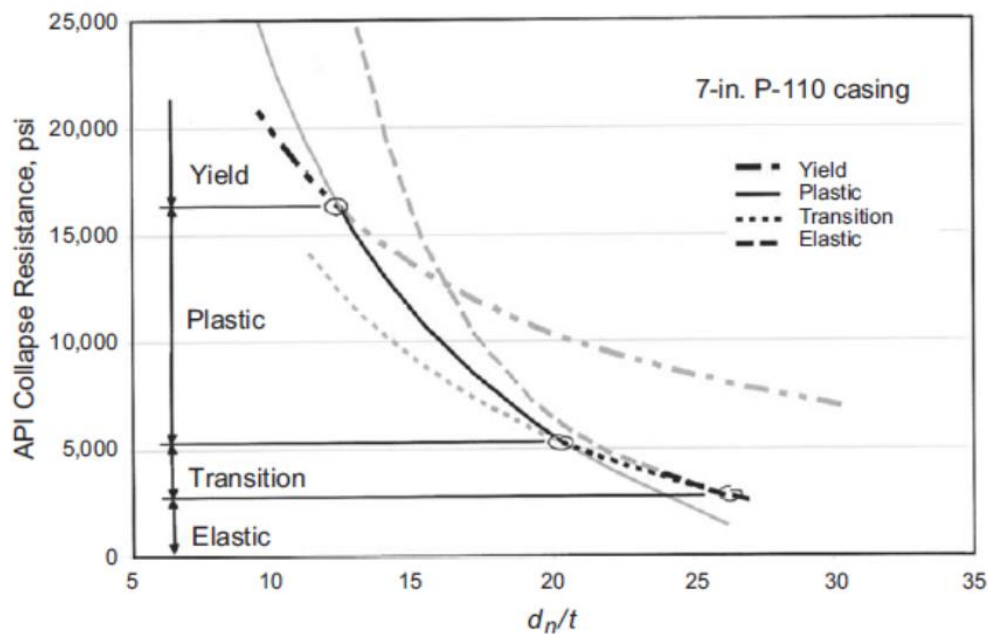


Fig. 7.6—Collapse modes.

Εικόνα 36: Ο λόγος d_n/t και οι περιοχές στις οποίες εμπίπτει



Οι τύποι που υπάρχουν κατά API ανάλογα με την περιοχή στην οποία εμπίπτουν είναι:

- Περιοχή Διαρροής:

$$P_{cr} = 2 \sigma_{yield} \frac{\frac{dn}{t} - 1}{\frac{dn^2}{t}}$$

- Πλαστική περιοχή:

$$P_{cr} = \sigma_{yield} \left[\frac{F_1}{\frac{dn}{t}} - F_2 \right] - F_3$$

- Μεταβατική περιοχή:

$$P_{cr} = \sigma_{yield} \left[\frac{F_4}{\frac{dn}{t}} - F_5 \right]$$

- Ελαστική περιοχή:

$$P_{cr} = \frac{46,95 * 10^6}{\frac{dn}{t} * \left[\frac{dn}{t} - 1 \right]^2}$$

Για τον καθορισμό των τιμών F_1 , F_2 , F_3 , F_4 και F_5 , χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας εμπειρικών τιμών αυτών των παραγόντων.

Grade*	Empirical Coefficients				
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
H-40	2.950	0.0465	754	2.063	0.0325
-50	2.976	0.0515	1,056	2.003	0.0347
J-K 55 & D	2.991	0.0541	1,206	1.989	0.0360
-60	3.005	0.0566	1,356	1.983	0.0373
-70	3.037	0.0617	1,656	1.984	0.0403
C-75 & E	3.054	0.0642	1,806	1.990	0.0418
L-80 & N-80	3.071	0.0667	1,955	1.998	0.0434
C-90	3.106	0.0718	2,254	2.017	0.0466
C-95	3.124	0.0743	2,404	2.029	0.0482
-100	3.143	0.0768	2,553	2.040	0.0499
P-105	3.162	0.0794	2,702	2.053	0.0515
P-110	3.181	0.0819	2,852	2.066	0.0532

Εικόνα 37: Οι εμπειρικοί αριθμοί των παραγόντων που ισχύουν για κάθε κατηγορία



Υπολογισμός τιμών:

- Για την σωλήνωση παραγωγής, διαμέτρου 7 5/8" και κατηγορίας C-95:

$$d_n/t = 7,625 / 0,625 = 12,200$$

Σύμφωνα με τον πίνακα 16, ο λόγος d_n/t εμπίπτει στην περιοχή διαρροής.

Επομένως έχουμε:

$$P_{cr} = 2 \sigma_{yield} \frac{\frac{d_n}{t} - 1}{\frac{d_n^2}{t}} = 2 * 95000 \frac{12,200 - 1}{12,200^2} = 14297 \text{ psi}$$

- Για την ενδιάμεση σωλήνωση, διαμέτρου 9 5/8" και κατηγορίας C-75:

$$d_n/t = 9,625 / 0,395 = 24,367$$

Σύμφωνα με τον πίνακα 16, ο λόγος d_n/t εμπίπτει στην πλαστική περιοχή.

Επομένως έχουμε:

$$P_{cr} = \sigma_{yield} \left[\frac{F1}{\frac{d_n}{t}} - F2 \right] - F3 = 75000 \left[\frac{3,054}{24,367} - 0,0642 \right] - 1,080 = 2990 \text{ psi}$$

- Για την επιφανειακή σωλήνωση, διαμέτρου 11 3/4" και κατηγορίας K-55:

$$d_n/t = 11,75 / 0,435 = 27,011$$

Σύμφωνα με τον πίνακα 16, ο λόγος d_n/t εμπίπτει στην μεταβατική περιοχή.

Επομένως έχουμε:

$$P_{cr} = \sigma_{yield} \left[\frac{F4}{\frac{d_n}{t}} - F5 \right] = 55000 \left[\frac{1,989}{27,011} - 0,036 \right] = 2070 \text{ psi}$$



- Για την σωλήνωση επαφής, διαμέτρου 16'' και κατηγορίας K-55:

$$dn/t = 16 / 0,438 = 36,530$$

Σύμφωνα με τον πίνακα 16, ο λόγος dn/t εμπίπτει στην μεταβατική περιοχή.

Επομένως έχουμε:

$$P_{cr} = \sigma_{yield} \left[\frac{F4}{\frac{dn}{t}} - F5 \right] = 55000 \left[\frac{1,989}{36,530} - 0,036 \right] = 1015 \text{ psi}$$

Συγκεντρώνοντας τα αποτελέσματα σε έναν πίνακα έχουμε:

α/α	dn/t	Θεωρητική τιμή Collapse Resistance	Collapse Resistance (psi)
Conductor	36,530	1020	1015
Bit and hole size			
Surface	27,011	2070	2070
Bit and hole size			
Intermediate	24,367	2990	2990
Bit and hole size			
Production	12,200	14300	14297

Πίνακας 15: Αποτελέσματα υπολογισμών αντοχής σε κατάρρευση. Εμφανίζονται τιμές για τον λόγο dn/t , την θεωρητική τιμή αντοχής καθώς και οι τιμές αντοχής σε κατάρρευση που προέκυψαν από τους υπολογισμούς.

Βλέπουμε ότι οι αριθμοί επαληθεύονται για τον έλεγχο σε θλίψη.

Από τον έλεγχο και των τριών περιπτώσεων αστοχίας, συμπεραίνουμε ότι οι σωληνώσεις που επιλέξαμε, με αυτά τα πάχη τοιχώματος και λοιπές διαστάσεις επαρκούν στις απαιτήσεις αντοχής.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Γενικά συμπεράσματα για τις κεκλιμένες γεωτρήσεις

Ο σχεδιασμός και η λειτουργία κεκλιμένων γεωτρήσεων έχει επιφέρει μεγάλη ανάπτυξη στον τρόπο εκμετάλλευσης κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου. Για τον σωστό σχεδιασμό απαιτείται ένας συνδυασμός γνώσεων, εμπειρίας και διαθέσιμων τεχνολογικών μέσων.

Παράγοντες όπως η θέση στην οποία βρίσκεται ένα κοίτασμα, η ποσότητα που περιέχει και η ποιότητα του υλικού παίζουν ουσιαστικό λόγο στην επιλογή των κατάλληλων χαρακτηριστικών που θα απαρτίζουν την προς σχεδίαση γεώτρηση. Σήμερα, το ποσοστό χρήσης κατευθυνόμενων διατρήσεων, σε παγκόσμια κλίμακα φτάνει το 50%. Αυτό είναι ένα πολύ αξιόλογο ποσοστό αφού τα περισσότερα ευρήματα παραγωγικής και βιώσιμης πηγής βρίσκονται σε δυσπρόσιτες περιοχές ή σε περιοχές όπου ισχύουν ειδικοί περιορισμοί.

Επίσης οι συνθήκες του υπεδάφους προσδιορίζουν τόσο τον τύπο της τροχιάς όσο και τον μηχανολογικό εξοπλισμό που απαιτείται για την όρυξη της γεώτρησης μέχρι να προσεγγιστεί το επιθυμητό βάθος όπου βρίσκεται ο στόχος.

Σε κάθε περίπτωση, με συμπεριλαμβανομένου όλων των παραγόντων και των συνθηκών η επιλογή της βέλτιστης κάθε φορά τροχιάς για την προσέγγιση ενός στόχου αποτελεί ένα κρίσιμο στάδιο του σχεδιασμού κεκλιμένων γεωτρήσεων.



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

6.2 Γενικά Συμπεράσματα για την επιλογή και τον σχεδιασμό σωληνώσεων

Ο σχεδιασμός της σωλήνωσης μιας γεώτρησης επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως:

- Τις πιέσεις που δέχεται από το περιβάλλον της
- Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της διαθέσιμης σωλήνωσης όπως η αντοχή κ.α.
- Το βαθμό φθοράς που μπορεί να υποστεί η σωλήνωση κατά την λειτουργία της τόσο από το υλικό παραγωγής όσο και από το περιβάλλον της
- Τους διαθέσιμους τύπους σωλήνωσης στις αντίστοιχες ποιότητες
- Τις συνθήκες φόρτισης κατά την όρυξη της γεώτρησης και την παραγωγή

Ο σχεδιασμός της σωλήνωσης είναι σημαντικός για την προστασία και την ανεμπόδιστη λειτουργία μιας γεώτρησης. Μέσα από την επιλογή της κατάλληλης ποιότητας χάλυβα, των μεγεθών της σωλήνωσης καθώς και όλων των επιμέρους μηχανικών χαρακτηριστικών, επιτυγχάνεται ένας ορθός και ολοκληρωμένος σχεδιασμός.



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

- [E%99%CE%95%CE%A5%CE%A4%CE%97%CE%A1%CE%A9%CE%9D-B%CE%91%CE%A1%CE%9F%CE%A4%CE%A3%CE%97%CE%A3.compressed.pdf](#)
3. <https://www.scribd.com/document/177542357/drilling-engineering-lecture-2>
 4. <http://pgengineering.blogspot.gr/2009/09/directional-drilling.html>
 5. <https://drilleng-group5-directionaldrilling-2.wikispaces.com/How+the+well+is+able+to+be+deviated>
 6. <http://www.netwasgroup.us/directional-2/features-of-a-directional-well-profile.html>
 7. <http://www.offshore-mag.com/articles/print/volume-76/issue-6/equipment-engineering/new-tools-and-technology-for-the-offshore-industry.html>
 8. <http://directionaldrilling.blogspot.gr/2011/07/rotary-assemblies-building-assembly.html>
 9. <http://petroleumsupport.com/downhole-cementing-equipment/>
 10. <http://oiltechcn.com/productscategory.php?id=103>
 11. <http://zschinajixie.en.made-in-china.com/product/hXiJRgDYRmrL/China-API-Casing-Float-Shoes-and-Float-Collars.html>
 12. <http://www.geotriseis.com/>