



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Ανάλυση και εκτίμηση κόστους γεωτρήσεων υδρογονανθράκων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Ευθυμιάδου Μαρίας - Σοφίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια : Σταματάκη Σοφία, Καθηγήτρια ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, 2018



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Ανάλυση και εκτίμηση κόστους γεωτρήσεων υδρογονανθράκων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Ευθυμιάδου Μαρίας - Σοφίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια : Σοφία Σταματάκη, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις __/__/2018

.....

Σταματάκη Σοφία

Καθηγήτρια, ΕΜΠ

.....

Αποστολόπουλος Γεώργιος

Αναπληρωτής Καθηγητής,
ΕΜΠ

.....

Δαμίγος Δημήτριος

Αναπληρωτής Καθηγητής,
ΕΜΠ

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας αυτή τη διπλωματική εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Καθηγήτρια του Τομέα Μεταλλευτικής της Σχολής Μηχανικών – Μεταλλείων Μεταλλουργών κα. Σοφία Σταματάκη, για τις συμβουλές και την βοήθεια της τόσο κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας όσο και στην εξέλιξη των σπουδών μου.

Επίσης θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου και ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου για την αμέριστη στήριξη, υπομονή και συμπαράσταση που μου προσέφερε και μου προσφέρει σε όλα τα στάδια της ζωής μου. Κλείνοντας, οφείλω κι ένα ευχαριστώ στους φίλους και συμφοιτητές μου.

Μαρία Ευθυμιάδου

Οκτώβριος 2018

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται το θέμα της ανάλυσης και εκτίμησης του κόστους γεωτρήσεων υδρογονανθράκων. Παρά τη σπουδαιότητα του κόστους των γεωτρήσεων για τη βιομηχανία πετρελαίου, η πρόβλεψη του συνεχίζει να αποτελεί μια ασαφή διαδικασία. Σκοπός της εργασίας ήταν η διερεύνηση αυτού του θέματος.

Στο 1^ο Κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι γεωτρήσεις υδρογονανθράκων ως το βασικό τμήμα των πετρελαϊκών έργων και αναλύονται τα στάδια ενός γεωτρητικού έργου και τα βασικά στοιχεία που συνιστούν την εκτέλεση του.

Το 2^ο Κεφάλαιο επικεντρώνεται στους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το κόστος μίας γεώτρησης υδρογονανθράκων, και εν συνεχεία παρουσιάζονται τα βασικά κόστη αυτής μέσω της κατηγοριοποίησής τους.

Στο 3^ο Κεφάλαιο εξετάζονται οι δύο βασικές μεθοδολογίες για την εκτίμηση του κόστους ενός γεωτρητικού έργου, η ντετερμινιστική και η πιθανολογική, τα βασικά τους χαρακτηριστικά καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της καθεμίας.

Τα Κεφάλαια 4 και 5 είναι τα βασικά κεφάλαια της εργασίας και επικεντρώνονται στην ντετερμινιστική μέθοδο. Αρχικά, στο 4^ο Κεφάλαιο εξετάζεται η εκτίμηση του χρόνου εκτέλεσης ενός γεωτρητικού έργου, με έμφαση στο χρόνο καθαρής διάτρησης και στους χρόνους μανούβρας. Εν συνεχεία, το 5^ο Κεφάλαιο πραγματεύεται την εκτίμηση κόστους. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στο κόστος καθαρής διάτρησης και στην αξιολόγηση των κοπτικών για τη βελτιστοποίηση του κόστους.

Στο 6^ο Κεφάλαιο της εργασίας, παρουσιάζεται η τελική μορφή των αναλύσεων χρόνου και κόστους γεωτρήσεων υδρογονανθράκων, με τη μορφή εγγράφου Έγκρισης Εκτέλεσης Δαπανών. Εδώ εξετάζονται τα κύρια στοιχεία ενός τέτοιου εγγράφου και οι τρόποι που αυτό μπορεί να δομηθεί.

Τέλος, το 7^ο Κεφάλαιο, περιλαμβάνει τα συμπεράσματα και τα σχόλια που προκύπτουν από την ανάλυση του παρόντος θέματος.

Abstract

The current diploma thesis discusses the subject of cost analysis and estimation for hydrocarbon wells. Even though the cost of a well is an essential part of well planning and crucial to the oil and gas industry, its estimation methods and procedures are often vaguely defined. The purpose of this study was to investigate this topic.

In the 1st Chapter, hydrocarbon wells are examined as the basic element of oil and gas projects. Specifically, the phases of a well construction project as well as its basic elements are analysed.

The 2nd Chapter focuses on the factors affecting the cost of a hydrocarbon well. The basic cost elements are categorized and explained.

In the 3rd Chapter, the two main methodologies for well cost estimation are presented; these are the deterministic and probabilistic. The chapter examines the methods' basic characteristics, advantages and disadvantages.

The following Chapters 4 and 5 are the main chapters of this thesis and are focused on the deterministic method. Firstly, Chapter 4 examines the estimation of the duration of the well's construction, concentrating on the drilling and tripping time. Secondly, Chapter 5 investigates the cost estimation part. More attention is given on the cost of drilling and the evaluation of the drilling bits to minimize their cost.

The 6th Chapter presents the final form of time and cost estimations for a hydrocarbon well, the form of an Authorisation for Expenditures. It discusses the main elements of an AFE as well as the different structures that can be applied.

Lastly, the final observations and conclusions are made in the 7th Chapter.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ° Η ΟΡΥΞΗ ΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΩΣ ΜΕΡΟΣ ΕΝΟΣ ΠΕΤΡΕΛΑΪΚΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	1
1.1. Εισαγωγή	1
1.2. Ο κύκλος ζωής ενός πετρελαϊκού έργου.....	2
1.3. Κόστος ενός πετρελαϊκού έργου.....	8
1.4. Ο ρόλος των γεωτρήσεων στην ανάπτυξη ενός πετρελαϊκού έργου	11
1.4.1. Σχεδιασμός ενός γεωτρητικού έργου	12
1.4.2. Είδη γεωτρήσεων.....	13
1.4.3. Απασχολούμενο προσωπικό ενός γεωτρητικού έργου	15
1.4.4. Πρόγραμμα γεωτρητικού έργου	17
1.5. Στάδια ενός γεωτρητικού έργου	19
1.5.1. Στάδιο εργασιών πριν την έναρξη της διάτρησης (pre-spud phase)	19
1.5.2. Στάδιο εργασιών κατά τη διάτρηση	20
1.5.3. Στάδιο ολοκλήρωσης της γεώτρησης.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ° ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΟΣ ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	25
2.1. Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το κόστος.....	25
2.1.1. Συνθήκες αγοράς	26
2.1.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά της γεώτρησης.....	29
2.1.3. Γεωγραφική θέση της γεώτρησης	32
2.1.4. Παράγοντες κόστους με βάση το στάδιο του γεωτρητικού έργου	33
2.2. Κατηγοριοποίηση κόστους	35
2.2.1. Κόστη γεωτρύπανου.....	37
2.2.2. Πάγια κόστη	40
2.2.3. Υπηρεσίες.....	44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ° ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΝΟΣ ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ 49

3.1.	Ντετερμινιστική μέθοδος.....	49
3.1.1.	Πλεονεκτήματα της ντετερμινιστικής μεθόδου.....	50
3.1.2.	Μειονεκτήματα της ντετερμινιστικής μεθόδου.....	50
3.2.	Πιθανολογική μέθοδος.....	52
3.2.1.	Εφαρμογές της πιθανολογικής μεθόδου.....	56
3.2.2.	Πλεονεκτήματα της πιθανολογικής μεθόδου.....	57
3.2.3.	Μειονεκτήματα της πιθανολογικής μεθόδου.....	59

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ° ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ 61

4.1.	Χρόνος εκτέλεσης ενός γεωτρητικού έργου.....	64
4.2.	Παραγωγικοί χρόνοι.....	67
4.2.1.	Χρόνος διάτρησης.....	70
4.2.1.1.	Πηγές δεδομένων για χρόνους διάτρησης.....	70
4.2.1.2.	Εκτίμηση του χρόνου καθαρής διάτρησης.....	71
4.2.1.3.	Εκτίμηση χρόνων «μανούβρας».....	73
4.2.2.	Χρόνος εκτέλεσης δειγματοληψίας.....	78
4.3.	Εκτίμηση χρόνου διάτρησης (Μελέτη περίπτωσης).....	79
4.3.1.	Εκτίμηση καθαρού χρόνου διάτρησης.....	79
4.3.2.	Εκτίμηση χρόνων «μανούβρας».....	83
4.4.	Μη παραγωγικοί χρόνοι.....	86
4.4.1.	Νεκροί χρόνοι.....	86
4.4.1.1.	Γεγονότα που προκαλούν καθυστέρηση των εργασιών (νεκροί χρόνοι).....	88
4.4.2.	Χρόνοι αναμονής λόγω καιρικών συνθηκών (Wait on Weather (WOW) or other environmental interruptions).....	95

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ° ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ 97

5.1.	Εκτίμηση συνολικού κόστους.....	99
5.1.1.	Εκτίμηση του συνολικού κόστους της γεώτρησης (Μελέτη περίπτωσης)..	100
5.2.	Κόστος διάτρησης επιμέρους τμημάτων της γεώτρησης ανά κοπτικό άκρο.....	104
5.2.1.	Επιλογή κοπτικών με βάση ιστορικά δεδομένα	105
5.2.2.	Επιλογή κοπτικών λαμβάνοντας υπόψη και αλλαγή του περιβάλλοντος της διάτρησης	106
5.2.3.	Επιλογή κοπτικών με βάση την ανάλυση νεκρού σημείου (break-even analysis) 109	
5.2.4.	Επιλογή κοπτικών με βάση την ειδική ενέργεια	111
5.3.	Κόστος δειγματοληψίας.....	115
5.4.	Μελλοντική αξία κόστους	117

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ° ΈΓΚΡΙΣΗ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΔΑΠΑΝΩΝ (AUTHORISATION FOR EXPENDITURES) 119

6.1.	Υποθέσεις που συνοδεύουν τις σχετικές εκτιμήσεις χρόνου και κόστους	120
6.2.	Ανάλυση χρόνου (AFE time breakdown) : Περίληψη χρόνου.....	121
6.2.1.	Διάγραμμα Βάθους-Χρόνου.....	121
6.3.	Αναλυτική ΕΕΔ – Γενική Περίληψη ΕΕΔ.....	127
6.3.1.	Γενική περίληψη.....	129
6.3.2.	Αποθεματικό για απρόβλεπτα κόστη (Contingency)	131

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ° ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... 135

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ..... 139

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 145

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1. Επιστημονικά θεματικά πεδία που εμπλέκονται σε ένα πετρελαϊκό έργο (Repsol, 2014)	1
Σχήμα 1.2. Ο κύκλος ζωής ενός επιτυχημένου πετρελαϊκού έργου (Shereih, 2016)	3
Σχήμα 1.3. Θεωρητικό προφίλ πρωτογενούς παραγωγής ενός πετρελαϊκού πεδίου, όπου περιγράφονται τα διάφορα στάδια της ανάπτυξης του πεδίου (σε μια ιδανική περίπτωση) (Höök, Söderbergh, Jakobsson, & Aleklett, 2009).....	4
Σχήμα 1.4. Προφίλ παραγωγής του πετρελαϊκού πεδίου Forties στη Βόρεια Θάλασσα. (Herriot Watt University, Institute of Petroleum Engineering, 2016).....	5
Σχήμα 1.5. Σχηματική απεικόνιση προφίλ παραγωγής πεδίου που εφαρμόστηκε δευτερογενής και τριτογενής παραγωγή. (Hallibarton, 2018).....	6
Σχήμα 1.6. Τρία προφίλ παραγωγής (ποσοστό επί των αποθεμάτων) (Herriot Watt University, Institute of Petroleum Engineering, 2016)	7
Σχήμα 1.7. Διάρθρωση του κόστους πεδίου ενός πετρελαϊκού έργου	9
Σχήμα 1.8. Ο ρόλος των γεωτρήσεων στην έρευνα κοιτασμάτων και ανάπτυξη ενός πετρελαϊκού πεδίου	11
Σχήμα 1.9. Σχεδιασμός γεωτρήσεων (διάγραμμα ροής) (Σταματάκη, 2003).....	13
Σχήμα 1.10. Προσωπικό που συμμετέχει σε ένα γεωτρητικό έργο	16
Σχήμα 1.11. Στάδια ενός γεωτρητικού έργου	19
Σχήμα 1.12. Σχεδιάγραμμα ολοκληρωμένης γεώτρησης (Ford, 2017)	23
Σχήμα 2.1. Οι βασικοί παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το κόστος μίας γεώτρησης	25
Σχήμα 2.2. Μοντέλο της ανταγωνιστικής αγοράς γεωτρυπάνων (διάγραμμα προσφοράς-ζήτησης).....	27
Σχήμα 2.3. Χρεώσεις γεωτρυπάνων σε χιλιάδες £ ανά ημέρα (δεδομένα 2000) (Herriot Watt University, Institute of Petroleum Engineering, 2016).....	28
Σχήμα 2.4. Τυπική διάρκεια ερευνητικών και παραγωγικών γεωτρήσεων (Bret-Rouzaut & Favennec, 2011)	30

Σχήμα 2.5. Το κόστος της γεώτρησης ως συνάρτηση του βάθους. (Hossain & Al-Mejed, 2015).....	31
Σχήμα 2.6. Οι διάφοροι τρόποι κατηγοριοποίησης του γεωτρητικού κόστους.....	35
Σχήμα 2.7. Τύποι γεωτρήσεων που χρησιμοποιούνται στην πετρελαϊκή βιομηχανία	37
Σχήμα 2.8. Κόστος γεωτρήσεων συναρτήσει της ισχύος και της υποδομής για χειρισμό βάρους σωλήνωσης	39
Σχήμα 2.9. Μέγεθος σωλήνωσης (in) συναρτήσει του κόστους (\$/ft) κατηγορίας N-80, συνδέσεων LTC, που υπερβαίνει τα 5000 psi αντοχή σε διάρρηξη (Adams, 1985)	41
Σχήμα 2.10. Κόστος παραγωγής ρευστού διάτρησης.....	43
Σχήμα 2.11. Κόστος συντήρησης ρευστού διάτρησης	43
Σχήμα 2.12. Κόστος προσωπικού εργασιών σωλήνωσης (Σταματάκη, 2003).....	47
Σχήμα 3.1. Διάγραμμα χρόνου – βάθους και χρόνου – κόστους όπως δίνονται από την ντετερμινιστική μέθοδο (Εικόνα από το πρόγραμμα Risk€) (Kullawan, 2011)	51
Σχήμα 3.2. Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής του εύρους ακρίβειας των εκτιμήσεων κόστους με βάση το επίπεδο ορισμού του γεωτρητικού έργου (de Wardt & Peterson, 2015)	53
Σχήμα 3.3. Γραφική απεικόνιση κανονική κατανομής πιθανοτήτων	54
Σχήμα 3.4. Γραφική απεικόνιση ομοιόμορφης κατανομής πιθανοτήτων.....	54
Σχήμα 3.5. Παράδειγμα της ωρίμανσης της πιθανολογικής εκτίμησης κόστους (de Wardt & Peterson, 2015).....	55
Σχήμα 3.6. Κατηγοριοποίηση ρίσκων και αβεβαιοτήτων – Διάγραμμα “tornado” (de Wardt & Peterson, 2015).....	56
Σχήμα 4.1. Σχεδιασμός γεωτρήσεων (διάγραμμα ροής) (Σταματάκη, 2003).....	61
Σχήμα 4.2. Παράδειγμα ποσοστιαίας κατανομής παραγωγικού και μη χρόνου, με βάση τα στοιχεία υπεράκτιων γεωτρήσεων της περιοχής της Βομβάης .(Vinod, Kundan, Kumar, Kalpande, &Pande, 2013).....	64
Σχήμα 4.3. Σκαρίφημα της διαστασιολόγησης της γεώτρησης μέχρι τα 3.570 ft.....	80
Σχήμα 4.4. Διάγραμμα ρυθμού προχώρησης συναρτήσει του βάθους για την περιοχή της Νότιας Θάλασσας της Κίνας.	81

Σχήμα 4.5. Διάγραμμα αθροιστικού χρόνου διάτρησης συναρτήσει του βάθους για την περιοχή της Νότιας Θάλασσας της Κίνας.	82
Σχήμα 4.6. Διάγραμμα εκτιμώμενου αθροιστικού χρόνου « μανούβρας» συναρτήσει του βάθους για γεώτρηση εκτελούμενη στην περιοχή Νότιας Θάλασσας της Κίνας.....	85
Σχήμα 4.7. Υποθετικό παράδειγμα απεικόνισης των νεκρών χρόνων μιας γεώτρησης με βάση τα αίτια που τους προκάλεσαν.	88
Σχήμα 5.1. Ποσοστιαία συνεισφορά του κόστους των εργασιών του γεωτρυπάνου (συμπεριλαμβανομένης διάτρησης) επί του συνολικού κόστους μίας γεώτρησης (Vinod, Kundan, Kumar, Kalpande, & Pande, 2013).....	97
Σχήμα 5.2. Γραφική αναπαράσταση σε καρτεσιανό διάγραμμα των δεδομένων κόστους για την περιοχή της Νότιας Λουιζιάνα, στα οποία προσαρμόζεται εκθετική ευθεία.....	101
Σχήμα 5.3. Προσαρμοσμένη καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων στα δεδομένα ολοκληρωμένων γεωτρήσεων (1978), βάθους μεγαλύτερου των 7.500 ft στην περιοχή της Νότιας Λουιζιάνα.	102
Σχήμα 5.4. Γραφική παράσταση ανάλυσης νεκρού σημείου κοπτικών άκρων (Rabia, 2002).....	109
Σχήμα 6.1. Διάγραμμα βάθους- χρόνου για τη γεώτρηση, Well Pak-1.....	126

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1. Χρονική διάρκεια στον σταδίων ενός πετρελαϊκού έργου.....	7
Πίνακας 2.1. Κατανομή του κόστους για χερσαίες και υπεράκτιες γεωτρήσεις (Oilscams.org, 2014)	32
Πίνακας 2.2. Μέσο κόστος ενοικίασης ανά ημέρα. (da Silva Ferreria, 2014).....	38
Πίνακας 2.3. Ενδεικτικά κόστη σωληνώσεων με βάση την κατηγορία τους (στοιχεία 1985) (Adams, 1985).....	40
Πίνακας 2.4. Κόστη σωλήνωσης διαμέτρου 7,625 in, κατηγορίας N-80, ονομαστικού βάρους 26,40 lb/ft, για διαφορετικού είδους χρησιμοποιούμενους συνδέσμους. (Adams, 1985).....	42
Πίνακας 2.5. Παράδειγμα χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού σωλήνωσης (Adams, 1985) .	42
Πίνακας 3.1. Κατηγοριοποίηση των εκτιμήσεων κόστους (de Wardt & Peterson, 2015)	52
Πίνακας 4.1. Βασικές κατηγορίες στις οποίες βασίζεται η εκτίμηση του χρόνου και του κόστους.....	67
Πίνακας 4.2. Παράδειγμα του χρόνου εκτέλεσης μίας γεώτρησης με βάση τις εργασίες που περιλαμβάνει (Hossain & Al-Mejed, 2015)	69
Πίνακας 4.3. Εκτίμηση μέσω χρόνων μανούβρας (σε ώρες) (Σταματάκη, 2003).....	77
Πίνακας 4.4. Δεδομένα κοπτικών άκρων της περιοχής Νότιας Θάλασσας της Κίνας (Bourgoyne Jr, Millheim, Chenevert, & Young Jr, 1991).....	79
Πίνακας 4.5. Δεδομένα των χρόνων «μανούβρας» για την περιοχή της Νότιας Θάλασσας της Κίνας. (Bourgoyne Jr, Millheim, Chenevert, & Young Jr, 1991).....	83
Πίνακας 5.1. Μέσο κόστος, για το έτος 1978, της όρυξης και του εξοπλισμού των γεωτρήσεων στην περιοχή της Νότιας Λουιζιάνα (Bourgoyne Jr, Millheim, Chenevert, & Young Jr, 1991).....	100
Πίνακας 5.2. Δεδομένα κόστους κοπτικών ολοκληρωμένων γεωτρήσεων (Σταματάκη, 2003).....	105
Πίνακας 5.3. Δεδομένα χρήσης κοπτικών άκρων σε μία εξεταζόμενη περιοχή (Σταματάκη, 2003).....	107
Πίνακας 6.1. Ιστορικά δεδομένα ρυθμού διάτρησης (Rabia, 2002).....	123

Πίνακας 6.2. Εκτιμώμενοι χρόνοι διάτρησης για τη γεώτρηση Well Pak-1 (Rabia, 2002).	123
Πίνακας 6.3. Εκτιμώμενοι χρόνοι εκτέλεσης εργασιών για τη γεώτρηση Well Pak-1 (Rabia, 2002)	124
Πίνακας 6.4. Περίληψη χρόνου ΕΕΔ εκτέλεσης της γεώτρησης Well Pak-1(AFE Time Summary) (Rabia, 2002)	125
Πίνακας 6.5. ΕΕΔ για τη γεώτρηση Well Pak-1 (Rabia, 2002)	128
Πίνακας 6.6. Παράδειγμα Γενικής Πζερίληψης Έγκρισης Εκτέλεσης Δαπανών κατά Adams (1985)	130
Πίνακας 6.7. Παράδειγμα Αναλυτικής Έγκρισης Εκτέλεσης Δαπανών κατά τον Adams (1985)	132

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 4.1. Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου kick. (Kullawan, 2011)	89
Εικόνα 4.2. Σχηματική απεικόνιση περιπτώσεων όπου εμφανίζονται προβλήματα αστάθειας των τοιχωμάτων της γεώτρησης (Bailey, και συν., 1991)	91
Εικόνα 4.3. Σχηματική απεικόνιση γεώτρησης «undergauged» (DrillingFormulas.com, 2011), (Bailey, et al., 1991)	91
Εικόνα 4.4. Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου διαφορικής παγίδευσης της διατρητικής στήλης. (Bailey, et al., 1991).....	92
Εικόνα 4.5. Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου «keyseating» (Bailey, et al., 1991) ..	93
Εικόνα 6.1. Σχεδιασμός διαστασιολόγησης της γεώτρησης Well Pak-1.	122

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 °

Η όρυξη των γεωτρήσεων ως μέρος ενός πετρελαϊκού έργου

1.1. Εισαγωγή

Ένα πετρελαϊκό έργο ενσωματώνει πληθώρα επιστημών και τεχνολογιών καθώς και οικονομικών, περιβαλλοντικών κλπ προσεγγίσεων. Ως εκ τούτου, για την οικονομικά βιώσιμη, ασφαλή και περιβαλλοντικά φιλική εκμετάλλευση υδρογονανθράκων απαιτείται ο συνδυασμός πολλαπλών θεματικών πεδίων μηχανικής, γεωεπιστημών καθώς και άλλων επιστημονικών αντικειμένων, όπως παρουσιάζονται στο **Σχήμα 1.1**.



Σχήμα 1.1. Επιστημονικά θεματικά πεδία που εμπλέκονται σε ένα πετρελαϊκό έργο (Repsol, 2014)

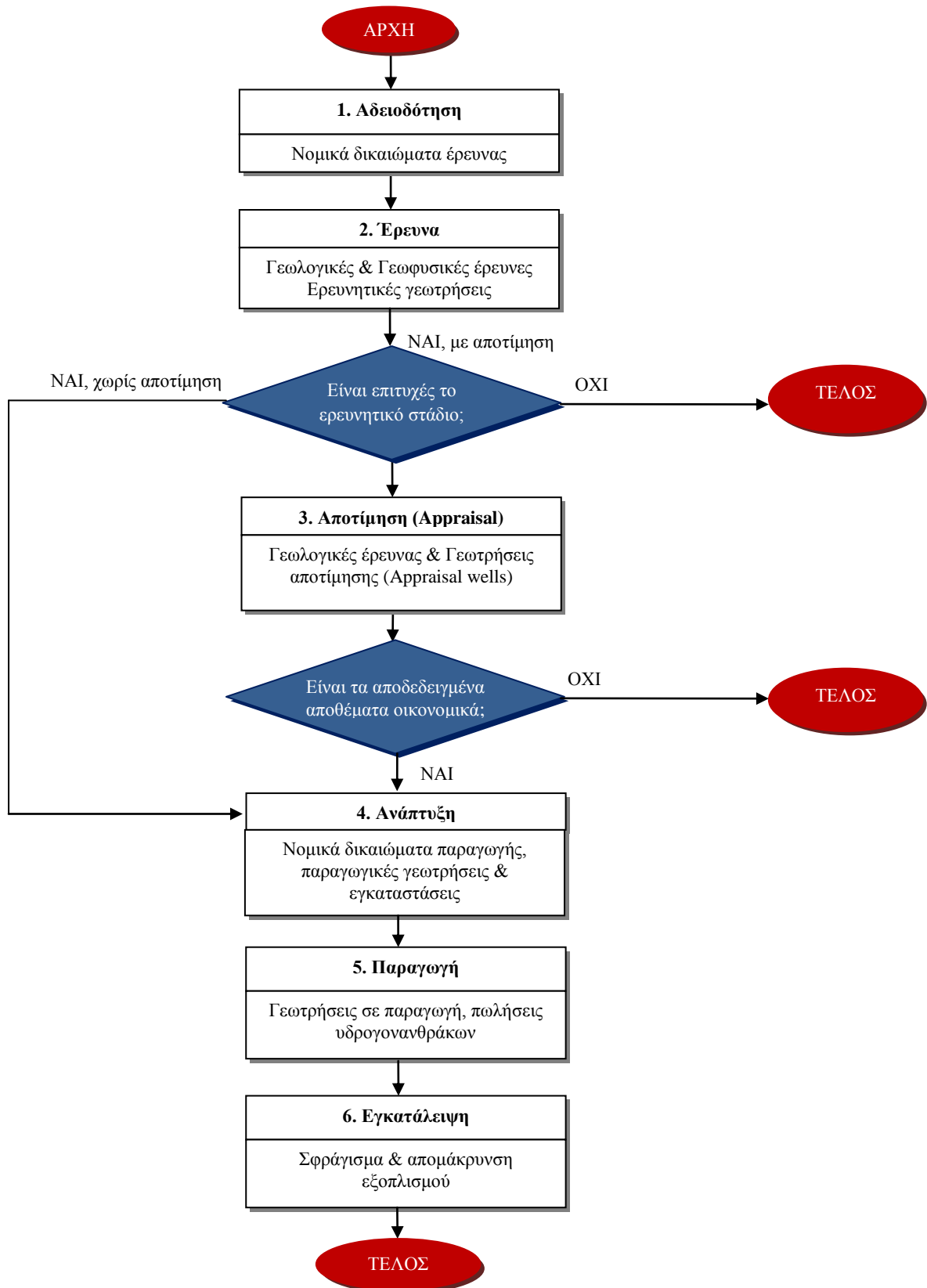
Οι συνδυασμένες δραστηριότητες γεωεπιστημών και μηχανικών πετρελαίου, καθ'όλη τη διάρκεια της έρευνας και εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων, καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο ένα κοίτασμα υδρογονανθράκων εντοπίζεται, αναπτύσσεται και εκμεταλλεύεται και συνήθως αυτές οι δραστηριότητες καταλαμβάνουν ένα μεγάλο μερίδιο στο κόστος ενός πετρελαϊκού έργου.

1.2. Ο κύκλος ζωής ενός πετρελαϊκού έργου

Ένα πετρελαϊκό έργο συνήθως περιλαμβάνει έξι βασικά στάδια που παρουσιάζονται στο **Σχήμα 1.2.** και τα οποία συνιστούν τον κύκλο ζωής του.

Το πρώτο στάδιο του έργου συνιστά αυτό της **αδειοδότησης**. Η πετρελαϊκή εταιρία επιλέγει να επενδύσει σε μία χώρα, αφού προηγουμένως, και ανάλογα με το σύστημα αδειοδότησης που ακολουθεί κάθε χώρα, έχει αξιολογήσει τα γεωλογικά χαρακτηριστικά των διαθέσιμων περιοχών με πιθανότητα ύπαρξης υδρογονανθράκων και έχει εξασφαλίζει πρόσβαση σε στοιχεία παλαιότερων γεωλογικών και σεισμικών ερευνών ή γεωτρήσεων στην ευρύτερη περιοχή. Χρησιμοποιώντας αυτά τα δεδομένα, η εταιρεία εκτιμά την πιθανότητα εντοπισμού υδρογονανθράκων στην περιοχή που εξετάζει, την οικονομικότητα ενός πιθανού τέτοιου ενδεχόμενου, συνδυάζοντας τα τεχνικοοικονομικά στοιχεία (εκτιμήσεις) και με τα γεωπολιτικά και πολιτικο-οικονομικά χαρακτηριστικά της χώρας που επιλέγει να επενδύσει. Σε περίπτωση θετικής αξιολόγησης η εταιρεία υποβάλλει την προσφορά της στις αρμόδιες Αρχές της χώρας, και εφόσον αυτή αξιολογηθεί και επιλεγεί, η εταιρεία αποκτά νόμιμα δικαιώματα για την έρευνα και εκμετάλλευση υδρογονανθράκων.

Έχοντας εξασφαλίσει τα δικαιώματα αυτά, το δεύτερο στάδιο μπορεί να λάβει χώρα. Πρόκειται για το στάδιο της **έρευνας**, το οποίο έχει ως στόχο τον εντοπισμό της ύπαρξης υδρογονανθράκων εντός της αδειοδοτημένης περιοχής. Για το σκοπό αυτό, διενεργείται αρχικά μια σειρά γεωλογικών και γεωφυσικών ερευνών. Τα δεδομένα που συλλέγονται μέσω των ερευνών αυτών, αναλύονται και ερμηνεύονται. Αν η πιθανότητα ύπαρξης σημαντικής ποσότητας υδρογονανθράκων είναι αποδεκτή, τότε η εταιρεία προχωρά στην όρυξη μίας ή περισσότερων ερευνητικών γεωτρήσεων. Πριν την έναρξη της όρυξης ερευνητικών γεωτρήσεων, η εταιρεία διενεργεί μία Εκτίμηση Κοινωνικών και Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, για την κατανόηση και αξιολόγηση των κοινωνικών και περιβαλλοντικών συνεπειών των γεωτρητικών εργασιών. Η εταιρεία προετοιμάζει ένα σχέδιο αντιμετώπισης (oil response plan) που εν συνεχεία πρέπει να εγκριθεί από την κυβέρνηση. Αν οι ερευνητικές γεωτρήσεις αποτύχουν να αποδείξουν την ύπαρξη οικονομικών αποθεμάτων, και η εταιρεία δεν επιθυμεί να ερευνήσει περισσότερο, τότε οι όποιες γεωτρήσεις έχουν εκτελεστεί σφραγίζονται με ορθές πρακτικές, η φάση αυτή της έρευνας ολοκληρώνεται και η εταιρεία επιστρέφει την περιοχή στο κράτος, παραιτούμενη των δικαιωμάτων της.

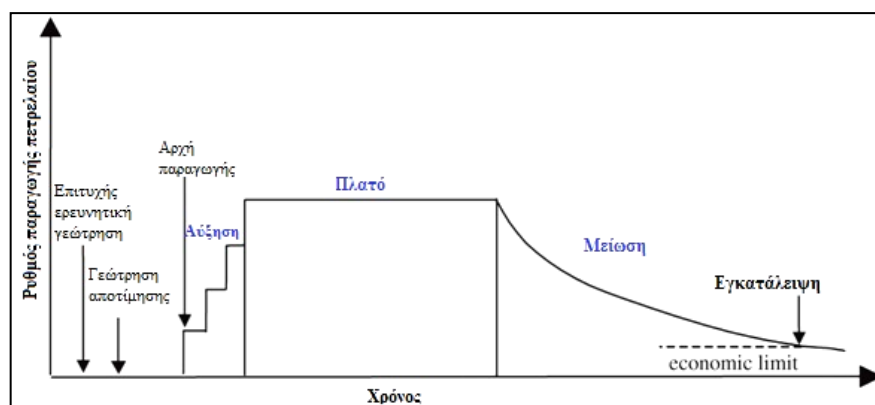


Σχήμα 1.2. Ο κύκλος ζωής ενός επιτυχημένου πετρελαϊκού έργου (Shereih, 2016)

Στην περίπτωση που υπάρξει επιτυχής ερευνητική γεώτρηση, το έργο προχωρεί στο επόμενο στάδιο, αυτό της αποτίμησης. Η αποτίμηση συνίσταται στην επαύξηση των γεωλογικών ερευνών και συχνά στην όρυξη επιπρόσθετων γεωτρήσεων αποτίμησης (appraisal wells). Σκοπός είναι η ενίσχυση του βαθμού εμπιστοσύνης των εκτιμήσεων του όγκου των διαθέσιμων επιτόπου αποθεμάτων, και επακόλουθα της οικονομικής βιωσιμότητας του έργου.

Αφού και αυτά τα αποτελέσματα κριθούν ικανοποιητικά, ακολουθεί το τέταρτο στάδιο, αυτό της **ανάπτυξης** του πεδίου. Σε αυτό το στάδιο εκπονείται το σχέδιο ανάπτυξης του έργου και παρέχονται τεχνικά και οικονομικά στοιχεία σχετικά με την σκοπιμότητα του. Το σχέδιο αυτό κατατίθεται με αίτηση της εταιρείας στις αρμόδιες Αρχές της Χώρας, οι οποίες εγκρίνουν την μετατροπή της άδεια έρευνας σε άδεια παραγωγής, σε περίπτωση που οι άδειες αυτές είναι διακριτές, ή τη μετάβαση στο στάδιο της εκμετάλλευσης σε περίπτωση που η άδεια που χορηγείται είναι ενιαία. Στη συνέχεια, πρέπει να πραγματοποιηθούν εκτιμήσεις σε όλους τους τομείς δυνητικών κινδύνων, συμπεριλαμβανομένης της μακροπρόθεσμης εκτίμησης περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων. Αφού εξασφαλιστούν και τα ανάλογα κεφάλαια για την επένδυση, υλοποιείται το σχέδιο ανάπτυξης ορύσσονται οι παραγωγικές γεωτρήσεις και εγκαθίσταται ο απαραίτητος παραγωγικός εξοπλισμός. Το στάδιο της ανάπτυξης αντιπροσωπεύει το πιο δαπανηρό στάδιο σε όλη τη διάρκεια ζωής του έργου.

Με την ολοκλήρωση των παραγωγικών γεωτρήσεων και την έναρξη της λειτουργίας του εξοπλισμού ξεκινά το τρίτο στάδιο του έργου, το στάδιο της παραγωγής. Στην πιο απλή περίπτωση της πρωτογενούς παραγωγής, αυτό αποτελείται από τρεις φάσεις, όπως αυτές φαίνονται στο **Σχήμα 1.3**.



Σχήμα 1.3. Θεωρητικό προφίλ πρωτογενούς παραγωγής ενός πετρελαϊκού πεδίου, όπου περιγράφονται τα διάφορα στάδια της ανάπτυξης του πεδίου (σε μια ιδανική περίπτωση) (Höök, Söderbergh, Jakobsson, & Aleklett, 2009)

Οι φάσεις αυτές του σταδίου της παραγωγής είναι οι παρακάτω:

- *Φάση σταδιακής αύξησης της παραγωγής*

Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης οι γεωτρήσεις φέρονται σταδιακά σε παραγωγική λειτουργία. Επομένως, η παραγωγή αυξάνεται με σχετικά σταθερό ρυθμό, μέχρι να φτάσει στο αναμενόμενο μέγιστο ύψος παραγωγής ανά γεώτρηση, όποτε όλες οι παραγωγικές γεωτρήσεις είναι σε λειτουργία.

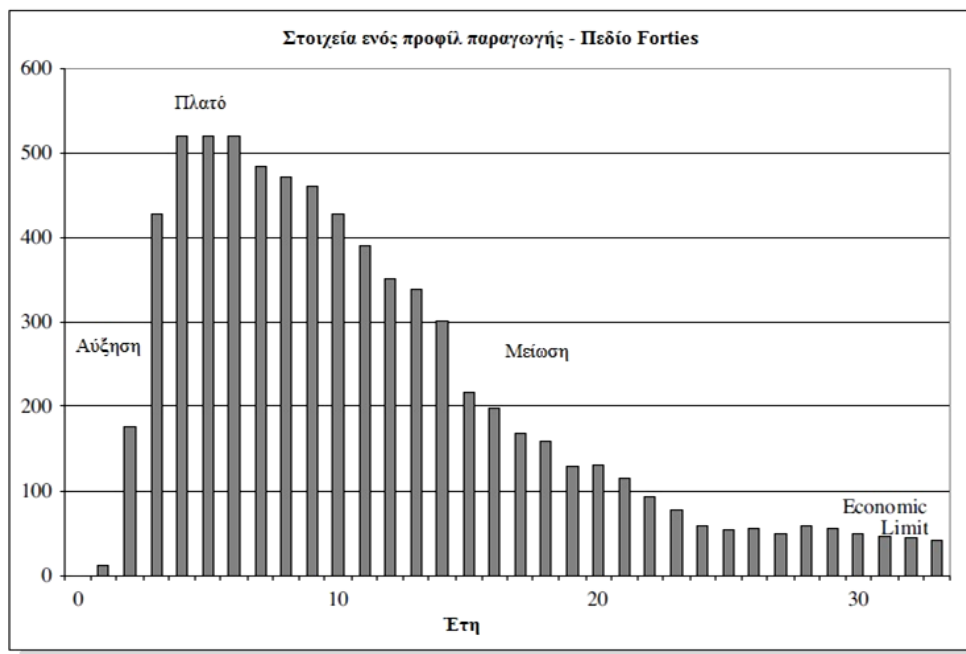
- *Φάση σταθερής παραγωγής*

Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, η παραγωγή παραμένει σταθερή και καταβάλλεται προσπάθεια να διατηρηθεί εκεί το μεγαλύτερο δυνατό χρονικό διάστημα. Η διάρκεια αυτής της φάσης δύναται να ενέχει δυσκολία εκτίμησης, ειδικά στη περίπτωση μεγάλων πεδίων εκμετάλλευσης με μακροχρόνιες παραγωγικές περιόδους.

- *Φάση μείωσης της παραγωγής*

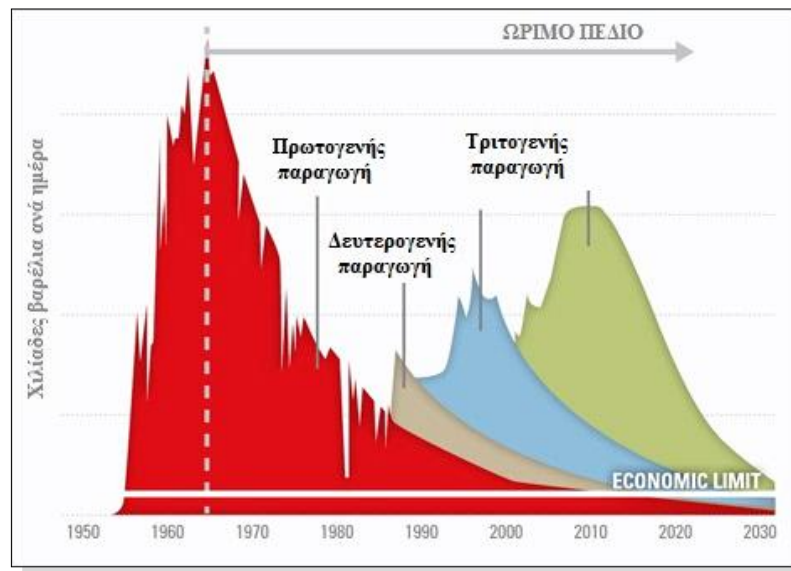
Κατά αυτή τη φάση ο ρυθμός της παραγωγής βαίνει μειούμενος, με ρυθμό από 1% έως 10% το χρόνο. Η διάρκεια αυτής της φάσης της παραγωγής είναι η μεγαλύτερη.

Γενικά η φάση της μείωσης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά και την ενέργεια του ταμιευτήρα. Στο **Σχήμα 1.4**, παρουσιάζεται το παράδειγμα του προφίλ παραγωγής του πετρελαϊκού πεδίου Forties της Βόρειας Θάλασσας, και στο οποίο σημειώνονται οι φάσεις της παραγωγής (πρωτογενής).



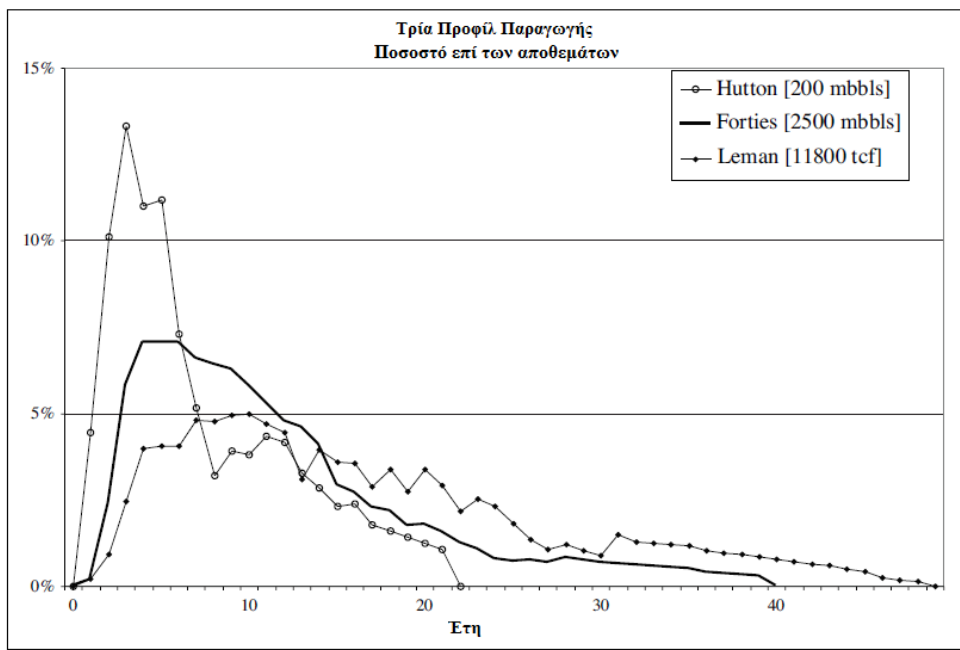
Σχήμα 1.4. Προφίλ παραγωγής του πετρελαϊκού πεδίου Forties στη Βόρεια Θάλασσα. (Herriot Watt University, Institute of Petroleum Engineering, 2016)

Στην πράξη, το αποτέλεσμα εξαρτάται από τις ικανότητες των Γεωλόγων, Μηχανικών Ταμιευτήρα (Reservoir Engineers) και Παραγωγής (Production Engineers) να κατανοήσουν τη συμπεριφορά του ταμιευτήρα, και να προβούν σε μέτρα/ενέργειες, π.χ. όρυξη γεωτρήσεων πύκνωσης (infill wells), εφαρμογή τεχνικών συντήρησης της πίεσης - τεχνητή ανύψωση στήλης πετρελαίου (artificial lift), ή μεθόδους δευτερογενούς και τριτογενούς παραγωγής για την επαύξηση της απόληψης (π.χ. εισπίεση νερού ή αεριού). Στην περίπτωση αυτή, το προφίλ παραγωγής έχει μορφή όπως αυτή που παρουσιάζεται στο **Σχήμα 1.5**. Όπως παρατηρείται και από το σχήμα, ουσιαστικά στην περίπτωση αυτή βλέπουμε τις φάσεις που παρουσιάστηκαν παραπάνω να επαναλαμβάνονται, σε κάποιον βαθμό, στην δευτερογενή και τριτογενή παραγωγή.



Σχήμα 1.5. Σχηματική απεικόνιση προφίλ παραγωγής πεδίου που εφαρμόστηκε δευτερογενής και τριτογενής παραγωγή. (Hallibarton, 2018)

Ο ρυθμός παραγωγής ενός έργου περιορίζεται εν μέρει από τα χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα (κυρίως πορώδες και διαπερατότητα), από τον αριθμό και τις προδιαγραφές (μέγιστη παροχή) των γεωτρήσεων παραγωγής, από τον όγκο των αποθεμάτων, τη γεωμετρία και την φυσική ενέργεια του φυσικού συστήματος. Στο **Σχήμα 1.6** παρουσιάζεται μια γραφική παράσταση τριών προφίλ παραγωγής, εκφρασμένη σε ποσοστό επί των αποθεμάτων. Ενδεικτικά για τα τρία πεδία του σχήματος, η διάρκεια ζωής του πετρελαϊκού έργου κυμαίνεται από 22 έως 49 έτη και το μέγιστο ποσοστό παραγωγής από 5 έως 13% των αποθεμάτων.



Σχήμα 1.6. Τρία προφίλ παραγωγής (ποσοστό επί των αποθεμάτων) (Herriot Watt University, Institute of Petroleum Engineering, 2016)

Το έκτο και τελευταίο στάδιο του έργου είναι αυτό της **εγκατάλειψης**. Ξεκινά όταν το ύψος της παραγωγής έχει γίνει πλέον αντικοινομικό (τα έσοδα του έργου δεν καλύπτουν πλέον τα λειτουργικά του έξοδα) και η εταιρεία δεν επιθυμεί την εφαρμογή άλλων προηγμένων τεχνολογιών για την πιθανή επαύξηση της απόληψης ή δεν εκτιμάται η τεχνική εφαρμοσιμότητά τους. Βέβαια, η προετοιμασία για το στάδιο της εγκατάλειψης συνήθως ξεκινά νωρίτερα από το πραγματικό έτος εγκατάλειψης. Όλες οι γεωτρήσεις σφραγίζονται και οι επιφανειακές εγκαταστάσεις απομακρύνονται με ασφαλή και περιβαλλοντικά φιλικό τρόπο.

Στον **Πίνακα 1.1**, παρουσιάζεται η τυπική χρονική διάρκεια του κάθε σταδίου του κύκλου ζωής ενός πετρελαϊκού έργου (σύμφωνα με τα στοιχεία της Tullow Oil Plc).

Πίνακας 1.1. Χρονική διάρκεια στον σταδίων ενός πετρελαϊκού έργου

Στάδιο	Χρονική διάρκεια (έτη)
Αδειοδότηση	1
Έρευνα	2-10
Αποτίμηση	
Ανάπτυξη	3-10
Παραγωγή	20-50
Εγκατάλειψη-ολοκλήρωση	3-10

1.3. Κόστος ενός πετρελαϊκού έργου

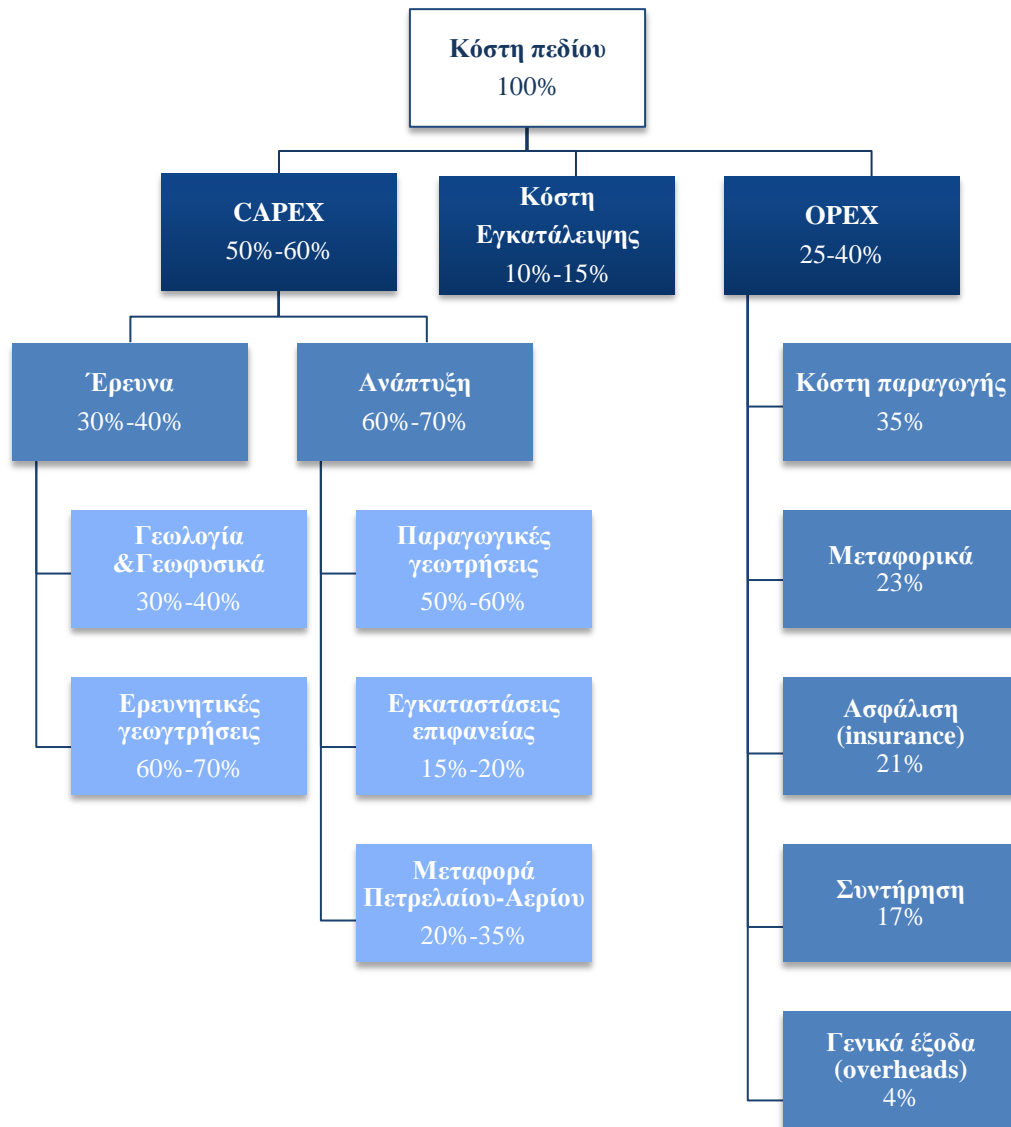
Ένα πετρελαϊκό έργο εγκλείει δύο βασικά είδη κόστους, τα **δημοσιονομικά** (fiscal costs) κόστη και τα **κόστη πεδίου** (field costs). Τα δημοσιονομικά κόστη περιλαμβάνουν τους φόρους, τα μισθώματα (royalties), τα ανταλλάγματα (bonuses) και δε αποτελούν αντικείμενο που θα απασχολήσει την παρούσα εργασία.

Τα κόστη πεδίου κατηγοριοποιούνται, με βάση τα στάδια του πετρελαϊκού έργου, σε τέσσερις κατηγορίες:

1. Κόστη έρευνας
2. Κόστη ανάπτυξης
3. Λειτουργικά κόστη (αφορούν στο στάδιο της παραγωγής)
4. Κόστη εγκατάλειψης

Τα κόστη έρευνας και ανάπτυξης συνιστούν τις κεφαλαιουχικές δαπάνες, γνωστές ως CAPEX (Capital Expenditure), ενώ τα λειτουργικά κόστη καλούνται OPEX (Operating Expenditure). Τα Κόστη Εγκατάλειψης, όπως αναφέρει ο Mian (2011), μπορούν να θεωρηθούν ξεχωριστή κατηγορία κόστους, καθώς σχετίζονται με την περιβαλλοντική ασφάλεια και δεν παρέχουν κάποιο μελλοντικό κέρδος για την πετρελαϊκή εταιρεία. Σημειώνεται πως τα κόστη αυτά αποτελούν αρκετά μεγάλο στοιχείο του συνολικού κόστους

Ο τρόπος που κατανέμονται τα κόστη πεδίου, το CAPEX και OPEX, στα διάφορα μέρη που συνθέτουν ένα πετρελαϊκό έργο μπορεί να διαφέρει από εταιρεία σε εταιρεία και από έργο σε έργο. Συγκρίνοντας διάφορες έρευνες, όπως του Shereih, (2006), Mian (2011) και Bret-Rouzaut και συν. (2011) μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τα κόστη πεδίου όπως αυτά φαίνονται στο **Σχήμα 1.7**.



Σχήμα 1.7. Διάρθρωση του κόστους πεδίου ενός πετρελαϊκού έργου

Τα ποσοστά τα οποία αντιστοιχίζονται σε κάθε επιμέρους κόστος είναι προσεγγιστικά, με βάση τα στοιχεία των πηγών που αναφέρθηκαν. Οι κεφαλαιουχικές δαπάνες (CAPEX) αντιπροσωπεύουν τουλάχιστον το 50% έως 60% του συνολικού κόστους του πεδίου. Βέβαια, η φύση της περιοχής όπου εκτελείται το έργο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της συμμετοχής του CAPEX στο συνολικό κόστος. Για παράδειγμα, τα υπεράκτια έργα πετρελαίου απαιτούν περισσότερο εξοπλισμό και εγκαταστάσεις από τα χερσαία έργα, και ως εκ τούτου οι κεφαλαιουχικές δαπάνες θα μπορούσαν να ανέλθουν στο 60% του συνολικού κόστους.

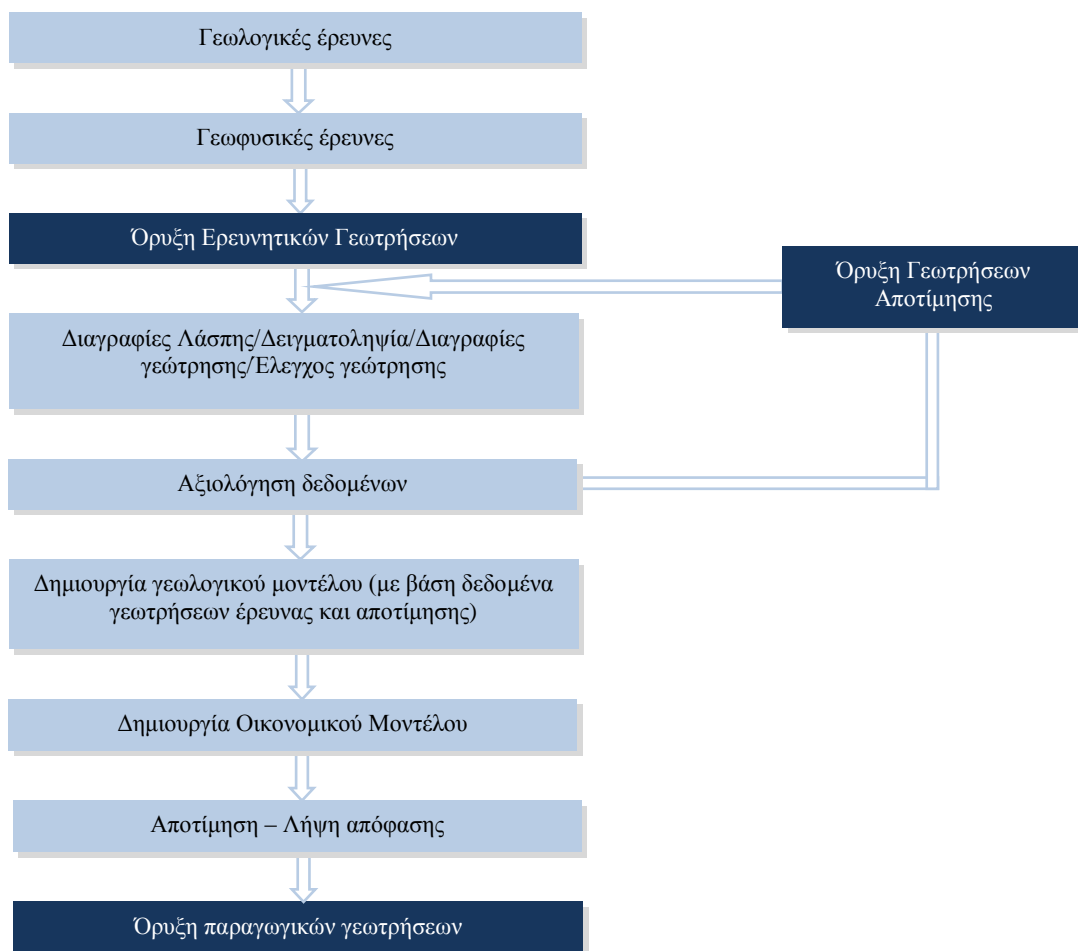
Όσον αφορά τα λειτουργικά κόστη (OPEX), όπως αναφέρουν ο Bret-Rouzaut και συν. (2011), η κατηγοριοποίηση τους μπορεί να γίνει είτε με βάση τη φύση των εξόδων είτε με βάση τον σκοπό που εξυπηρετούν. Στην παρούσα εργασία (**Σχήμα 1.7.**)

παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση που προτείνεται σαν σημείο αναφοράς από τον Mian (2011). Στα κόστη παραγωγής περιλαμβάνονται αυτά τα οποία σχετίζονται με την μεταφορά των παραγόμενων υδρογονανθράκων στην επιφάνεια, την επεξεργασία τους (treatment), οι παρεμβάσεις στις γεωτρήσεις για την βελτίωση της παραγωγής, τα κόστη που σχετίζονται με εργασίες για την επαύξηση της απόληψης και τα κόστη για την απομάκρυνση του παραγόμενου νερού. Τα μεταφορικά κόστη αναφέρονται σε ότι σχετίζεται με την μεταφορά και διακίνηση των υδρογονανθράκων προς τα διυλιστήρια, ή οποιοδήποτε σημείο πώλησης. Τα κόστη ασφάλισης αναφέρονται στην ασφάλιση του εξοπλισμού. Τέλος, τα γενικά έξοδα αφορούν σε εργατικά (διοίκηση, εργαστήρια, αποθήκες, ιατρική περίθαλψη, ασφάλεια κ.ά.), υλικά και προμήθειες (ηλεκτρισμός, σίτιση, κ.ά.), και υπηρεσίες (έξοδα επικοινωνίας, μετακίνησης, εκπαίδευσης, κ.ά.). Επίσης περιλαμβάνουν και άλλα εταιρικά έξοδα του διαχειριστή του έργου, όπως αυτά για την έρευνα και ανάπτυξη (R&D), την οικονομική διαχείριση και τις λειτουργίες των κεντρικών γραφείων.

Εστιάζοντας στις γεωτρήσεις, διαπιστώνεται πως αποτελούν το κύριο στοιχείο των κεφαλαιουχικών δαπανών. Συγκεκριμένα, οι ερευνητικές και παραγωγικές γεωτρήσεις αντιπροσωπεύουν το 60% με 70% του κόστους έρευνας και το 50% με 60% του κόστους ανάπτυξης.

1.4. Ο ρόλος των γεωτρήσεων στην ανάπτυξη ενός πετρελαϊκού έργου

Κατά την εξέταση του κύκλου ζωής του έργου έγινε αναφορά στην όρυξη ερευνητικών και παραγωγικών γεωτρήσεων καθώς και γεωτρήσεων αποτίμησης. Υπάρχουν κάποιες αλληλοσυνδεόμενες εργασίες, οι οποίες συνήθως ακολουθούνται από τις εταιρείες κατά την εξέλιξη ενός πετρελαϊκού έργου. Για την αντίληψη του ρόλου των γεωτρήσεων, κάποιες από αυτές συνοψίζονται στο **Σχήμα 1.8**. Ουσιαστικά πρόκειται για έναν πλήρη βρόγχο διαφόρων φάσεων των εργασιών που συνιστούν ένα πετρελαϊκό έργο, οι οποίες σχετίζονται με την όρυξη γεωτρήσεων.



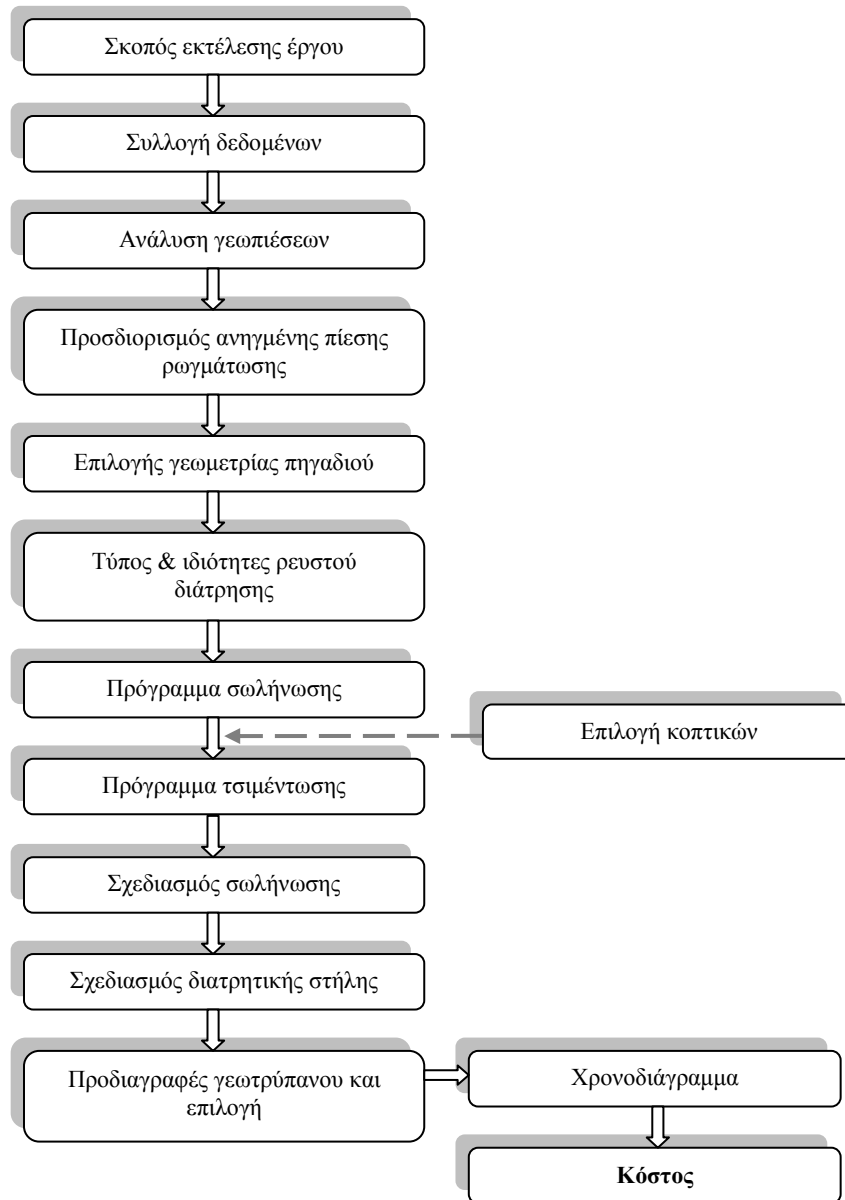
Σχήμα 1.8. Ο ρόλος των γεωτρήσεων στην έρευνα κοιτασμάτων και ανάπτυξη ενός πετρελαϊκού πεδίου

Φαίνεται λοιπόν πως η όρυξη των γεωτρήσεων αποτελεί τον κορμό ενός πετρελαϊκού έργου. Ο ρόλος τους πριν την έναρξη και κατά τη διάρκεια εξέλιξης του έργου είναι ιδιαίτερα σημαντικός.

1.4.1. Σχεδιασμός ενός γεωτρητικού έργου

Για την επιτυχή εκτέλεση ενός γεωτρητικού έργου βασικό παράγοντα αποτελεί ο αναλυτικός σχεδιασμός και ο προγραμματισμός του. Απαιτεί την ολοκληρωμένη θεώρηση και τον συνδυασμό γνώσης, διαθέσιμης τεχνολογίας και εμπειρίας. Παρά το γεγονός ότι οι ακολουθούμενες μέθοδοι και πρακτικές ποικίλουν μεταξύ των σχετικών επιχειρήσεων, το τελικό αποτέλεσμα για όλες είναι το «ασφαλές, οικονομικό και άρτιο από τεχνικής πλευράς έργο». Η εκτέλεση ενός γεωτρητικού έργου ενέχει ιδιαίτερα μεγάλο κίνδυνο λόγω της ασάφειας του περιβάλλοντος εντός του οποίου εκτελείται. Η αδυναμία του εκ των πρωτέρω προσδιορισμού όλων των παραμέτρων που θα επηρεάσουν την πραγματοποίησή του και το εν γένει υψηλό κόστος του επιβάλλει συστηματική προεργασία η οποία, τουλάχιστον, να εντοπίζει και να απομονώνει εν δυνάμει προβληματικές καταστάσεις. Ο αντικειμενικός στόχος στο σχεδιασμό του γεωτρητικού έργου είναι η σύνταξη ενός προγράμματος που να εξασφαλίζει την ασφάλεια, την οικονομικότητα και τη μέγιστη χρηστικότητα του έργου. (Σταματάκη, 2003). Ο σχεδιασμός είναι μια αλληλουχία ενεργειών όπως αυτή παρουσιάζεται στο **Σχήμα 1.9**. χωρίς τούτο να είναι απόλυτα δεσμευτικό.

Το τελικό στάδιο στο σχεδιασμό, και αυτό στο οποίο θα εστιάσει η παρούσα εργασία, αποτελεί η εκτίμηση και ανάλυση του κόστους μιας γεώτρησης. Η όρυξη γεωτρήσεων είτε για την έρευνα είτε για την παραγωγή υδρογονανθράκων αποτελεί περίπλοκη δραστηριότητα που υπόκεινται σε πληθώρα παραγόντων. Σε πολλές περιπτώσεις, η εκτίμηση κόστους είναι το διαχειριστικό εργαλείο με το οποίο θα αποφασιστεί η εκτέλεση του έργου ή όχι. Αν και συνιστά ουσιαστικό μέρος του προγράμματος γεώτρησης, ο προσδιορισμός του αποτελεί ένα από τα πλέον δύσκολα σημεία (Σταματάκη, 2003).



Σχήμα 1.9. Σχεδιασμός γεωτρήσεων (διάγραμμα ροής) (Σταματάκη, 2003)

1.4.2. Είδη γεωτρήσεων

Με βάση τα όσα ειπώθηκαν σχετικά με τα στάδια και τις εργασίες που συνιστούν ένα πετρελαϊκό έργο, μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τις γεωτρήσεις με βάση το σκοπό που εξυπηρετούν.

- **Γεώτρηση υψηλού ρίσκου (Wildcat well).**

Πρόκειται για γεώτρηση που ορύσσεται έξω και όχι σε κοντινή απόσταση από γνωστά κοιτάσματα πετρελαίου ή αερίου. Εκτελείται σε περιοχή όπου πολύ λίγες ή καθόλου πληροφορίες είναι διαθέσιμες.

- **Ερευνητική γεώτρηση (Exploration or exploratory well)** (συχνά καλείται και γεώτρηση υψηλού ρίσκου)

Ορύσσεται κατά τα αρχικά στάδια της έρευνας. Κύριος σκοπός της είναι η εξακρίβωση της ύπαρξης υδρογονανθράκων, η παροχή γεωλογικών δεδομένων (όπως δείγματα πυρήνα, διαγραφίες) για την αξιολόγηση, την διεξαγωγή δοκιμών καύσης (flow test) στη γεώτρηση για την εξακρίβωση της παραγωγικής ικανότητας και για τη λήψη δειγμάτων των ρευστών προς εργαστηριακή ανάλυση.

- **Γεώτρηση αποτίμησης (Appraisal ή step-out well)**

Με την ανακάλυψη υδρογονανθράκων διενεργούνται περισσότερες γεωτρήσεις, ώστε να ελεγχθεί εάν το κοιτάσμα είναι εμπορικά βιώσιμο ή όχι. Οι γεωτρήσεις αποτίμησης είναι εκείνες που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της έκτασης (μεγέθους) του ταμιευτήρα, τα πετροφυσικά χαρακτηριστικά του αποθήκευτρου πετρώματος, το είδος και τις ιδιότητες των εμπεριεχόμενων σε αυτό ρευστών, τη μέτρηση των παροχών από τη γεώτρηση αποτίμησης, τη μέτρηση πιέσεων και θερμοκρασιών, τις δοκιμαστικές παραγωγές και το είδος των παραγόμενων ρευστών κλπ. Η συλλογή όλων αυτών των πληροφοριών, παρέχει τη δυνατότητα να εκτιμηθούν σε πρώτη φάση τα επί τόπου αποθέματα, και να αξιολογηθεί αξιολογηθεί η εμπορικότητα του κοιτάσματος και η βιωσιμότητα της επένδυσης.

- **Γεώτρηση ανάπτυξης (Παραγωγική γεώτρηση) (Development well (production well)/infill well)**

Αυτή η γεώτρηση εκτελείται σε ένα αποδεδειγμένο πεδίο/περιοχή παραγωγής για την εξόρυξη υδρογονανθράκων (δηλ. φυσικού αερίου/αργού πετρελαίου). Η επιλογή της θέσης κάθε παραγωγικής γεώτρησης βασίζεται συνήθως στο μοτίβο διάταξης (pattern) που αξιολογείται βέλτιστο για να ακολουθηθεί, και στους εκτιμώμενους μηχανισμούς παραγωγής σε σχέση και με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γεώτρησης. Αυτού του είδους οι γεωτρήσεις εκτελούνται ώστε να δημιουργηθεί μια διαδρομή ροής των ρευστών από τον ταμιευτήρα προς την επιφάνεια, και στη συνέχεια μέσω της εγκατάστασης παραγωγής.

- **Reentry ή Infill well**

Αποτελούν γεωτρήσεις επανεισόδου στον ταμιευτήρα ή γεωτρήσεις ενδιάμεσης συμπλήρωσης οι οποίες εκτελούνται από ήδη υπάρχουσες γεωτρήσεις συνήθως με

πλευρική όρυξη αυτών και στοχεύουν επιλεκτικά σε μέρη του ταμιευτήρα για τυχόν πρόσθετες τεχνικές παρεμβάσεις για την ενίσχυση της απόληψης υδρογονανθράκων.

- **Γεώτρησης εγκατάλειψης (Abandonment well)**

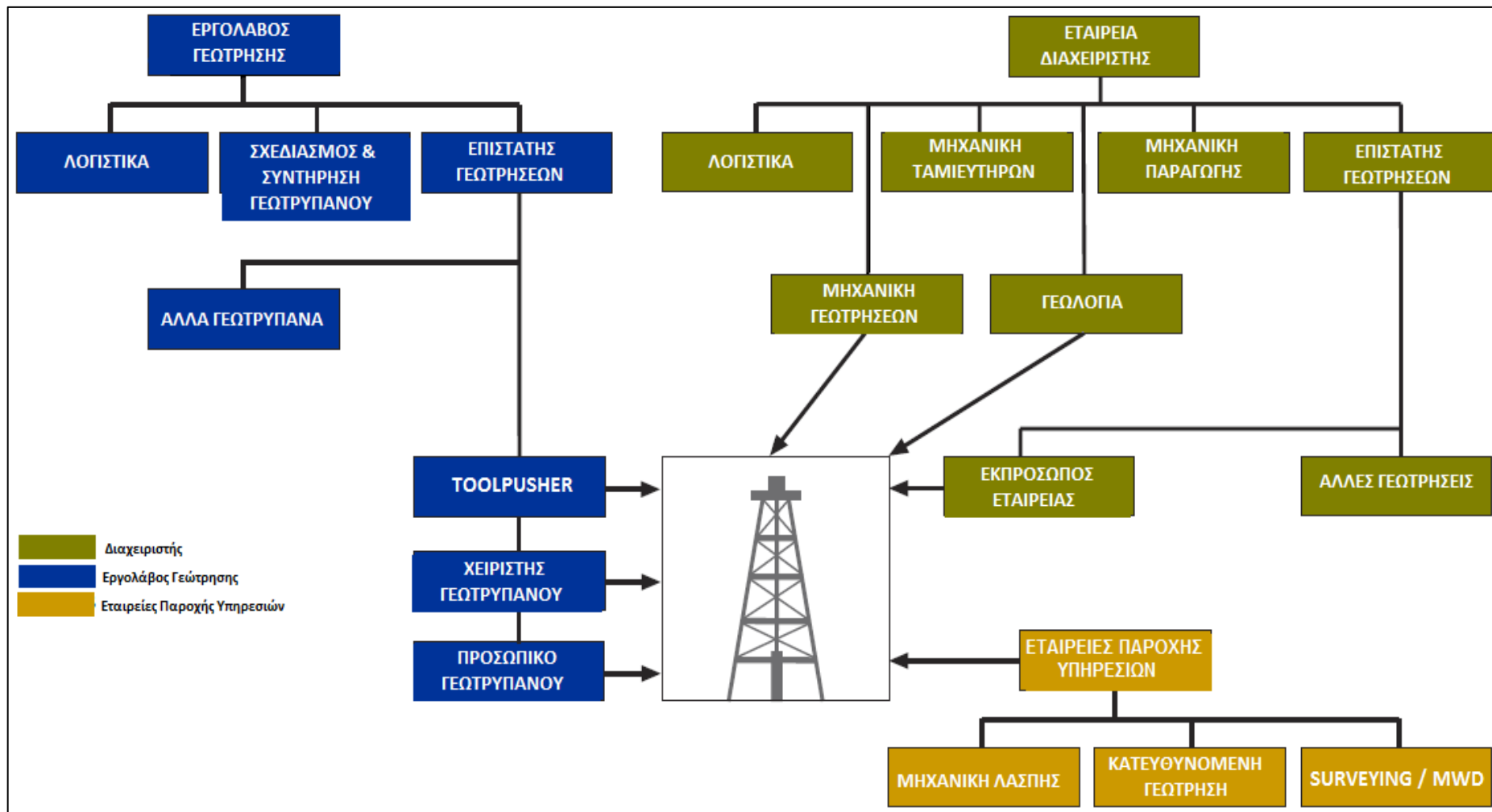
Στην περίπτωση αποτυχίας εντοπισμού υδρογονανθράκων, η γεώτρηση που είχε ορυχθεί για τη συλλογή των δεδομένων πρέπει να σφραγιστεί για την αποσόβηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων αλλά και για θέματα ασφάλειας. Αυτή η γεώτρηση μπορεί να είναι είτε ερευνητική είτε αποτίμησης.

1.4.3. Απασχολούμενο προσωπικό ενός γεωτρητικού έργου

Η όρυξη μίας γεώτρησης απαιτεί πολλές διαφορετικές δεξιότητες και περιλαμβάνει πολλές επιχειρήσεις (**Σχήμα 1.10.**). Η εταιρεία πετρελαίου που διαχειρίζεται τις εργασίες διάτρησης ή /και παραγωγής είναι γνωστή ως **διαχειριστής (operator)**. Στις κοινοπραξίες, μία εταιρεία ενεργεί ως διαχειριστής για λογαριασμό των άλλων εταίρων.

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές στρατηγικές διαχείρισης της όρυξης μίας γεώτρησης. Ωστόσο, σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις η πετρελαϊκή εταιρεία θα χρησιμοποιήσει έναν **υπεργολάβο γεωτρήσεων** για να ορύξει ουσιαστικά την γεώτρηση. Ο υπεργολάβος γεωτρήσεων κατέχει και συντηρεί το γεωτρύπανο, και απασχολεί και εκπαιδεύει το προσωπικό που απαιτείται για τη λειτουργία αυτού.

Κατά τη διάρκεια της όρυξης, δύναται να απαιτηθούν συγκεκριμένες εξειδικευμένες δεξιότητες ή εξοπλισμός (π.χ. διαγραφίες, surveying). Αυτά παρέχονται από **εταιρείες παροχής υπηρεσιών (service companies)**. Αυτές οι εταιρείες παροχής υπηρεσιών αναπτύσσουν και διατηρούν εξειδικευμένα εργαλεία και προσωπικό, τα οποία παρέχουν στον διαχειριστή και χρεώνονται σε αυτόν σε ημερήσια βάση (day rate).



Σχήμα 1.10. Προσωπικό που συμμετέχει σε ένα γεωτρητικό έργο

Τα είδη των συμβάσεων για την όρυξη μιας ή περισσότερων γεωτρήσεων που συναντώνται στην πετρελαϊκή βιομηχανία είναι οι **ημερήσιες συμβάσεις (day rate contracts)** και οι **συμβάσεις “turnkey”**. Τον συνηθέστερο τύπο σύμβασης για την εκτέλεση μιας γεώτρησης αποτελεί η σύναψη συμβολαίων ημερήσιας χρέωσης.

Στην περίπτωση της σύμβασης ημερήσιας χρέωσης (day rate contract), ο διαχειριστής προετοιμάζει το λεπτομερή σχεδιασμό και το πρόγραμμα εκτέλεσης της γεώτρησης, ενώ ο υπεργολάβος της γεώτρησης παρέχει απλά το γεωτρύπανο και το απαραίτητο προσωπικό. Ο υπεργολάβος λαμβάνει ένα σταθερό χρηματικό ποσό για κάθε ημέρα που ξοδεύει στην όρυξη της γεώτρησης. Όλα τα αναλώσιμα αντικείμενα (π.χ. κοπτικά άκρα, τσιμέντο), υπηρεσίες μεταφοράς και υποστήριξης παρέχονται από την εταιρεία διαχειριστή του έργου.

Στην περίπτωση της σύμβασης turnkey, ο υπεργολάβος γεωτρήσεων σχεδιάζει την γεώτρηση, αναλαμβάνει τις υπηρεσίες μεταφοράς και υποστήριξης, αγοράζει όλα τα αναλώσιμα και χρεώνει στην πετρελαϊκή εταιρεία ένα σταθερό χρηματικό ποσό για το σύνολο των υπηρεσιών που της παρέχει. Ο ρόλος του διαχειριστή, στην περίπτωση της σύμβασης “turnkey”, είναι ο προσδιορισμός των στόχων της γεώτρησης, των διαδικασιών αξιολόγησης και ο καθορισμός των ποιοτικών ελέγχων της τελικής/ολοκληρωμένης γεώτρησης. Σε όλες τις περιπτώσεις, ο υπεργολάβος γεωτρήσεων είναι υπεύθυνος για τη συντήρηση του γεωτρυπάνου και του συναφούς εξοπλισμού.

1.4.4. Πρόγραμμα γεωτρητικού έργου

Η πρόταση για την όρυξη μίας γεώτρησης προετοιμάζεται από τους γεωλόγους και τους μηχανικούς ταμιευτήρα της εταιρείας που διαχειρίζεται το έργο, και παρέχει τις πληροφορίες με βάση τις οποίες θα σχεδιαστεί η γεώτρηση και θα προετοιμαστεί το πρόγραμμα της γεώτρησης (drilling program). Η πρόταση περιέχει τις ακόλουθες πληροφορίες:

- Σκοπός εκτέλεσης της γεώτρησης Βάθος (σε m/ft από την επιφάνεια της θάλασσας) και τοποθεσία (γεωγραφικό μήκος και πλάτος) του στόχου
- Γεωλογικό μοντέλο υπεδάφους
- Εκτίμηση/πρόβλεψη της πίεσης πόρων των σχηματισμών

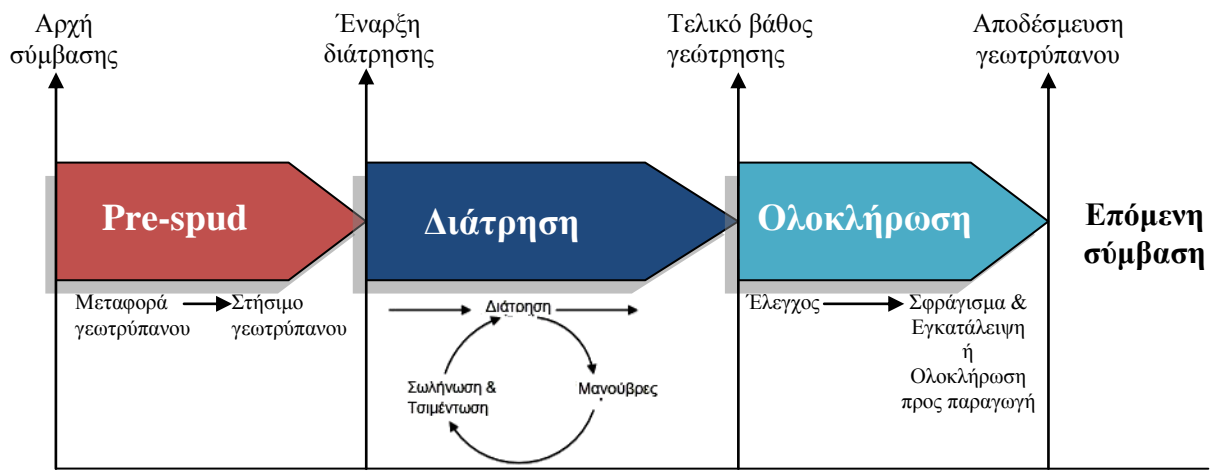
Το πρόγραμμα της γεώτρησης προετοιμάζεται από τον μηχανικό γεωτρήσεων και περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Είδος γεωτρύπανου
- Προτεινόμενη τοποθεσία για το γεωτρύπανο
- Μέγεθος / διάμετρος γεώτρησης και βάθος (*Hole sizes and depths*)
- Μέγεθος και βάθος σωλήνωσης (*Casing sizes and depths*)
- Προσδιορισμός των προδιαγραφών/χαρακτηριστικών του υγρού διάτρησης (*Drilling fluid specification*)
- Πληροφορίες για τυχόν ακολουθούμενο σχεδιασμό κατευθυνόμενης διάτρησης (*Directional drilling information*)
- Εξοπλισμός και οι διαδικασίες ελέγχου της γεώτρησης (*Well control equipment and procedures*)
- Κοπτικά άκρα και υδραυλικό πρόγραμμα (*Bits and hydraulics program*)

1.5. Στάδια ενός γεωτρητικού έργου

Βασιζόμενος σε αναφορές ολοκληρωμένων γεωτρήσεων, όπου καταγράφονται οι χρόνοι των σημαντικότερων εργασιών, ο Leamon (2006) προτείνει τη διάκριση ενός γεωτρητικού έργου, ανεξάρτητα του σκοπού που εξυπηρετεί η γεώτρηση, σε τρία στάδια:

1. Στάδιο εργασιών πριν την έναρξη της διάτρησης (pre-spud phase)
2. Στάδιο εργασιών κατά τη διάτρηση (drilling phase)
3. Στάδιο εργασιών ολοκλήρωσης της γεώτρησης (completion phase)



Σχήμα 1.11. Στάδια ενός γεωτρητικού έργου

Κάθε στάδιο του γεωτρητικού έργου μπορεί να χωριστεί σε περισσότερα υπό-στάδια και εργασίες. Το σχέδιο μιας μεμονωμένης γεώτρησης μπορεί να περιλαμβάνει πλήθος επί μέρους εργασιών για κάθε φάση του έργου, συμπεριλαμβανομένων του χρόνου και του κόστους για την κάθε μία. Βέβαια, κάθε εταιρεία μπορεί να ορίζει διαφορετικά κάθε στάδιο και να δίνει διαφορετικούς κωδικούς και ονομασίες, καθιστώντας την ανάλυση ανά περιοχή δύσκολη (Leamon, 2006).

1.5.1. Στάδιο εργασιών πριν την έναρξη της διάτρησης (pre-spud phase)

Το στάδιο αυτό εκτείνεται από την αρχή της σύμβασης του υπερβολάβου γεωτρήσεων μέχρι την έναρξη της διάτρησης. Αποτελείται από δύο φάσεις. Αρχικά ορίζεται η περίοδος από την αρχή του συμβολαίου μέχρι την άφιξη του γεωτρήπανου στη θέση της γεώτρησης, η οποία περιλαμβάνει τη μεταφορά του εξοπλισμού και των υλικών, και καλείται «mobilisation». Η περίοδος που ακολουθεί και που ορίζεται έως την αρχή της διάτρησης,

αφορά στην «ανύψωση/στήσιμο του γεωτρύπανου» (rig up) και περιλαμβάνει όλες τις εργασίες τοποθέτησης του.

Το κόστος για τη μεταφορά του εξοπλισμού και των υλικών (mobilisation) μπορεί να είναι είτε κατ'αποκοπή ποσό, είτε συνάρτηση των ημερήσιων χρεώσεων από τη έναρξη της σύμβασης ως την άφιξη του γεωτρύπανου στη θέση της γεώτρησης, είτε ένας συνδυασμός και των δύο. Οι χρεώσεις που αφορούν το στάδιο πριν την έναρξη της γεώτρησης μπορούν επίσης να περιλαμβάνουν ορισμένα τεχνικά γενικά έξοδα, την τοπογραφική αποτύπωση της περιοχής και την προετοιμασία του χώρου.

Κοινή πρακτική της βιομηχανίας πετρελαίου, τόσο αναφορικά με τις χερσαίες όσο και τις υπεράκτιες εκμεταλλεύσεις, αποτελεί η έναρξη της χρέωσης από την μεταφορά του εξοπλισμού από την αρχική του τοποθεσία στη θέση της όρυξης.

1.5.2. Στάδιο εργασιών κατά τη διάτρηση

Το στάδιο της διάτρησης μπορεί να οριστεί ως η χρονική περίοδος από την έναρξη της όρυξης (spud) μέχρι την κατάληξη στο τελικό βάθος της γεώτρησης, όποτε σταματά η διάτρηση. Στο στάδιο αυτό περιλαμβάνονται, εκτός της καθαρής διάτρησης, οι εργασίες σωλήνωσης και τσιμεντώσης, καθώς και οι χρόνοι μανούβρας και αναλύονται παρακάτω.

Σωλήνωση και τσιμεντώση

Η σωλήνωση είναι μια σημαντική φάση κατά τη διάνοιξη μιας γεώτρησης. Με τον όρο “σωλήνωση” περιγράφεται η διαδικασία επένδυσης της γεώτρησης από την επιφάνεια μέχρι το τελικό βάθος, από στήλη αλληλοκοχλιώμενων σωλήνων διαφόρων διαμέτρων, σύμφωνα με το εκάστοτε πρόγραμμα της γεώτρησης. Η σωλήνωση εκτελείται κατά στάδια, όσο αυξάνει το βάθος διάτρησης (Σταματάκη, 2003).

Η τσιμεντώση αποτελεί μια δομική εργασία στην όρυξη γεωτρήσεων. Με τον όρο τσιμεντώση εννοούμε τη διαδικασία πλήρωσης ενός τμήματος της γεώτρησης με μίγμα υλικών που έχουν ως βάση το τσιμέντο, γνωστό με τον όρο γαλάκτωμα (slurry). Το μίγμα αυτό είναι ικανό να πήζει, να στερεοποιείται και να μεταβάλεται σε ένα συμπαγές και πρακτικά αδιαπέρατο υλικό. Η τσιμεντώση αφορά στο τμήμα του δακτυλίου μεταξύ του εξωτερικού μέρους της σωλήνωσης και των τοιχωμάτων της γεώτρησης (Σταματάκη, 2003).

Η τοποθέτηση και τσιμεντώση της σωλήνωσης αυξάνει σημαντικά τόσο το χρόνο όσο και το κόστος της γεώτρησης. Επιπρόσθετα, το κόστος του εξοπλισμού της σωλήνωσης αποτελεί από μόνο του σημαντικό κομμάτι του συνολικού κόστους του

γεωτρητικού έργου. Επομένως, ο μηχανικός λαμβάνει σοβαρά υπόψη την επιλογή του μεγέθους των στηλών σωλήνωσης, της κατηγορίας, των συνδέσμων και του βάθους έδρασης κάθε τμήματος, τόσο για τεχνικούς όσο και για οικονομικούς λόγους.

Χρόνοι «μανούβρας»

Πρόκειται για το χρόνο κατά τον οποίο δεν πραγματοποιείται διάτρηση. Περιλαμβάνει την καθέλκυση και ανέλκυση της διατρητικής στήλης (tripping), η οποία απαιτείται μεταξύ άλλων για την αλλαγή του κοπτικού άκρου και την εκτέλεση διαγραφιών για την αξιολόγηση των σχηματισμών, πριν η γεώτρηση φθάσει στο τελικό βάθος. Επίσης, περιλαμβάνονται οι χρόνοι αναμονής κατά την τοποθέτηση και τσιμεντώση της σωλήνωσης. Οι χρόνοι «μανούβρας» αναλύονται στο 4^ο Κεφάλαιο της παρούσας εργασίας.

1.5.3. Στάδιο ολοκλήρωσης της γεώτρησης

Το στάδιο αυτό μπορεί να οριστεί από την στιγμή που η γεώτρηση φτάνει στο τελικό της βάθος μέχρι την αποδέσμευση του γεωτρώπανου. Μετά την κατάληξη της γεώτρησης στο τελικό της βάθος, συνήθως διενεργούνται ηλεκτρικές διαγραφίες για τον πλήρη έλεγχο της ποιότητας των εργασιών (Leamon, 2006). Επίσης, διενεργείται έλεγχος της παρουσίας και της ποιότητας των υδρογονανθράκων. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται πριν την έναρξη των κύριων εργασιών ολοκλήρωσης. Χρησιμοποιούνται ειδικά δειγματοληπτικά όργανα (formation testers) τα οποία λειτουργούν στο περιβάλλον της γεώτρησης, χωρίς δηλαδή να είναι απαραίτητο να έχει αφαιρεθεί η λάσπη διάτρησης. Με τη βοήθεια των οργάνων αυτών είναι δυνατή η δειγματοληψία υγρού ή αερίου από το σχηματισμό ενδιαφέροντος. Καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας καταγράφεται και η πίεση στο δειγματοληπτικό όργανο με αποτέλεσμα να υπάρχει ένδειξη για τις πιέσεις που επικρατούν μέσα στο σχηματισμό (Σταματάκη, 2003).

Στην περίπτωση που μια γεώτρηση έχει επιτυχές αποτέλεσμα (κυρίως αναφερόμαστε στην όρυξη), πρέπει να ακολουθήσει μια σειρά εργασιών που διαμορφώνουν το πηγάδι σε παραγωγικό σύστημα. Οι εργασίες αυτές αποβλέπουν, αφενός, στον έλεγχο της ποιότητας των υδρογονανθράκων και, αφετέρου, στην απρόσκοπτη παραγωγή.

Η παραγωγική σωλήνωση της γεώτρησης είναι η στήλη η οποία επενδύει τη γεώτρηση σε όλο της το βάθος και καλύπτει και την παραγωγική ζώνη. Τοποθετείται στη γεώτρηση και τσιμεντώνεται. Η σωλήνωση, με το πέρας της τοποθέτησής της, παραμένει

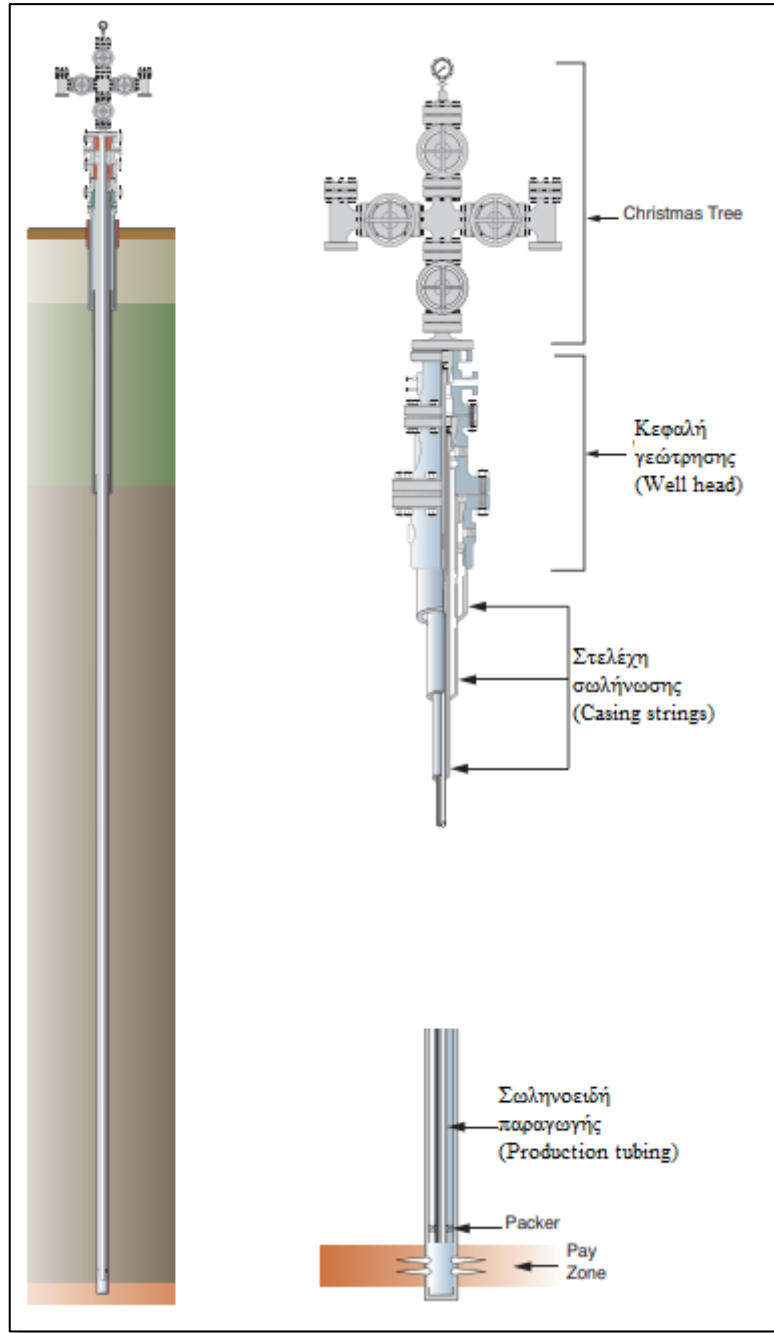
γεμάτη λάσπη από τη διάτρηση αλλά και από την τσιμεντώση. Το σύστημα καθαρίζεται με την κυκλοφορία ρευστών περισσότερο συμβατών με το περιβάλλον της παραγωγικής ζώνης, όπως νερό ή πετρέλαιο. Για την αποκατάσταση της επικοινωνίας μεταξύ του παραγωγικού σχηματισμού και του τμήματος της γεώτρησης γύρω από τον πυθμένα της, η σωλήνωση διατρύπεται περιμετρικά (perforation).

Η ολοκλήρωση της γεώτρησης μπορεί επίσης να περιλαμβάνει τον έλεγχο εισόδου άμμου (sand control), την αύξηση της διαπερατότητας με υδραυλική ρωγμάτωση (hydraulic fracturing) ή χρήση οξέων (acid treatment).

Το τελευταίο στάδιο στην ολοκλήρωση της διαδικασίας για την μετατροπή της γεώτρησης σε παραγωγικό σύστημα, αποτελεί η εγκατάσταση στην κορυφή (κεφαλή) της γεώτρησης του εξοπλισμού, ο οποίος συνδέει τον πυθμένα της γεώτρησης με τις εγκαταστάσεις διαχωρισμού και επεξεργασίας στην επιφάνεια. Ο εξοπλισμός αυτός αποτελεί το σύστημα ελέγχου και ρύθμισης της ροής των ρευστών και αποτελείται κυρίως από βαλβίδες, μανόμετρα, όργανα ρύθμισης της πίεσης (παροχής), ροόμετρα και γραμμές ροής. Η διάταξή τους στο χώρο δίδει την αίσθηση χριστουγεννιάτικου δένδρου και έχει επικρατήσει η περιγραφή του με την ορολογία Christmas tree. Στο **Σχήμα 1.12**, δίδεται ένα σχεδιάγραμμα ολοκληρωμένης γεώτρησης.

Αν η γεώτρηση είναι ανεπιτυχής (δεν υπάρχει ένδειξη ύπαρξης υδρογονανθράκων) και κρίνεται προς εγκατάλειψη, τότε τοποθετούνται πώματα τσιμέντου με κατάλληλο τρόπο στο εσωτερικό της γεώτρησης, ώστε να απομονωθεί/σφραγιστεί ο ταμιευτήρας και να μην υπάρξει διαρροή ή μόλυνση. Η διαδικασία ολοκλήρωσης των μη επιτυχών γεωτρήσεων μπορεί επίσης να περιλαμβάνει την αφαίρεση της σωλήνωσης, όταν βεβαίως αυτή δεν έχει τσιμεντωθεί.

Η αποδέσμευση του γεωτρύπανου από το πεδίο της γεώτρησης περιλαμβάνει είτε τη μεταφορά του σε κάποια θέση, εντός της ίδιας (ιζηματογενούς) λεκάνης για την εκτέλεση νέας γεώτρησης, είτε την πλήρη αποδέσμευσή του από την περιοχή σε περίπτωση που κρίνεται ότι η συνέχιση των εργασιών είναι μη συμφέρουσα. Αν ισχύει το δεύτερο, τότε, το γεωτρύπανο παραδίδεται στην επόμενη πετρελαϊκή εταιρεία που το έχει μισθώσει. Αν η γεώτρηση είναι η τελευταία στο πρόγραμμα του υπεργολάβου, τότε η πετρελαϊκή εταιρεία δύναται να χρεωθεί τα κόστη για τη μεταφορά του γεωτρύπανου στο κοντινότερο λιμάνι. Ο επόμενος πελάτης (πετρελαϊκή εταιρεία) συνήθως είναι υπεύθυνος για την πληρωμή των εξόδων μεταφοράς του γεωτρύπανου από το λιμάνι στην επόμενη θέση χρήσης του (Leamon, 2006).



Σχήμα 1.12. Σχεδιάγραμμα ολοκληρωμένης γεώτρησης (Ford, 2017)

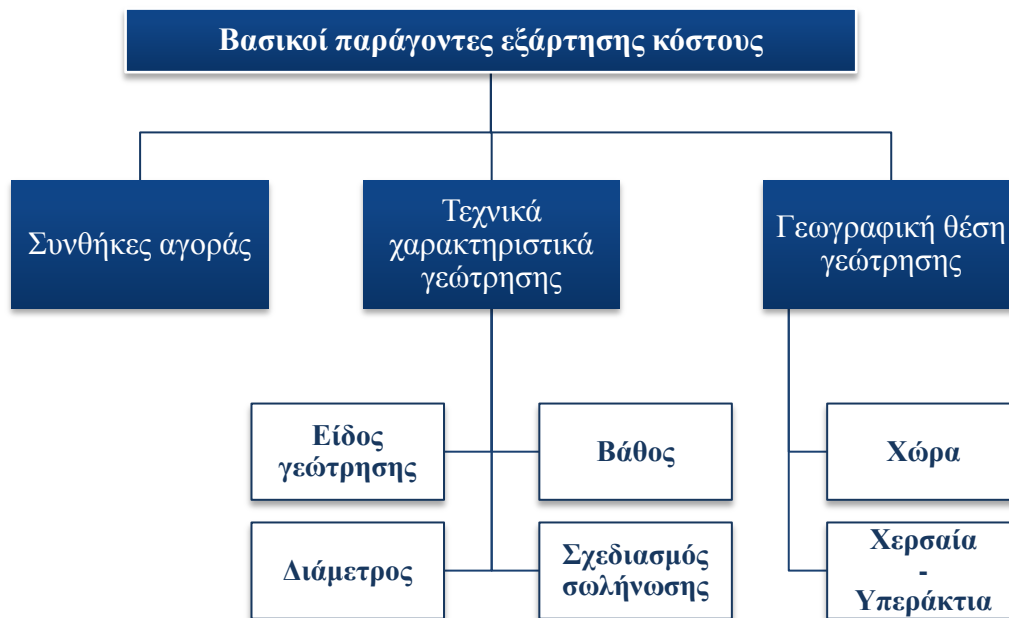
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 °

Κόστος ενός γεωτρητικού έργου

2.1. Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το κόστος

Είναι γεγονός πως το κόστος ενός γεωτρητικού έργου εξαρτάται από πληθώρα παραγόντων, οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη για την εκτίμηση του. Διάφοροι συγγραφείς, όπως οι Hossain και Al-Mejed (2015) και Kaiser (2009) δίνουν έμφαση σε διαφορετικούς παράγοντες. Ωστόσο οι σημαντικότεροι από αυτούς παρουσιάζονται στο

Σχήμα 2.1.:



Σχήμα 2.1. Οι βασικοί παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το κόστος μίας γεώτρησης

Εξετάζοντας ένα γεωτρητικό έργο που περιλαμβάνει **πάνω από μία γεώτρηση**, ο Rabia (2002) απαριθμεί τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το κόστος αυτού:

- Ο αριθμός των γεωτρήσεων
- Το είδος των γεωτρήσεων
- Η διάταξη των γεωτρήσεων και η απόσταση μεταξύ τους (well layout and spacing)
- Οι προδιαγραφές του εξοπλισμού (specifications of equipment)
- Η ανοχή όσον αφορά το στόχο (target tolerance), κυρίως αφορά σε κεκλιμένες γεωτρήσεις
- Το βάθος της στήλης νερού στην περίπτωση των υπεράκτιων γεωτρήσεων

- Το κόστος χρέωσης του γεωτρύπανου

Εν συνεχεία αναλύονται περαιτέρω οι βασικότεροι παράγοντες με βάση το **Σχήμα 2.1**. Αξίζει να σημειωθεί πως ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος μιας γεώτρησης είναι ο **χρόνος**, καθώς αρκετά από τα κόστη εξαρτώνται από αυτόν.

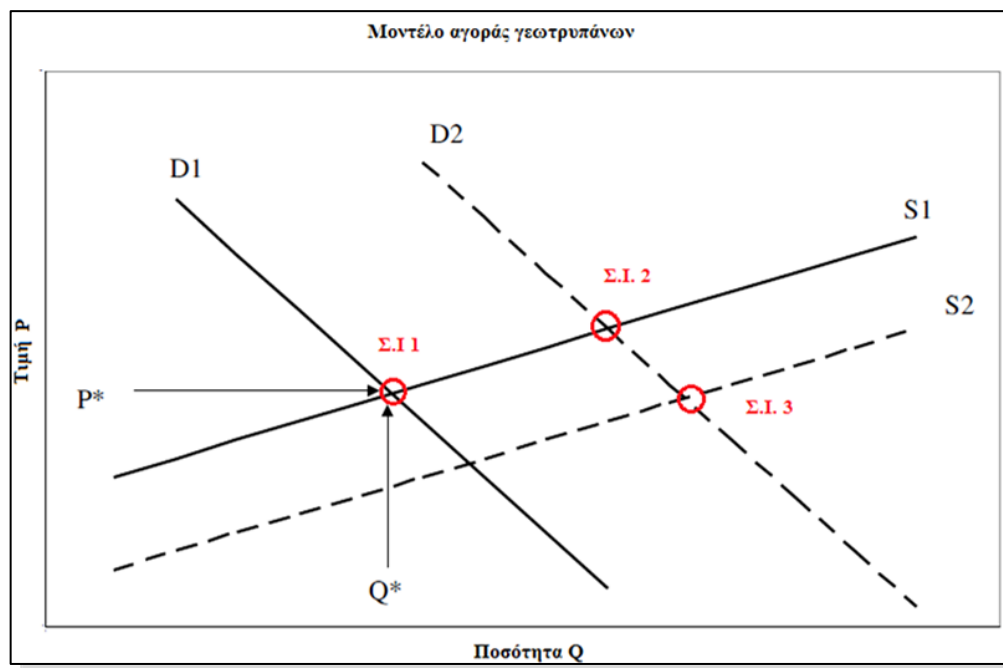
2.1.1. Συνθήκες αγοράς

Η αγορά των γεωτρύπανων είναι μια παγκόσμια και ανταγωνιστική αγορά.¹ Οι διακυμάνσεις της τιμής του αργού πετρελαίου επηρεάζουν την διαθεσιμότητα των γεωτρύπανων και έτσι το κόστος ενοικίασής τους. Η διαθεσιμότητα γεωτρύπανου καθορίζει την έναρξη ενός γεωτρητικού έργου. Η διαθεσιμότητα, βέβαια, επηρεάζεται σε ένα βαθμό και από τη δυνατότητα που υπάρχει στην αξιοποίηση διαθέσιμου εξοπλισμού από παλαιότερα γεωτρύπανα για την επισκευή και επαναχρησιμοποίηση υφιστάμενων γεωτρυπάνων.

Η αγορά γεωτρυπάνων χαρακτηρίζεται από περιόδους υψηλής ζήτησης περιορισμένης προσφοράς και υψηλών ημερήσιων χρεώσεων, ακολουθούμενες από περιόδους χαμηλής ζήτησης και υπερβολικής προσφοράς γεωτρύπανων. Για παράδειγμα, την περίοδο της πετρελαϊκής κρίσης 1982-1984 οι σχετικές τιμές μειώθηκαν κατά 50% (Σταματάκη, 2003). Μετά την πετρελαϊκή κρίση που ξεκίνησε το 2014, οι εταιρείες παροχής υπεράκτιων γεωτρύπανων πίστευαν ότι η ανάκαμψη στην αγορά ενοικίασης θα πραγματοποιηθεί το 2018 λόγω της αυξημένης ζήτησης, με την εκτίμηση ότι οι μέσες τιμές θα υπερβούν τα 200.000 δολαρίων την ημέρα (Lioudis, 2018).

Ας εξετάσουμε, παραδείγματος χάριν, την ανταγωνιστική αγορά γεωτρύπανων της Βόρειας Θάλασσας, σε μια κατάσταση ισορροπίας. Η κατάσταση αυτή μπορεί να παρασταθεί σε διάγραμμα προσφοράς-ζήτησης όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2.2.**, όπου με το γράμμα D σημειώνονται οι απλοποιημένες καμπύλες που συμβολίζουν τη ζήτηση γεωτρύπανων, και με το γράμμα S οι απλοποιημένες καμπύλες που συμβολίζουν την προσφορά τους.

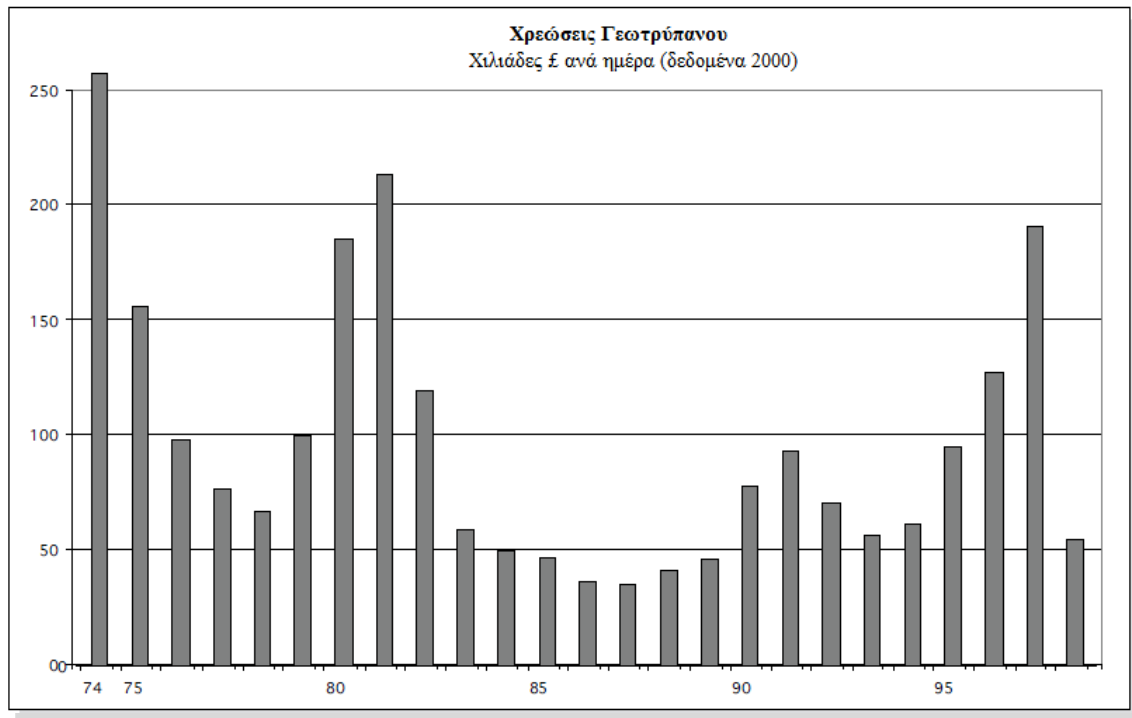
¹ Αυτό που διαμορφώνει το σημείο ισορροπίας είναι η συνολική ζήτηση και η συνολική προσφορά. Όλες οι επιχειρήσεις διαθέτουν το προϊόν τους στην τιμή ισορροπίας.



Σχήμα 2.2. Μοντέλο της ανταγωνιστικής αγοράς γεωτρήσεων (διάγραμμα προσφοράς-ζήτησης)

Αρχικά η αγορά βρίσκεται σε ισορροπία (στο σημείο ισορροπίας Σ.Ι. 1) για μια συγκεκριμένη τιμή (P^*) και προσφορά (Q^*). Στην περίπτωση αύξησης της τιμής του πετρελαίου, οι πετρελαϊκές εταιρείες αναμένουν καλύτερες αποδόσεις από τις ανακαλύψεις τους και προγραμματίζουν την όρυξη περισσότερων ερευνητικών γεωτρήσεων. Έτσι, η ζήτηση γεωτρήσεων αυξάνει (μετακίνηση καμπύλης ζήτησης προς τα δεξιά, D2). Αφού αυξάνει η ζήτηση, αυξάνει και η τιμή ενοικίασης τους και έτσι η αγορά βρίσκεται σε νέο σημείο ισορροπίας (Σ.Ι. 2) με μεγαλύτερη τιμή ενοικίασης. Τα κέρδη των παρόχων γεωτρήσεων τότε αυξάνονται και έτσι έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν την προσφορά γεωτρήσεων στην αγορά, πιθανά με την κατασκευή νέων. Με την αύξηση της προσφοράς (μετακίνηση καμπύλης προσφοράς προς τα δεξιά, S2), η τιμή ενοικίασης των γεωτρήσεων μειώνεται και η αγορά βρίσκεται σε νέο σημείο ισορροπίας (Σ.Ι. 3) με μικρότερη τιμή ενοικίασης P και μεγαλύτερη παρεχόμενη ποσότητα (προσφορά) Q .

Από τα παραπάνω, γίνεται σαφές ότι οι πετρελαϊκές εταιρείες με σοβαρό οικονομικό υπόβαθρο, σε περιόδους μείωσης της τιμής του πετρελαίου ανοίγονται στην έρευνα, λόγω του σημαντικά μικρότερου κόστους. Για αυτό, απόψεις που εκφράζονται ότι οι περίοδοι χαμηλών τιμών επιδρούν αρνητικά στην έρευνα υδρογονανθράκων δεν επαληθεύονται στην πράξη.



Σχήμα 2.3. Χρεώσεις γεωτρύπανων σε χιλιάδες £ ανά ημέρα (δεδομένα 2000) (Herriot Watt University, Institute of Petroleum Engineering, 2016)

Στο **Σχήμα 2.3.** παρουσιάζονται οι μεταβολές της ημερήσιας χρέωσης γεωτρύπανων (rig leasing rate) σε ένα διάστημα 30 χρόνων. Σημειώνεται πως οι μέγιστες τιμές συμπίπτουν με τις περιόδους υψηλών τιμών πετρελαίου.

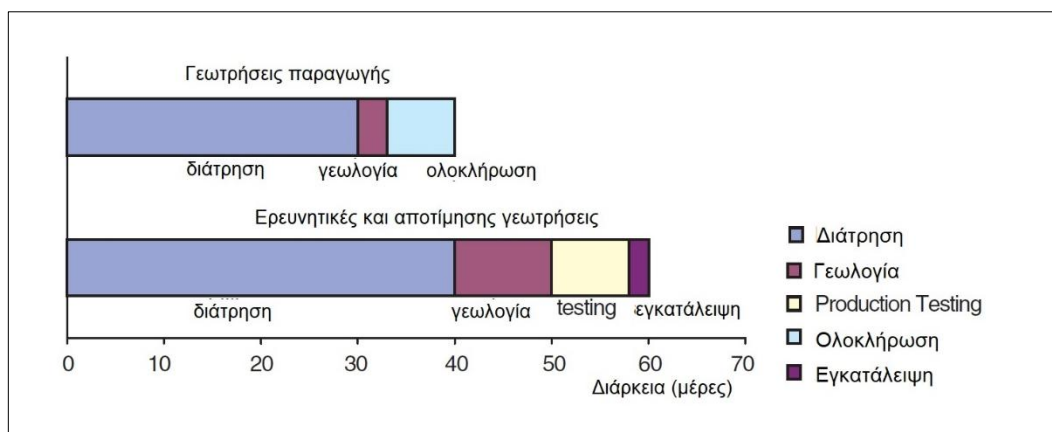
Είναι πολύ πιθανό, κατά τη διάρκεια εκτέλεσης ενός γεωτρητικού έργου η οικονομική ανάλυση να πρέπει να αναθεωρηθεί, ώστε να λάβει υπόψη μεταβολές στο οικονομικό περιβάλλον της χώρας, όπου αυτό εκτελείται. Η μεταβολή του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος ανά χρόνο χαρακτηρίζει την χώρα από πλευράς σταθερότητας και επηρεάζεται από τον πληθωρισμό. Επομένως, ο πληθωρισμός αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει το κόστος ενός γεωτρητικού έργου και πρέπει να εξετάζεται για την προσαρμογή αυτού.

2.1.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά της γεώτρησης

Τα βασικότερα χαρακτηριστικά τα οποία επηρεάζουν το κόστος μιας γεώτρησης αποτελούν το είδος αυτής, το συνολικό βάθος και η διάμετρος της, το πρόγραμμα σωλήνωσης και τσιμέντωσης και η γεωλογία της περιοχής. Κάποιοι από αυτούς του παράγοντες είναι ιδιαίτερης σημασίας, καθώς έχουν άμεση επίδραση σε άλλες παραμέτρους που σχετίζονται με μία γεώτρηση.

Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η υφιστάμενη γνώση της περιοχής εκτέλεσης μιας γεώτρησης. Όταν η γεώτρηση εκτελείται σε περιοχή όπου πολύ λίγες ή καθόλου πληροφορίες είναι διαθέσιμες (γεώτρηση υψηλού ρίσκου) το κόστος είναι μεγαλύτερο σε σχέση με τις καθαρά ερευνητικές γεωτρήσεις (exploratory wells), ενώ καθίσταται δύσκολη η βελτίωση των παραμέτρων της διάτρησης. Λόγω της έλλειψης εμπειρίας στην περιοχή, στην περίπτωση των ερευνητικών γεωτρήσεων, υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα αναφορικά με την διατηρησιμότητα των σχηματισμών, τα βάθη κλπ, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η διάρκεια της διάτρησης. Απροσδόκητα περιστατικά, όπως απώλειες ρευστού (πολφού) διάτρησης, μπορούν να προκαλέσουν καθυστέρηση των εργασιών. Το 70-75% του κόστους είναι ανάλογο του χρόνου διάτρησης. Έτσι, μόνο το 20-30% του κόστους διάτρησης δύναται να εκτιμηθεί με κάποιο σχετικό βαθμό ακρίβειας. Επομένως, καθίσταται δύσκολη η εκτίμηση του προϋπολογισμού για μια ερευνητική γεώτρηση. Σημειώνεται πως, γενικά, οι γεωτρήσεις έρευνας και αποτίμησης είναι πιο δαπανηρές λόγω των εκτενών μετρήσεων και δειγματοληψιών που εκτελούνται.

Σε αντίθεση με τις ερευνητικές γεωτρήσεις, στην περίπτωση των παραγωγικών η γνώση και η εμπειρία είναι μεγαλύτερη και το κόστος μειώνεται σημαντικά, καθώς η συνάντηση απρόβλεπτων συμβάντων μπορεί να αποφευχθεί έχοντας μελετήσει γεωτρήσεις που έχουν εκτελεστεί στην ίδια και την ευρύτερη περιοχή (συναντούμενοι γεωλογικοί σχηματισμοί, χρησιμοποιούμενα κοπτικά άκρα, κλπ.). Συγχρόνως, αντίθετα από τις ερευνητικές γεωτρήσεις, περιλαμβάνουν επαναλαμβανόμενες εργασίες. Έτσι, ο χρόνος είναι ευκολότερο να προγραμματιστεί και τα κόστη είναι συχνά ευκολότερο να διαχειριστούν. Σε οποιοδήποτε περιβάλλον, οι γεωτρήσεις ανάπτυξης ορύσσονται γενικά πιο γρήγορα σε σχέση με τις ερευνητικές γεωτρήσεις, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2.4.**, γεγονός που συμβάλλει στο μειωμένο κόστος αυτών.



Σχήμα 2.4. Τυπική διάρκεια ερευνητικών και παραγωγικών γεωτρήσεων (Bret-Rouzaut & Favennec, 2011)

Αξίζει επίσης να σημειωθεί, πως το κόστος αυξάνεται στην περίπτωση γεωτρήσεων που εκτελούνται υπό ιδιαίτερες συνθήκες. Παράδειγμα αποτελούν οι γεωτρήσεις υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας, γνωστές ως HP/HT (High Pressure High Temperature) και οι γεωτρήσεις σε όξινο περιβάλλον (παρουσία όξινου αερίου-sour gas-). Με την προχώρηση των γεωτρήσεων σε συνεχώς αυξανόμενο βάθος για την προσέγγιση κοιτασμάτων, οι συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας δυσχεραίνουν επίσης. Ο συμβατικός εξοπλισμός δεν είναι κατάλληλος να λειτουργήσει υπό αυτές τις συνθήκες. Ο εξειδικευμένος εξοπλισμός και τα υλικά, όπως διαφορετικής σύστασης πολφού διάτρησης και τσιμέντο, για την ομαλή εκτέλεση τέτοιου είδους γεωτρήσεων, αυξάνουν σημαντικά το κόστος, μέχρι και 20% σύμφωνα με τους Bret-Rouzaut και συν. (2011). Στην περίπτωση των γεωτρήσεων σε όξινο περιβάλλον, παράγονται τοξικά ρευστά και υπάρχει μεγάλη πιθανότητα αστοχίας των υλικών λόγω της διάβρωσής τους. Έτσι ο εξοπλισμός απαιτείται να είναι κατασκευασμένος από ειδικής σύστασης υλικά, το οποίο αυξάνει το κόστος έως και 20% (Bret-Rouzaut & Favennec, 2011). Συγχρόνως, οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί, στους οποίους υπόκεινται αυτού του είδους οι γεωτρήσεις, μπορούν να αυξήσουν εξίσου το κόστος τους. Στην περίπτωση αυτή, το κόστος συνήθως αυξάνει λόγω της απαιτούμενης επεξεργασίας των παραγόμενων διαβρωτικών και τοξικών ρευστών, ώστε να συμμορφώνονται με την διεθνή νομοθεσία. Τα επιπρόσθετα κόστη μπορεί να κυμαίνονται από 1 έως 5% κατά προσέγγιση (Bret-Rouzaut & Favennec, 2011).

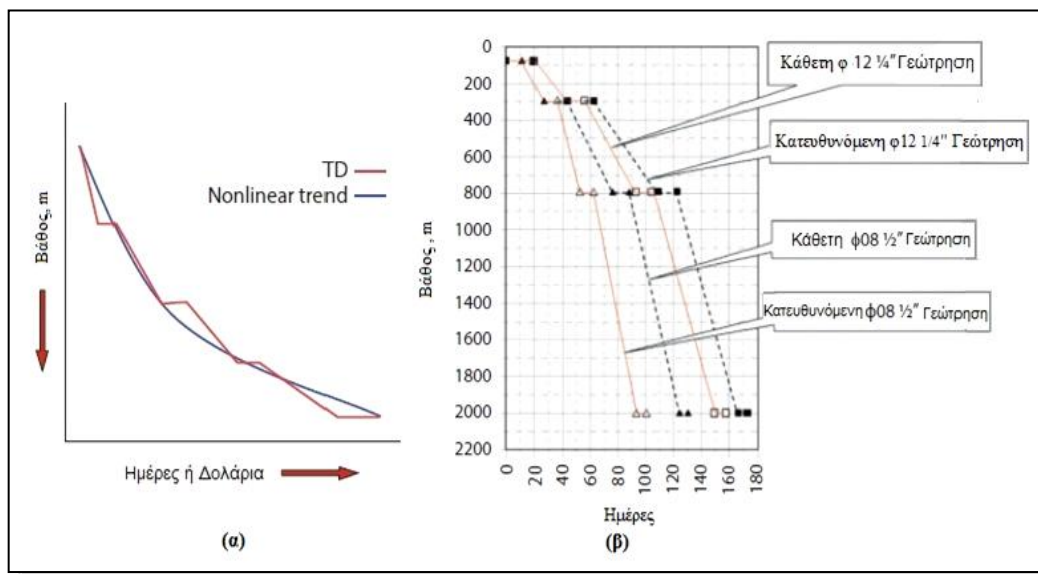
Το προφίλ (profile) μιας γεώτρησης επηρεάζει επίσης το κόστος αυτής, δηλαδή αν πρόκειται για κατακόρυφη, οριζόντια ή γεωτρήσεις πλευρικής όρυξης (multilateral). Σύμφωνα με τους Bret-Rouzaut και συν. (2011), παρότι η πλειοψηφία των γεωτρήσεων έρευνας και αποτίμησης είναι κατακόρυφες, σήμερα το 50% των γεωτρήσεων ανάπτυξης είναι σημαντικά αποκλίνουσες (>60°) ή οριζόντιες. Το κόστος των οριζόντιων

γεωτρήσεων είναι 20-30% μεγαλύτερο από των κατακόρυφων (βέβαια η παραγωγικότητα μπορεί να είναι και 3 φορές μεγαλύτερη). Από την άλλη πλευρά, οι γεωτρήσεις πλευρικής όρυξης απαιτούν υψηλό αρχικό κεφάλαιο και ακριβό εξειδικευμένο προσωπικό.

Όπως αναφέρουν οι Hossain και Al-Mejed (2015), έρευνες έχουν δείξει πως οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος ενός γεωτρητικού έργου είναι τα κόστη που συνδέονται με το **ρυθμό προχώρησης** (Rate Of Penetration), τη **σωλήνωση** και την **τσιμέντωση**. Αυτό συμβαίνει διότι τα κόστη αυτά αυξάνονται σημαντικά με την αύξηση του βάθους της γεώτρησης.

Το πρόγραμμα σωλήνωσης εξαρτάται από το τελικό βάθος της γεώτρησης, το οποίο θα επιλεγεί ώστε να εξασφαλιστεί η επιδιωκόμενη τελική διάμετρος πυθμένα (bottomhole diameter). Επιπλέον, όσο προστίθενται τμήματα στο σχεδιασμό της σωλήνωσης, τόσο αυξάνεται το συνολικό κόστος της όρυξης. Αν για παράδειγμα εξετάσουμε δύο γεωτρήσεις ίδιου βάθους, η προσθήκη, στη μία εξ αυτών, μίας μόνο επιπλέον σωλήνωσης μπορεί να αυξήσει το κόστος αυτής κατά 18%-24% (Hossain & Al-Mejed, 2015).

Το κόστος, λοιπόν, μιας γεώτρησης αυξάνεται μη γραμμικά με το βάθος, όπως φαίνεται στα **Σχήμα 2.5 (α)** και **(β)**. Το διάγραμμα βάθους-χρόνου που παρουσιάζεται στο **Σχήμα 2.5 (β)** για ολοκληρωμένες γεωτρήσεις, μπορεί να αποτελέσει αναφορά για την εκτίμηση του κόστους όρυξης μίας νέας γεώτρησης στην ίδια περιοχή ή σε περιοχή ανάλογων χαρακτηριστικών.



Σχήμα 2.5. Το κόστος της γεώτρησης ως συνάρτηση του βάθους. (Hossain & Al-Mejed, 2015)

2.1.3. Γεωγραφική θέση της γεώτρησης

Η γεωγραφική θέση μιας γεώτρησης επηρεάζει σημαντικά το κόστος αυτής. Γενικά, όσο πιο απομακρυσμένη είναι η περιοχή στην οποία εκτελείται το έργο τόσο αυξάνεται το κόστος. Συγχρόνως, δύναται να διαφέρει από χώρα σε χώρα, ενώ η διαφορά είναι σημαντική μεταξύ *υπεράκτιων* και *χερσαίων* γεωτρήσεων.

Οι υπεράκτιες γεωτρήσεις κοστίζουν πολύ περισσότερο λόγω της αυξημένης δυσκολίας της διάτρησης ειδικά σε βαθιά ύδατα. Επίσης, ένα χερσαίο κοιτάσμα υδρογονανθράκων είναι πιο εύκολα προσβάσιμο και επομένως ένα γεωτρητικό έργο αναπτύσσεται οικονομικότερα σε σχέση με ένα έργο για την προσέγγιση ενός κοιτάσματος που βρίσκεται σε βαθιά ύδατα. Στον **Πίνακα 2.1.** παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανομή του κόστους στις επί μέρους κατηγορίες του, όπως αυτές θεωρούνται από την ιστοσελίδα Oilscams.org, τόσο για τις χερσαίες όσο και για τις υπεράκτιες γεωτρήσεις.

Τέσσερεις είναι οι κατηγορίες κόστους που αναφέρονται: διάτρησης, ολοκλήρωσης, εγκαταστάσεων και λειτουργίας. Στην κατηγορία της διάτρησης συγκαταλέγεται κάθε υλική και άυλη δαπάνη (tangible and intangible) που συνδέεται με την ουσιαστική όρυξη και προχώρηση σε βάθος της γεώτρησης. Στο κόστος ολοκλήρωσης περιλαμβάνονται υλικά και υπηρεσίες που σχετίζονται με εργασίες όπως υδραυλική ρωγμάτωση, η παροχή και διάθεση νερού.

Τέλος, τα *λειτουργικά κόστη*, και για τα δύο είδη γεωτρήσεων, υπόκεινται σε αυτά της ενοικίασης του γεωτρύπανου και περιλαμβάνουν το κόστος συντήρησης και διάθεσης του, γι' αυτό και δεν αναφέρονται στον **Πίνακα 2.1.**

Πίνακας 2.1. Κατανομή του κόστους για χερσαίες και υπεράκτιες γεωτρήσεις (Oilscams.org, 2014)

Κατηγορία κόστους	Ποσοστό επί του συνολικού κόστους	
	Χερσαίες γεωτρήσεις	Υπεράκτιες γεωτρήσεις
Διάτρηση	30%-40%	60%
Ολοκλήρωση	55%-70%	40%
Χερσαίες Εγκαταστάσεις	7%-8%	-

Αναφορικά με τις *χερσαίες γεωτρήσεις*, σύμφωνα με την ίδια ιστοσελίδα το κόστος διάτρησης συνιστά το 30-40% του συνολικού κόστους. Το 55% ως 70% του κόστους αντιστοιχεί στην *ολοκλήρωση* της χερσαίας γεώτρησης, ενώ το υπολειπόμενο 7%-8% του κόστους συνιστά τα *κόστη των χερσαίων εγκαταστάσεων*, τα οποία περιλαμβάνουν

κυρίως τα κόστη για την προετοιμασία του χώρου και την κατασκευή των δρόμων για την προσέγγιση της θέσης της γεώτρησης.

Σύμφωνα με την Υπηρεσία Πληροφοριών Ενέργειας των ΗΠΑ (U.S. Energy Information Administration), το κόστος μιας χερσαίας οριζόντιας γεώτρησης, κατά μέσο όρο, το 2014 κυμαινόταν μεταξύ 4,9 και 8,3 εκατομμυρίων δολαρίων (σε συνολικές κεφαλαιουχικές δαπάνες). Επιπλέον, κατά τη διάρκεια ζωής ενός γεωτρητικού έργου, τα λειτουργικά κόστη για τη μίσθωση του γεωτρύπανου δύναται να επαυξήσουν το κόστος, από 1,0 έως 3,5 εκατομμύρια δολάρια. (Oil Scams.org , 2014)

Το κόστος των **υπεράκτιων γεωτρήσεων** είναι σημαντικά μεγαλύτερο, και εξαρτάται από παράγοντες όπως το βάθος της γεώτρησης, το βάθος των υδάτων, η παραγωγικότητα και η απόσταση από τη στεριά. Στην περίπτωση των ρηχότερων υδάτων και γεωτρήσεων, το μέσο κόστος όρυξης και ολοκλήρωσης το 2014 ανερχόταν στα 120 εκατομμύρια δολάρια (\$120 MM). Σε περιπτώσεις πολύ βαθύτερων γεωτρήσεων και υδάτων, το κόστος σύμφωνα με τις ιστοσελίδα Oil Scams.org (2014) δύναται να ανέρθει έως και στα 230 εκατομμύρια δολάρια (\$230 MM).

Η κατανομή του κόστους στην περίπτωση των **υπεράκτιων γεωτρήσεων** διαφέρει από αυτή των χερσαίων. Σύμφωνα με την ιστοσελίδα Oilscams.org (2014), το μεγαλύτερο ποσοστό του κόστους (60%) αντιστοιχεί στις εργασίες *διάτρησης*, ενώ το υπολειπόμενο 40% αφορά στο *κόστος ολοκλήρωσης*. Στο τελευταίο περιλαμβάνονται τα κόστη της περιμετρικής διατρύπησης της σωλήνωσης (perforations), του εξοπλισμού της κεφαλής της γεώτρησης και των μεταφορικών. Στις υπεράκτιες γεωτρήσεις δεν υφίσταται το κόστος για την διάνοιξη δρόμων για την προετοιμασία του χώρου εκτέλεσης της γεώτρησης και έτσι δεν αποτελεί ποσοστό του κόστους.

2.1.4. Παράγοντες κόστους με βάση το στάδιο του γεωτρητικού έργου

Τα κόστη διάτρησης μιας γεώτρησης υδρογονανθράκων μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες, με βάση το στάδιο του έργου στο οποίο υπόκεινται, όπως αυτά αναφέρονται στο παρόν κείμενο, με σκοπό την εξέταση όλων των παραγόντων που τα επηρεάζουν. Σημειώνεται πως δεν λαμβάνεται υπόψη το στάδιο της ολοκλήρωσης της γεώτρησης καθώς ακολουθεί της διάτρησης.

1. Κόστη πριν την έναρξη της διάτρησης (pre-spud costs)
2. Κόστη κατά τη διάτρηση
3. Κόστη λόγω προβλημάτων

Τα **κόστη πριν την έναρξη της διάτρησης** ουσιαστικά περιλαμβάνουν την προετοιμασία της περιοχής για να υποδεχτεί τις εγκαταστάσεις γεώτρησης, και το σχεδιασμό αυτής. Αυτή η κατηγορία κόστους σχετίζεται άμεσα με το μέγεθος του γεωτρήπανου και της εξέδρας, τα οποία είναι συνάρτηση της διαμέτρου της γεώτρησης, του μήκους του μεγαλύτερου τμήματος σωλήνωσης και του τελικού βάθους της γεώτρησης.

Τα **κόστη κατά τη διάτρηση** περιλαμβάνουν τα κόστη διάτρησης, τα κόστη σωλήνωσης και τσιμέντωσης. Τα **κόστη σωλήνωσης και τσιμέντωσης** περιλαμβάνουν το κόστος των υλικών για τις δραστηριότητες αυτές, καθώς και τα κόστη τοποθέτησης. Παράγοντες από τους οποίους εξαρτώνται αποτελούν το βάθος και η διάμετρος της γεώτρησης. Ταυτόχρονα, σχετίζονται άμεσα με τις πιέσεις των ρευστών και, σε κάποιο βαθμό, με τους γεωλογικούς σχηματισμούς που συναντώνται κατά τη διάτρηση.

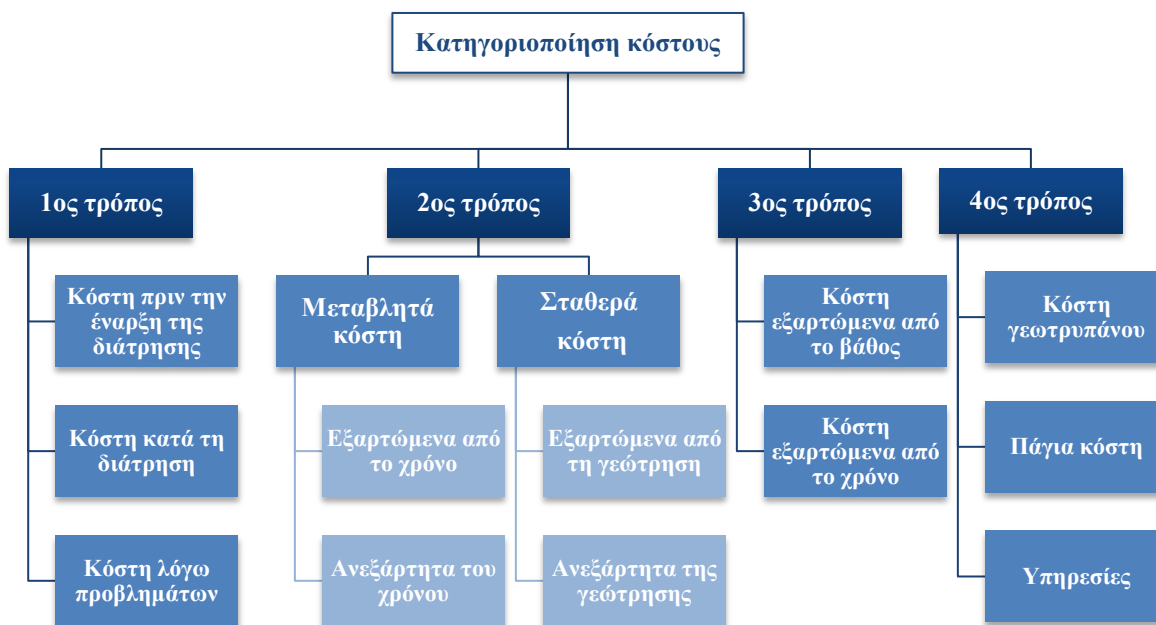
Κατά τη **διαδικασία της διάτρησης**, εκτελούνται εργασίες τόσο όταν το κοπτικό άκρο περιστρέφεται όσο και όταν δεν περιστρέφεται, και υφίστανται οι αντίστοιχες χρεώσεις. Στα κόστη τα οποία προκύπτουν λόγω της περιστροφής του κοπτικού λαμβάνονται υπόψη αυτά που σχετίζονται με το ρυθμό προχώρησης, όπως το κόστος των κοπτικών άκρων και του πολφού διάτρησης. Όταν το κοπτικό δεν περιστρέφεται εκτελούνται εργασίες όπως είναι η καθέλκυση και ανέλκυση της διατρητικής στήλης, ο έλεγχος της κατεύθυνσής της, η αναμονή, η διαχείριση και εποπτεία του έργου και η αξιολόγηση της γεώτρησης. Τα παραπάνω κόστη εξαρτώνται από τη γεωλογία και το βάθος. Η γεωλογία επηρεάζει τη διάρκεια ζωής των κοπτικών άκρων. Η συχνότητα αλλαγής κοπτικού άκρου, σε συνδυασμό με το βάθος της γεώτρησης, μπορούν να αυξήσουν το χρόνο καθέλκυσης και ανέλκυσης της διατρητικής στήλης.

Τα προβλήματα κατά τη διάτρηση δεν αποτελούν στάδιο του έργου, ωστόσο μπορούν να προκύψουν σε οποιαδήποτε φάση, ενώ το κόστος τους δεν περιλαμβάνεται συνήθως στις αρχικές εκτιμήσεις τους προϋπολογισμού. Στα **κόστη λόγω προβλημάτων** περιλαμβάνονται αυτά που προκύπτουν για παράδειγμα λόγω της παγίδευσης και της αλίευσης της διατρητικής στήλης, της απώλειας κυκλοφορίας των ρευστών, των προβλημάτων σταθερότητας, τσιμέντωσης και σωλήνωσης και του ελέγχου προβλημάτων της γεώτρησης.

Τα κόστη λόγω προβλημάτων και τα κόστη διάτρησης κατά την περιστροφή του κοπτικού άκρου σχετίζονται άμεσα με την γεωλογία του πεδίου, το βάθος της γεώτρησης και, σε μικρότερο βαθμό, με τη διάμετρο της γεώτρησης.

2.2. Κατηγοριοποίηση κόστους

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορεί να γίνει η κατηγοριοποίηση των στοιχείων που συνθέτουν το κόστος ενός γεωτρητικού έργου, για τους σκοπούς της κοστολόγησης μιας γεώτρησης : μεταξύ σταθερών και μεταβλητών στοιχείων κόστους, με βάση την εξάρτηση από το χρόνο ή το βάθος, ή το στάδιο του έργου στο οποίο υπόκεινται (βλέπε παράγραφο 2.1.4). Τα στοιχεία κόστους συνήθως εμπίπτουν σε πάνω από μία κατηγορία και κάθε εταιρεία χρησιμοποιεί το δικό της σύστημα ταξινόμησης (Kaiser, 2009). Στο **Σχήμα 2.6.** συνοψίζονται οι βασικοί τρόποι με τους οποίους συνηθίζεται να κατηγοριοποιούνται τα κόστη μίας γεώτρησης.



Σχήμα 2.6. Οι διάφοροι τρόποι κατηγοριοποίησης του γεωτρητικού κόστους

Ο 1^{ος} τρόπος έχει αναλυθεί στην παράγραφο 2.1.4. Όσον αφορά το 2^ο τρόπο, τα **σταθερά κόστη** μπορούν να χωριστούν σε αυτά που εξαρτώνται από την γεώτρηση και σε αυτά που είναι ανεξάρτητα αυτής. Στα *εξαρτώμενα* από τη γεώτρηση κόστη μπορούν να συμπεριληφθούν αυτά της σωλήνωσης, της κεφαλής της γεώτρησης, της μεταφοράς, τοποθέτησης (mobilisation), αποδέσμευσης και αποσυναρμολόγησης (demobilisation) του γεωτρυπάνου. Στα *μη εξαρτώμενα* κόστη υπόκεινται, μεταξύ άλλων, αυτά της διοίκησης, των υπηρεσιών γραφείου, ασφάλισης και νομικής υποστήριξης, οι χρεώσεις των τόκων επί

των χρημάτων που δεσμεύονται για τον εξοπλισμό, και τα έξοδα συντήρησης και αποθήκευσης του εξοπλισμού. Επιπλέον, σταθερά κόστη θεωρούνται η συναρμολόγηση της διατηρητικής στήλης και η τοποθέτηση των βαλβίδων ασφαλείας.

Τα **μεταβλητά κόστη** μπορούν να χωριστούν σε αυτά που εξαρτώνται από το χρόνο και αυτά που είναι ανεξάρτητα του χρόνου. Όσον αφορά τα *εξαρτώμενα από το χρόνο* κόστη, ο χρόνος αυτός αφορά σε αυτόν που απαιτείται για την όρυξη μιας γεώτρησης, και ο οποίος εξαρτάται από το σχεδιασμό της (δηλαδή τον αριθμό των στελεχών σωλήνωσης και τα βάθη έδρασης τους, τις απαιτήσεις της αξιολόγησης των σχηματισμών, κ.ά.), το ρυθμό προχώρησης και τα προβλήματα που συναντώνται. Παράδειγμα αποτελούν το κόστος του γεωτρύπανου και άλλων υπηρεσιών, όπως υποστηρικτικά σκάφη, αεροσκάφη, διαγραφίες λάσπης (mud logging) καύσιμα και ενοικιαζόμενα εργαλεία. Μεταβλητά *ανεξάρτητα του χρόνου* θεωρούνται η τοποθέτηση και τσιμέντωση της σωλήνωσης, τα κοπτικά άκρα και άλλα αναλώσιμα και υπηρεσίες. Τα κόστη αυτά ουσιαστικά εξαρτώνται σε κάποιο βαθμό από τον χρόνο, όμως κατά κύριο λόγο επηρεάζονται από το βάθος της γεώτρησης και τις συνθήκες στον πυθμένα.

Μολοταύτα, με βάση τον 4^ο τρόπο κατηγοριοποίησης, όλα τα κόστη ενός γεωτρητικού έργου μπορούν να καταταγούν σε **τρεις βασικές κατηγορίες κόστους**. Ανεξάρτητα των υπηρεσιών και των προϊόντων που χρησιμοποιούνται σε ένα έργο, το κόστος αυτών θα ανήκει σε μία από τις παρακάτω κατηγορίες:

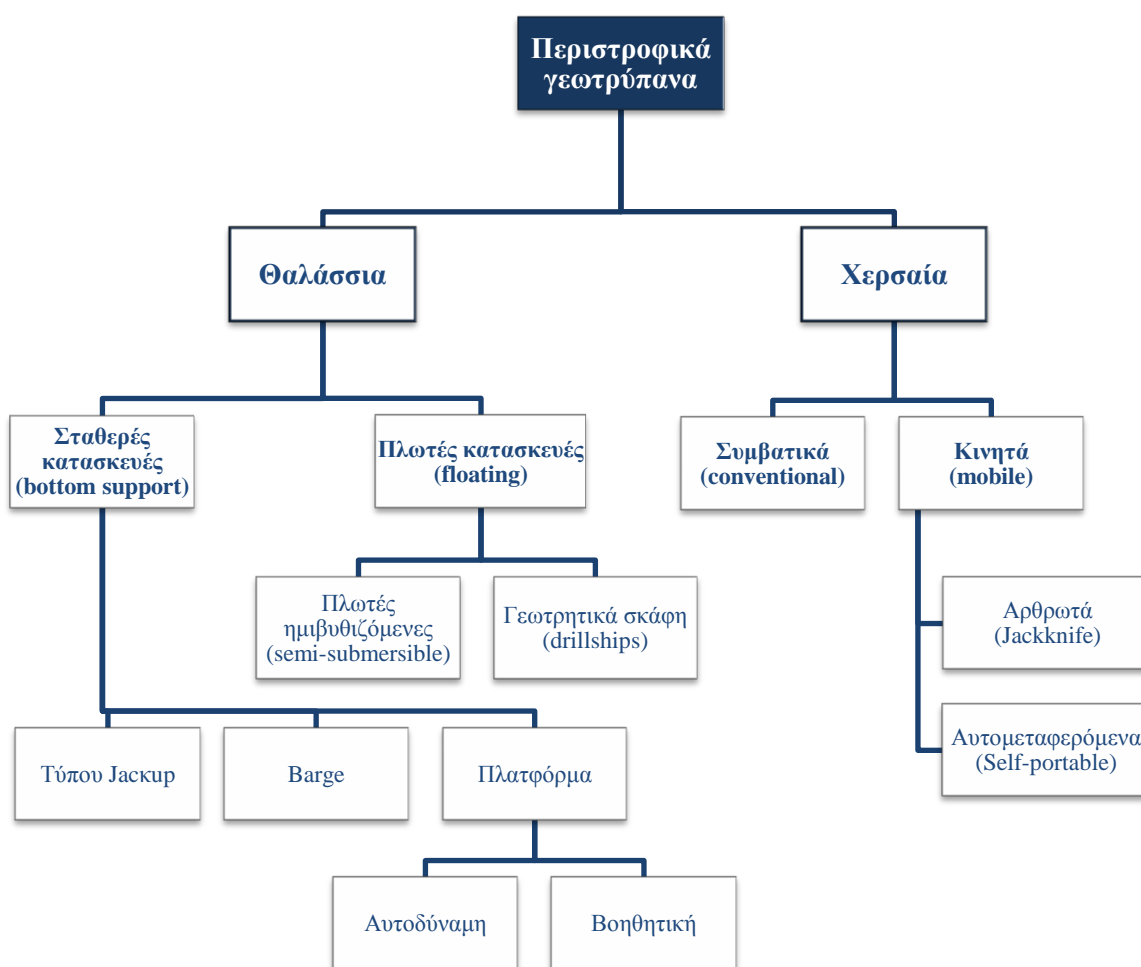
1. Κόστη γεωτρύπανου
2. Πάγια κόστη
3. Υπηρεσίες

Αναλυτικότερα, όσον αφορά αυτή την κατηγοριοποίηση:

2.2.1. Κόστη γεωτρύπανου

Όπως αναφέρθηκε στο 1^ο Κεφάλαιο, συνήθη πρακτική αποτελεί η μίσθωση υπεργολάβου για την όρυξη μιας γεώτρησης. Έτσι, τα κόστη γεωτρύπανου αναφέρονται στο κόστος μίσθωσης (ενοικίασης) του γεωτρύπανου και του συναφή εξοπλισμού. Το κόστος για την ενοικίαση ενός γεωτρύπανου μπορεί να ανέλθει έως και στο 70% του συνολικού κόστους του έργου, ειδικά στην περίπτωση των πλωτών ημιβυθιζόμενων πλατφόρμων ή των γεωτρητικών πλοίων. Το κόστος του γεωτρύπανου εξαρτάται από το ημερήσιο κόστος ενοικίασης, το οποίο συνήθως εκφράζεται σε \$/ημέρα.

Τα κόστη γεωτρύπανου και εξέδρας, μεταβάλλονται ανάλογα με τον τύπο αυτών.



Σχήμα 2.7. Τύποι γεωτρύπανων που χρησιμοποιούνται στην πετρελαϊκή βιομηχανία

Στον Πίνακα 2.2. παρουσιάζονται ενδεικτικές μέσες τιμές ενοικίασης υπεράκτιων γεωτρύπανων, σύμφωνα με στοιχεία του Rigzone για το Σεπτέμβρη του 2014. Όπως φαίνεται, το κόστος αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση του βάθους.

Πίνακας 2.2. Μέσο κόστος ενοικίασης ανά ημέρα. (da Silva Ferreria, 2014)

Είδος γεωτρύπανου (Βάθος υδάτων)	Μέση τιμή ενοικίασης ανά ημέρα
Γεωτρητικό σκάφος (<4000ft)	259.000 US\$/day
Γεωτρητικό σκάφος (> 4000ft)	516.000 US\$/day
Ημιβυθιζόμενη πλατφόρμα (<1500 ft)	284.000 US\$/day
Ημιβυθιζόμενη πλατφόρμα (>1500 ft)	346.000 US\$/day
Ημιβυθιζόμενη πλατφόρμα (<4000 ft)	437.000 US\$/day

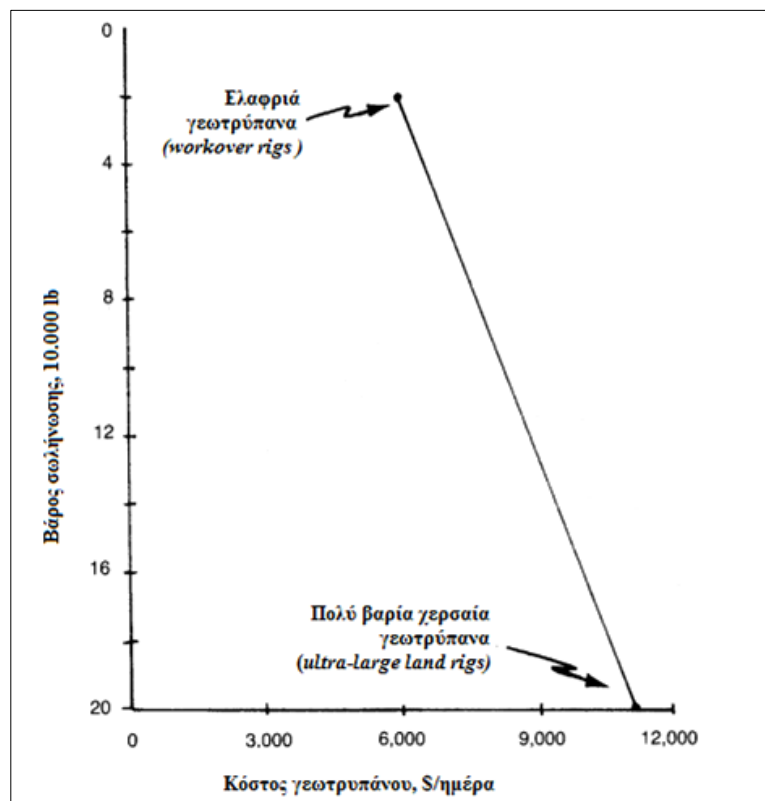
Συγχρόνως βέβαια, στα κόστη γεωτρύπανου επιδρούν κι άλλοι παράγοντες όπως είναι:

- Οι συνθήκες της αγοράς, όπως αναφέρθηκαν στην παράγραφο 2.1. του κεφαλαίου.
- Η διάρκεια του συμβολαίου ενοικίασης του γεωτρύπανου.
- Οι ημέρες παραμονής του γεωτρύπανου στη γεώτρηση. Καθώς το κόστος είναι συνάρτηση της ημερήσιας χρέωσης, όσο μεγαλύτερη η διάρκεια παραμονής του γεωτρύπανου τόσο μεγαλύτερο και το κόστος.
- Η μετακίνηση (mobilisation) και αποδέσμευση (demobilisation) του γεωτρύπανου και του σχετικού εξοπλισμού.
- Η επίβλεψη (supervision) των εργασιών από μηχανικούς της διαχειρίστριας εταιρίας.
- Οι επιπρόσθετες χρεώσεις του γεωτρύπανου.

Η επιλογή και το κόστος του γεωτρύπανου εξαρτάται, από τις προδιαγραφές της γεώτρησης. Ένα γεωτρύπανο λειτουργεί σε διάφορες περιοχές του κόσμου κατά τη διάρκεια της ζωής του. Ωστόσο, η μεταφορά γεωτρύπανων σε μεγάλες αποστάσεις μπορεί να είναι μια αργή και δαπανηρή διαδικασία.

Επίσης, τα γεωτρύπανα πρέπει να συμμορφώνονται με τους κανονισμούς δικαιοδοσίας της χώρας όπου δραστηριοποιούνται, συμπεριλαμβανομένης της απασχόλησης, της φορολογίας, της υγείας και ασφάλειας στην εργασία κ.λπ. Ένα νέο συμβόλαιο για την εκτέλεση γεώτρησης μπορεί να απαιτεί αναβαθμίσεις ή τροποποιήσεις του γεωτρύπανου, το οποίο συνεπάγεται την αύξηση του κόστους ενός νέου γεωτρητικού έργου.

Η τιμή των γεωτρυπάνων διαφέρει ανάλογα με το βάθος μέχρι το οποίο έχουν σχεδιαστεί να λειτουργούν και, στην περίπτωση των υπεράκτιων γεωτρύπανων, το βάθος των υδάτων στο οποίο είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν (βλέπε **Πίνακα 2.2.**). Βέβαια, το κόστος δεν έχει σχέση μόνο με το μέγιστο βάθος στο οποίο μπορεί να λειτουργήσει, αλλά κυρίως με το μέγιστο βάρος της σωλήνωσης που είναι ικανό να χειριστεί. Το **Σχήμα 2.8.** παρουσιάζει τη διακύμανση του ημερήσιου κόστους ενοικίασης ενός γεωτρύπανου ανάλογα με την ικανότητα του στο χειρισμό βάρους σωλήνωσης.



Σχήμα 2.8. Κόστος γεωτρύπανου συναρτήσει της ισχύος και της υποδομής για χειρισμό βάρους σωλήνωσης

Ενδεικτικά αναφέρεται πως η τιμή αγοράς των χερσαίων γεωτρυπάνων στις Η.Π.Α ξεκινά συνήθως από περίπου 18 με 20 εκατομμύρια δολάρια και ανέρχεται έως τα 25 εκατομμύρια δολάρια. Βέβαια το κόστος μπορεί να είναι μέχρι και διπλάσιο από αυτό, καθώς η τιμή εξαρτάται από τις προδιαγραφές του εκάστοτε γεωτρύπανο. Γεωτρύπανα τα οποία μπορούν να καλύπτουν ευρύ φάσμα απαιτήσεων στη μηχανική τους συμπεριφορά και υποδύναμη, κυμαίνονται γενικά από 25 έως 40 εκατομμύρια δολάρια (Lioudis, 2018).

Το μέσο κόστος αγοράς ενός θαλάσσιου γεωτρύπανου μπορεί να ανέρθει έως 15 με 20 φορές πάνω από το μέσο κόστος ενός χερσαίου. Η μέση τιμή για ένα θαλάσσιο γεωτρύπανο είναι περίπου 650 εκατομμύρια δολάρια (Lioudis, 2018).

2.2.2. Πάγια κόστη

Τα πάγια κόστη αναφέρονται σε όλα τα προϊόντα που χρησιμοποιούνται σε ένα γεωτρητικό έργο. Αυτά περιλαμβάνουν:

- Τη σωλήνωση
- Τον εξοπλισμό της σωλήνωσης
- Τον εξοπλισμό ολοκλήρωσης της γεώτρησης και τα σωληνοειδή παραγωγής (tubing)
- Την κεφαλή της γεώτρησης (wellhead) και τα εξαρτήματα
- Τα κοπτικά άκρα
- Τα κοπτικά άκρα δειγματοληψίας (coreheads)
- Τα υλικά τσιμέντωσης
- Τα υλικά ρευστών διάτρησης
- Τα αναλώσιμα προϊόντα για τον έλεγχο των στερεών (solids control consumables)
- Τα καύσιμα και τα λιπαντικά
- Άλλα υλικά και προμήθειες

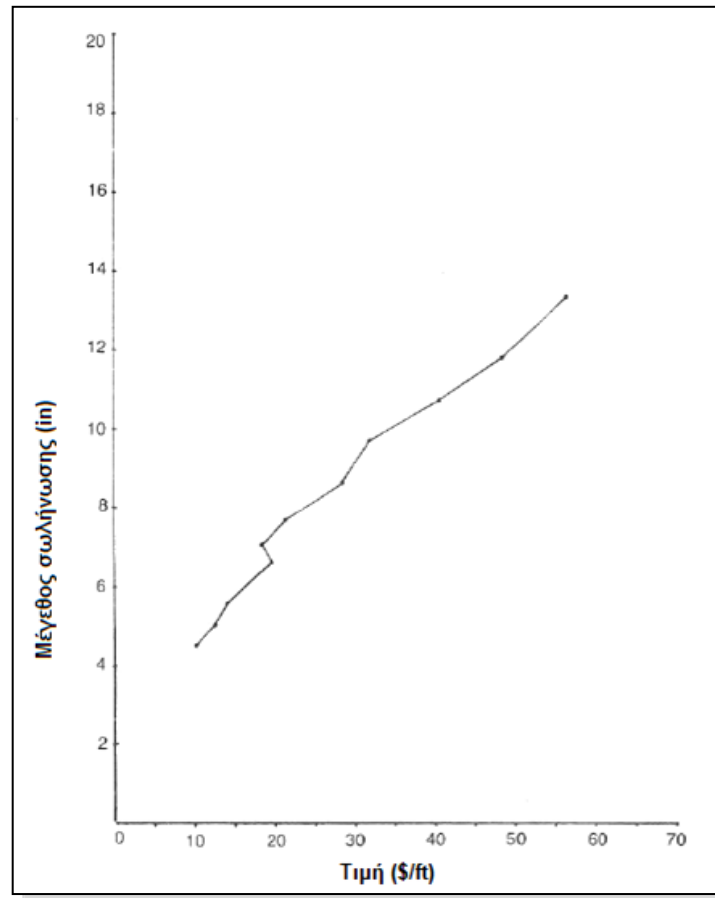
Τα κόστη της σωλήνωσης και των σωληνοειδών παραγωγής αποτελούν σημαντικό μέρος του κόστους. Εξαρτώνται από το βάθος και το μέγεθος της γεώτρησης, τις απαιτήσεις όσον αφορά την κατηγορία χάλυβα (grade) κατασκευής και το είδος των συνδέσμων των στελεχών.

Πίνακας 2.3. Ενδεικτικά κόστη σωληνώσεων με βάση την κατηγορία τους (στοιχεία 1985) (Adams, 1985)

Κατηγορία Χάλυβα	Κόστος (\$/ft)
K-55	20,86
N-80	31,83
C-75	36,56
S-95	35,26

Τα κόστη των σωλήνων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθός τους. Στο **Σχήμα 2.9.** παρουσιάζεται η μεταβολή του κόστους με βάση το μέγεθος σωλήνωσης κατηγορίας N-80, συνδέσμων LTC, που υπερβαίνει τα 5000 psi αντοχή σε διάρρηξη

(burst) στα περισσότερα μεγέθη. Επίσης, το κόστος ενός σωλήνα αυξάνεται όσο αυξάνεται η κατηγορία χάλυβα στην οποία ανήκει. Στον **Πίνακα 2.3**, παρουσιάζεται το κόστος σωλήνωσης διαμέτρου 9,625 in, ονομαστικού βάρους² 40,0 lb/ft και με συνδέσμους LTC.



Σχήμα 2.9. Μέγεθος σωλήνωσης (in) συναρτήσει του κόστους (\$/ft) κατηγορίας N-80, συνδέσμων LTC, που υπερβαίνει τα 5000 psi αντοχή σε διάρρηξη (Adams, 1985)

Αναφορικά με τους συνδέσμους των στελεχών σωλήνωσης (couplings), η χρήση καλύτερης ποιότητας (και μεγαλύτερου κόστους) συνδέσμων επιτρέπει δυνητικά τη χρήση μικρότερου μεγέθους σωλήνων. Στον **Πίνακα 2.4**, παρουσιάζονται ενδεικτικές τιμές για τον ίδιο τύπο σωλήνων, διαμέτρου 7,625 in, κατηγορίας N-80, ονομαστικού βάρους 26,40 lb/ft, για διαφορετικού είδους χρησιμοποιούμενους συνδέσμους.

² Δεν είναι το πραγματικό βάρος. Χρησιμοποιείται κυρίως για λόγους αναγνώρισης και ταξινόμησης των σωληνώσεων.

Πίνακας 2.4. Κόστη σωλήνωσης διαμέτρου 7,625 in, κατηγορίας N-80, ονομαστικού βάρους 26,40 lb/ft, για διαφορετικού είδους χρησιμοποιούμενους συνδέσμους. (Adams, 1985)

Είδος συνδέσμων	Κόστος σωλήνωσης(\$/ft)
LTC	21,26
BTC	22,77
SFJ	34,31
FJ-P	34,31
TS	36,65
FL-4S	32,76

Ο εξοπλισμός της σωλήνωσης μπορεί να μην έχει σημαντική επίπτωση στο κόστος, ωστόσο πρέπει να συμπεριλαμβάνεται. Ένας τυπικός συνδυασμός εξοπλισμού δίνεται από τον Adams (1985) στον **Πίνακα 2.5**. Το συνολικό κόστος για αυτό τον εξοπλισμό, σωλήνωσης διαμέτρου $7\frac{5}{8}$ in, ανέρχεται κατά προσέγγιση στα 2.470 \$, ενώ για liner ίδιας διαμέτρου στα 25.610 \$.

Πίνακας 2.5. Παράδειγμα χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού σωλήνωσης (Adams, 1985)

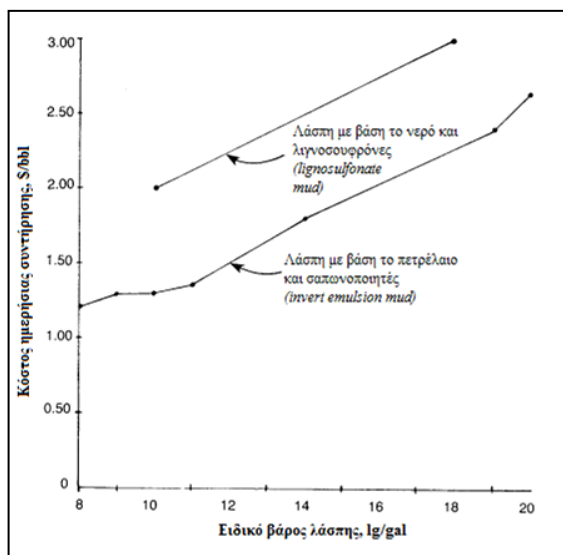
Εξοπλισμός	Σωλήνωση	Liner
Float shoe	1	1
Float collar	1	1
Κεντροτήρες (Centralizers)	30	20
Αποξεστήρες (Scratchers)	10	10
Liner hanger	0	1

Στον εξοπλισμό της κεφαλής της γεώτρησης (wellhead equipment) αναρτάται στη σωλήνωση της γεώτρησης προς παροχή υποστήριξης πίεσης και σταθερότητας. Το κόστος αυτού εξαρτάται από τον αριθμό και το μέγεθος της σωλήνωσης, καθώς και τυχόν ειδικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται (π.χ. ανοξείδωτος χάλυβας κατασκευής για αντοχή σε επαφή με H₂S). Ο συνολικός εξοπλισμός μπορεί να κοστίζει από 2.500\$, στην περίπτωση εξοπλισμού χαμηλής πίεσης, έως 350.000\$ στην περίπτωση κεφαλής γεώτρησης και εξοπλισμού επιφανείας (Christmas tree) υψηλής πίεσης κι ανοξείδωτου χάλυβα.

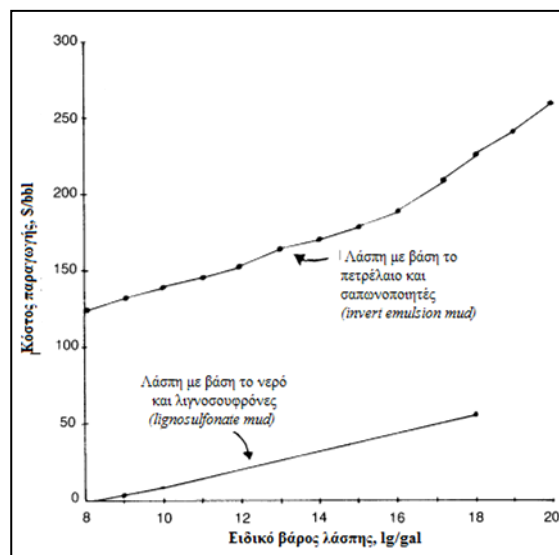
Σημαντικό μέρος του συνολικού κόστους μιας γεώτρησης αποτελεί το κόστος των κοπτικών άκρων που χρησιμοποιούνται (αριθμός, τύπος, μέγεθος). Για τις αδαμαντοκορώνες το κόστος, ενδεικτικά, είναι περίπου 3000 \$/in διαμέτρου του κοπτικού.

Εναπομένουσα αξία μετά τη χρήση της αδαμαντοκορώνας της τάξης του 40% είναι συνήθης. Στην εκτίμηση του κόστους προτιμάται ο συνυπολογισμός του συνολικού κόστους της κορώνας, θεωρώντας την πλήρη χρήση της. Σε περίπτωση όπου έχουμε δεδομένα χρήσης κοπτικών σε όμοια γεωλογικά περιοχές αξιοποιούνται συγκεκριμένα. Τα πολυκρυσταλλικά αδαμοντοκοπτικά είναι σχετικά νέα στην όρυξη γεωτρήσεων. Η δομή τους, η διατρητική συμπεριφορά και το κόστος τους είναι πολύ διαφορετικά από τα τρίκωνα κοπτικά.

Τα ρευστά διάτρησης αποτελούν επίσης ένα σημαντικό μέρος του κόστους μιας γεώτρησης. Το κόστος τους εξαρτάται από τον τύπο του ρευστού, τις ιδιότητες που πρέπει να έχει, τις ποσότητες που απαιτούνται σε ημερήσια βάση, καθώς και από τα ημερήσια έξοδα συντήρησής του. Είναι σαφές ότι οι ποσότητες των πρόσθετων που απαιτούνται για να προσλάβει το ρευστό τις εκάστοτε επιθυμητές ιδιότητες είναι σημαντική επιβάρυνση. Τα ρευστά με βάση το πετρέλαιο είναι γενικώς ακριβότερα αυτών με βάση το νερό. Το **Σχήμα 2.10.** και το **Σχήμα 2.11.** παρουσιάζουν το κόστος παραγωγής, αλλά και το κόστος συντήρησης δύο τύπων ρευστών διάτρησης: λάσπη μεγάλης πυκνότητας με βάση το νερό και με λιγνοσουλφόνες ως αποκροκιδωτικά (lignosulfate mud), καθώς και λάσπη με βάση το πετρέλαιο και σαπωνοποιητές για τη δημιουργία γαλακτώματος (emulsion muds).



Σχήμα 2.10. Κόστος παραγωγής ρευστού διάτρησης



Σχήμα 2.11. Κόστος συντήρησης ρευστού διάτρησης

Η κοστολόγηση των πάγιων εξόδων θα πρέπει να εξετάζει για κάθε στοιχείο κόστους όλα τα επιμέρους από τα οποία αποτελείται. Για παράδειγμα, η κοστολόγηση της σωλήνωσης θα πρέπει να ξεκινά με την επιλογή στελεχών κατάλληλου μήκους, κατηγορίας/βάρους για κάθε τμήμα γεώτρησης. Στη συνέχεια, κάθε στέλεχος σωλήνωσης

για κάθε τμήμα της γεώτρησης (μήκους και διαμέτρου), θα πρέπει να κοστολογηθεί. Τέλος, προστίθενται τα επιμέρους κόστη, τα οποία συνθέτουν το συνολικό κόστος της εξεταζόμενης γεώτρησης.

Η ίδια μέθοδος χρησιμοποιείται για την κοστολόγηση κάθε πάγιου στοιχείου, το οποίο απαιτεί σχεδιασμό, επιλογή και καταμερισμό σε επιμέρους ομάδες. Συγκεκριμένα, αναφερόμαστε στον εξοπλισμό των σωληνοειδών παραγωγής και ολοκλήρωσης της γεώτρησης, τα κοπτικά άκρα, τα κοπτικά άκρα δειγματοληψίας και τον εξοπλισμό της κεφαλής της γεώτρησης.

Τα υλικά για την τσιμέντωση και τη λάσπη διάτρησης, κοστολογούνται για κάθε τμήμα της γεώτρησης υπολογίζοντας τις ποσότητες λάσπης, τσιμέντου και πρόσθετων υλικών που απαιτούνται.

2.2.3. Υπηρεσίες

Όπως αναφέρθηκε στο 1^ο Κεφάλαιο, ορισμένες εργασίες κατά την όρυξη της γεώτρησης παρέχονται από εταιρείες παροχής υπηρεσιών. Ανεξάρτητα από τους λόγους που χρησιμοποιούνται αυτές οι εταιρείες, το κόστος τους επηρεάζει το συνολικό κόστος και έτσι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

Αυτή η κατηγορία κόστους αναφέρεται σε οποιαδήποτε υπηρεσία απαιτείται για την εκτέλεση της γεώτρησης.

1. Επικοινωνία – διαβιβάσεις (communications)

Αναφέρεται στην τηλεφωνική επικοινωνία, τη μεταβίβαση πληροφοριών, δεδομένων κλπ. Μπορεί να εκφραστεί ως κατ' αποκοπήν κόστος ή ως κόστος ανά ημέρα

2. Διαγραφίες (logging-wireline)

Πρόκειται για το κόστος της εκτέλεσης και παραγωγής των διαγραφιών σε σωληνωμένη και μη γεώτρηση. Οι χρεώσεις μπορεί να διαφέρουν μεταξύ των εταιρειών, ωστόσο γενικά στην βιομηχανία συνηθίζεται η χρέωση ενός ποσού κάθε φορά που η μονάδα εκτέλεσης των διαγραφιών ανυψώνεται και απομακρύνεται (rigged up) από την γεώτρηση (μία φορά για την εκτέλεση διαγραφιών σε μη σωληνωμένη (ανοικτή) γεώτρηση και μία για σωληνωμένη γεώτρηση). Συνήθως εφαρμόζεται χρέωση συναρτήσει του βάθους (π.χ. ανά πόδι) στο μεγαλύτερο βάθος που φτάνει κάθε όργανο (for each tool run) για την εκτέλεση συγκεκριμένου είδους διαγραφίας. Σε κάθε βάθος που χρησιμοποιείται κάθε όργανο χρεώνεται το κόστος για την υπηρεσία αυτή.

3. Όργανα MWD / LWD

Πρόκειται για το κόστος ενοικίασης και εκτέλεσης μετρήσεων κατά τη διάρκεια της όρυξης (Measurements While Drilling) ή διαγραφιών κατά τη διάτρηση (Logging While Drilling).

4. Κινητήρες πυθμένα (Downhole Motors)

Πρόκειται για το κόστος χρήσης κινητήρων πυθμένα κατά την εκτέλεση κατευθυνόμενης διάτρησης ή κατά την όρυξη μεγάλων τμημάτων κατακόρυφων ή οριζόντιων γεωτρήσεων.

5. Εξοπλισμός ελέγχου στερεών

Ο έλεγχος των στερεών είναι η τεχνική η οποία χρησιμοποιείται επί του γεωτρύπανου για τον διαχωρισμό και τη διαχείριση των στερεών, τα οποία προκύπτουν κατά την διάτρηση και που μεταφέρονται στο ρευστό διάτρησης.

Η κατηγορία αυτή αναφέρεται στο κόστος των απαιτούμενων αναλώσιμων για τον εξοπλισμό που ελέγχει τα στερεά, καθώς και οποιοδήποτε πρόσθετο εξοπλισμό ο οποίος δεν παρέχεται από τον υπεργολάβο του γεωτρύπανου .

6. Έλεγχος και διαχείριση των ρευστών διάτρησης

Περιλαμβάνει το κόστος του αρμόδιου ειδικού μηχανικού (mud engineer) και των υπηρεσιών (μετρήσεις, αναλύσεις, κλπ) που είναι απαραίτητες για τον έλεγχο της επιστροφής της λάσπης διάτρησης και τη διατήρηση της σωστής κυκλοφορίας της. Δεν περιλαμβάνεται το κόστος των υλικών που συνθέτουν την λάσπη, καθώς αυτά υπάγονται στην κατηγορία του Πάγιου Κόστους.

7. Κατευθυνόμενη διάτρηση

Σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνεται το κόστος του εξειδικευμένου μηχανικού ή και του συνεργείου που θα εκτελέσει την κατευθυνόμενη γεώτρηση, το λογισμικό και το υποστηρικτικό προσωπικό (support), απαραίτητα κατά την όρυξη της γεώτρησης (during drilling). Στις κατακόρυφες γεωτρήσεις αυτή η υπηρεσία δεν απαιτείται και το κόστος αυτό δεν λαμβάνεται υπόψη.

8. Επιτόπου μετρήσεις (Surveying)

Πρόκειται για το κόστος εκτέλεσης των μετρήσεων διεύθυνσης (αζιμούθιου) και κλίσης της τροχιάς. Οι μετρήσεις αυτές εκτελούνται ανά τακτά διαστήματα. Η συχνότητα λήψης μετρήσεων εξαρτάται από τις αποφάσεις που λαμβάνει η εταιρία, το τμήμα που ορύσσεται και τον τύπο των εργαλείων που θα πραγματοποιήσουν τις μετρήσεις. Οι μετρήσεις κατά κανόνα θα λαμβάνονται ανά τακτά διαστήματα προχώρησης (~12m, ή ανά κάθε σύνδεση διατρητικών στελεχών) κατά τη διάτρηση κρίσιμων τμημάτων. Σε περίπτωση που διαπιστωθεί πως η γεώτρηση αποκλίνει από την προκαθορισμένη πορεία της, τότε κατάλληλος εξοπλισμός (directional orientation tool) θα εισαχθεί ώστε σταδιακά να επαναφέρει την γεώτρηση.

Σε αυτή την κατηγορία συνήθως περιλαμβάνονται επίσης τα κόστη για τα εργαλεία μαγνητικών μετρήσεων μονής και πολλαπλής διασκόπισης (single and multi shots) και για τα γυροσκόπια (gyros), συν το κόστος του μηχανικού και του ενοικιαζόμενου εξοπλισμού για την εκτέλεση των μετρήσεων. Τα εργαλεία μαγνητικών μετρήσεων χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της οριζόντιας συνιστώσας του τοπικού γήινου μαγνητικού πεδίου.

9. Τσιμέντωση

Πρόκειται για το κόστος ενοικίασης της μονάδας παρασκευής και εισπίεσης του τσιμέντου, καθώς και το κόστος της εταιρείας παροχής υπηρεσιών που θα επιβλέψει τις εργασίες τσιμέντωσης.

10. Διαγραφίες πολφού διάτρησης

Πρόκειται για το κόστος ενοικίασης της μονάδας εκτέλεσης των διαγραφιών του πολφού διάτρησης, καθώς και της εταιρείας παροχής υπηρεσιών που διαχειρίζεται τη μονάδα.

11. «Αλίευση»

Πρόκειται για κόστος συγκεκριμένου σκοπού, το οποίο περιλαμβάνει την ενοικίαση του εξοπλισμού «αλίευσης» της διατρητικής στήλης και το κόστος των μηχανικών υπευθύνων για την εργασία αυτή. Λαμβάνεται υπόψη μόνο στην περίπτωση που η εμπειρία στην ευρύτερη περιοχή υποδεικνύει πως ενδέχεται να υπάρξει παγίδευση της διατρητικής στήλης και κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη του εξοπλισμού «αλίευσης» της διατρητικής στήλης.

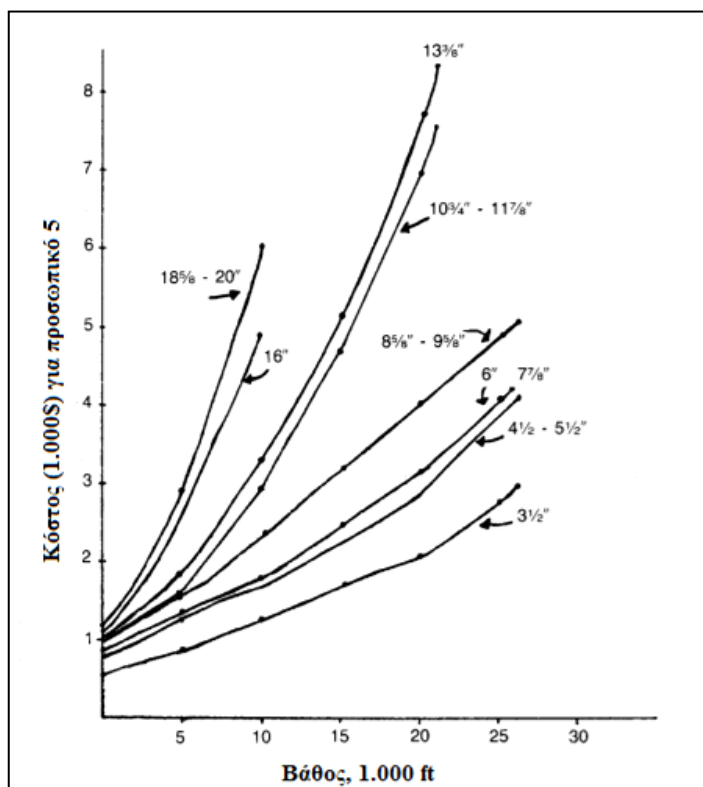
12. Ενδογεωτρητικά εργαλεία (Downhole tools)

Αποτελεί το κόστος οποιουδήποτε απαιτούμενου εργαλείου, το οποίο δεν παρέχεται από τον υπεργολάβο της γεώτρησης. Συμπεριλαμβάνονται αποσβεστήρες κρούσεων και κραδασμών, jars κλπ.

13. Υπηρεσίες σωλήνωσης

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει το κόστος του απαραίτητου εξοπλισμού και προσωπικού (μηχανικών) για την εκτέλεση της σωλήνωσης. Αυτή η κατηγορία κόστους λαμβάνεται πάντα υπόψη ανεξάρτητα των χαρακτηριστικών της γεώτρησης.

Σε σχέση με το θέμα της σωλήνωσης θα πρέπει να αναφερθεί ότι ένα σημαντικό μέρος του κόστους των υποστηρικτικών υπηρεσιών αναλογεί στην εκτέλεση των εργασιών της σωλήνωσης, οι οποίες συνήθως δίδονται σε ειδικευμένους υπεργολάβους, όταν μάλιστα τα βάθη είναι μεγάλα. Το **Σχήμα 2.12.** παρουσιάζει τα έξοδα του προσωπικού στήριξης και εκτέλεσης των εργασιών της σωλήνωσης για διαφορετικές διαμέτρους σωληνώσεις και βάθη (Σταματάκη, 2003).



Σχήμα 2.12. Κόστος προσωπικού εργασιών σωλήνωσης (Σταματάκη, 2003).

Σημειώνεται πως στην περίπτωση των υπεράκτιων γεωτρήσεων, πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλα κόστη όπως:

- i. Πλοία μεταφοράς υλικών και προμηθειών (υποστηρικτικά πλωτά μέσα)
- ii. Εφεδρικά Πλοία
- iii. Ελικόπτερα

Κάθε μία από τις κατηγορίες υπηρεσιών που αναφέρθηκαν παραπάνω θα πρέπει να κοστολογηθεί ξεχωριστά για κάθε τμήμα της γεώτρησης (όπου αυτό είναι εφαρμόσιμο). Η σύνθεση του κάθε επιμέρους κόστους θα αποτελέσει το συνολικό κόστος υπηρεσιών. Για παράδειγμα, όσον αφορά τις επί τόπου μετρήσεις (surveying) και την κατευθυνόμενη διάτρηση, ο μηχανικός έχει τη δυνατότητα να προσδιορίσει τις απαιτήσεις κάθε τμήματος της γεώτρησης και στη συνέχεια να προσθέσει τα επιμέρους κόστη για τη σύνθεση του συνολικού. Βέβαια, τα περισσότερα από τα παραπάνω στοιχεία του κόστους απαιτούν την κοστολόγηση τους από τους εργολάβους που τα αναλαμβάνουν, και η οποία γίνεται είτε σε πολύ αρχικό στάδιο κατά την ανάθεση της εργασίας μέσω διαγωνισμού, είτε κατά την διάρκεια ισχύος πλέον του συμβολαίου μίσθωσής τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 °

Μέθοδοι εκτίμησης κόστους ενός γεωτρητικού έργου

Δύο είναι οι βασικές μεθοδολογίες, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση του κόστους ενός γεωτρητικού έργου. Αυτές είναι η ντετερμινιστική και η πιθανολογική και θα αναλυθούν στη συνέχεια του κεφαλαίου.

3.1. Ντετερμινιστική μέθοδος

Παραδοσιακά, για την εκτίμηση του κόστους ενός γεωτρητικού έργου έχουν υιοθετηθεί ντετερμινιστικές προσεγγίσεις. Με την παραδοσιακή ντετερμινιστική μέθοδο, πραγματοποιείται μία εκτίμηση για το κόστος κάθε στοιχείου του έργου και δίνεται έτσι μια συγκεκριμένη τιμή για αυτό. Στη συνέχεια, οι εκτιμήσεις για τα επιμέρους κόστη αθροίζονται και δίνεται έτσι η εκτίμηση του κόστους του έργου, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη απρόβλεπτα κόστη.

Οι περισσότεροι αναλυτές κόστους αναγνωρίζουν την αβεβαιότητα των εκτιμήσεών τους και συχνά πιστεύουν πως το συνολικό τελικό κόστος του έργου θα υπερβεί αυτό που είχε εκτιμηθεί αθροίζοντας τα επιμέρους κόστη του. Έτσι, σε επόμενο στάδιο, για την συνεκτίμηση παραγόντων, όπως η αβεβαιότητα της εκτίμησης, οι ασάφειες και τα επικίνδυνα περιστατικά (risk events), προσθέτουν, ξεχωριστά από τα υπόλοιπα κόστη (bellow the line), ένα αποθεματικό για απρόοπτα (contingency). Σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί ακόμα να αυξηθεί το εκτιμώμενο κόστος ενός στοιχείου για να συμπεριλάβει οποιοδήποτε απρόοπτο κόστος. Σε αυτή τη λογική βασίζεται και η ντετερμινιστική μέθοδος.

Η ντετερμινιστική εκτίμηση, ακόμη και αν αντικειμενικά βασίζεται σε στοιχεία, είναι μόνο η αρχή της εκτίμησης του κόστους. Για να είναι αυτή ολοκληρωμένη θα πρέπει να συμπληρωθεί από μια ανάλυση ρίσκου.

3.1.1. Πλεονεκτήματα της ντετερμινιστικής μεθόδου

Σύμφωνα με τον Kullawan (2011) τα πλεονεκτήματα της μεθόδου συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Είναι απλή μέθοδος
- Βασίζεται σε συγκεκριμένες υποθέσεις
- Δίνει γρήγορα αποτελέσματα, τα οποία εύκολα μεταφέρονται και εξηγούνται σε τρίτους

3.1.2. Μειονεκτήματα της ντετερμινιστικής μεθόδου

Το βασικό πρόβλημα της ντετερμινιστικής προσέγγισης είναι πως δεν προχωράει σε βάθος την εκτίμηση κόστους του έργου. Συγκεκριμένα, κάθε στοιχείο του κόστους που εκτιμάται με τη ντετερμινιστική μέθοδο αποτελεί μόνο μία εκτίμηση για το συγκεκριμένο κονδύλι (line item) του προϋπολογισμού για το στοιχείο αυτό. Το πραγματικό κόστος του κάθε στοιχείου μπορεί να διαφέρει τελικά, να είναι είτε μεγαλύτερο, είτε μικρότερο. Η διαφορά μεταξύ της εκτίμησης και του πραγματικού κόστους (για κάθε συγκεκριμένο στοιχείο) μπορεί να προκύψει από σφάλμα της εκτίμησης, ασάφειες και ρίσκο.

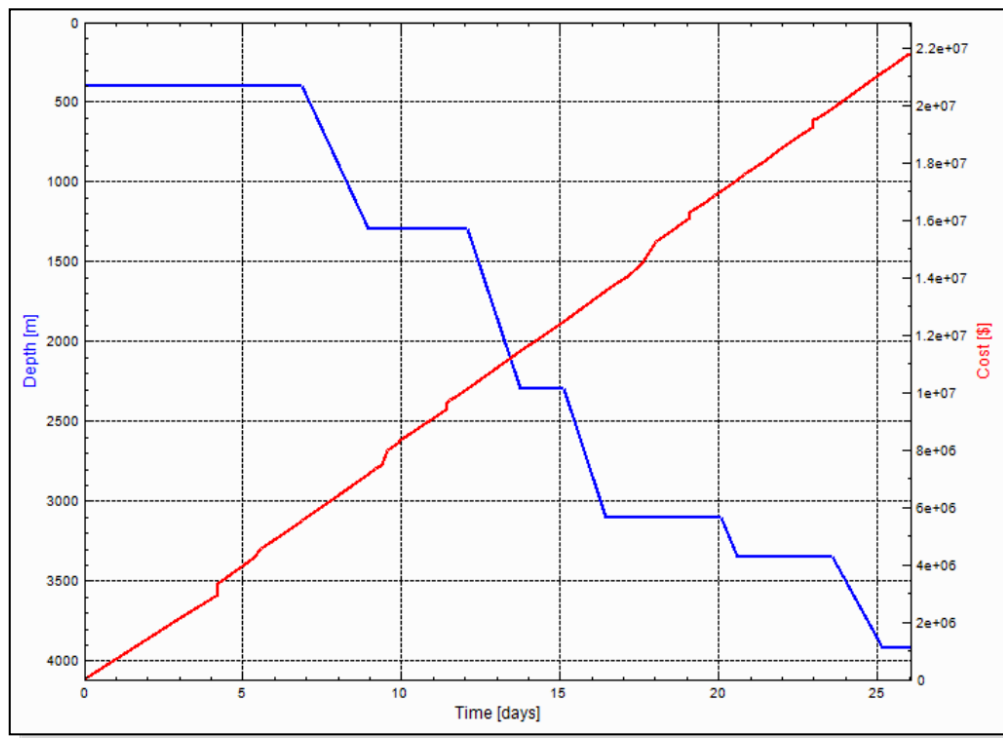
Σύμφωνα με τον Machado (2013) η χρήση ντετερμινιστικών εκτιμήσεων μπορεί να οδηγήσει σε υπερεκτίμηση ή υποτίμηση του κόστους μίας γεώτρησης. Η υπερεκτίμηση υποδηλώνει πως έχουν διατεθεί υπερβολικά πολλά κεφάλαια σε μία συγκεκριμένη γεώτρηση, τα οποία θα μπορούσαν να διατεθούν σε κάποιο άλλο έργο. Η υποτίμηση υποδεικνύει πως οι εκτιμήσεις ήταν πολύ αισιόδοξες, προβλέποντας κόστος χαμηλότερο του πραγματικού. Η υποτίμηση αυτή οδηγεί σε υπερβάσεις του προϋπολογισμού σε μεταγενέστερα στάδια του έργου (καθώς το έργο εξελίσσεται). Και τα δύο αυτά ζητήματα συμβάλλουν στην αναποτελεσματικότητα της μεθόδου.

Ο Loberg και συν. (2008), μελετώντας εκτιμήσεις κόστους κατέληξαν πως οι εκτιμήσεις που προκύπτουν με τη ντετερμινιστική μέθοδο είναι υπερβολικά αισιόδοξες από την άποψη των μηχανικών. Η αισιοδοξία, όπως περιγράφεται από τους McVay και Dossary (2012), είναι μια τάση να αγνοούμε ή να μην εξετάζουμε πιθανά αρνητικά αποτελέσματα που δυνητικά επιφέρουν υπερβάσεις του εκτιμώμενου κόστους και χρόνου, και που θα οδηγούσαν το έργο σε αντικοινομικά αποτελέσματα.

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου συνοψίζονται από τον Kullawan (2011) στα παρακάτω:

- Ιστορικά στοιχεία έχουν δείξει πως οι εκτιμήσεις που δίνονται με την μέθοδο αυτή είναι πολύ αισιόδοξες.
- Δεν αντικατοπτρίζει το πλήρες φάσμα των πιθανών αποτελεσμάτων.
- Η πιθανότητα οποιουδήποτε αποτελέσματος, καθώς και η πιθανότητα το πραγματικό κόστος να είναι το ίδιο ή παρεμφερές με το εκτιμώμενο δεν ποσοτικοποιούνται.

Στο **Σχήμα 3.1**, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκτίμησης του χρόνου και του κόστους εκτέλεσης μιας γεώτρησης, με τη ντετερμινιστική μέθοδο. Η καμπύλη χρόνου-βάθους σχεδιάζεται με μπλε χρώμα και αντιπροσωπεύει την σχέση μεταξύ της εξέλιξης της γεώτρησης σε βάθος και του χρόνου που δαπανήθηκε για την εξέλιξη αυτή. Η καμπύλη χρόνου-κόστους σχεδιάζεται με κόκκινο χρώμα και δείχνει πως το κόστος αυξάνεται καθώς το έργο εξελίσσεται στο χρόνο.



Σχήμα 3.1. Διάγραμμα χρόνου – βάθους και χρόνου – κόστους όπως δίνονται από την ντετερμινιστική μέθοδο (Εικόνα από το πρόγραμμα Risk€) (Kullawan, 2011)

3.2. Πιθανολογική μέθοδος

Παρατηρώντας τους περιορισμούς της ντετερμινιστικής μεθόδου, όπως αναφέρθηκαν, μια νέα προσέγγιση βρήκε εφαρμογή στην πετρελαϊκή βιομηχανία και στον τομέα της εκτέλεσης γεωτρητικών έργων, η πιθανολογική μέθοδος (αναφερόμενη κι ως στοχαστική).

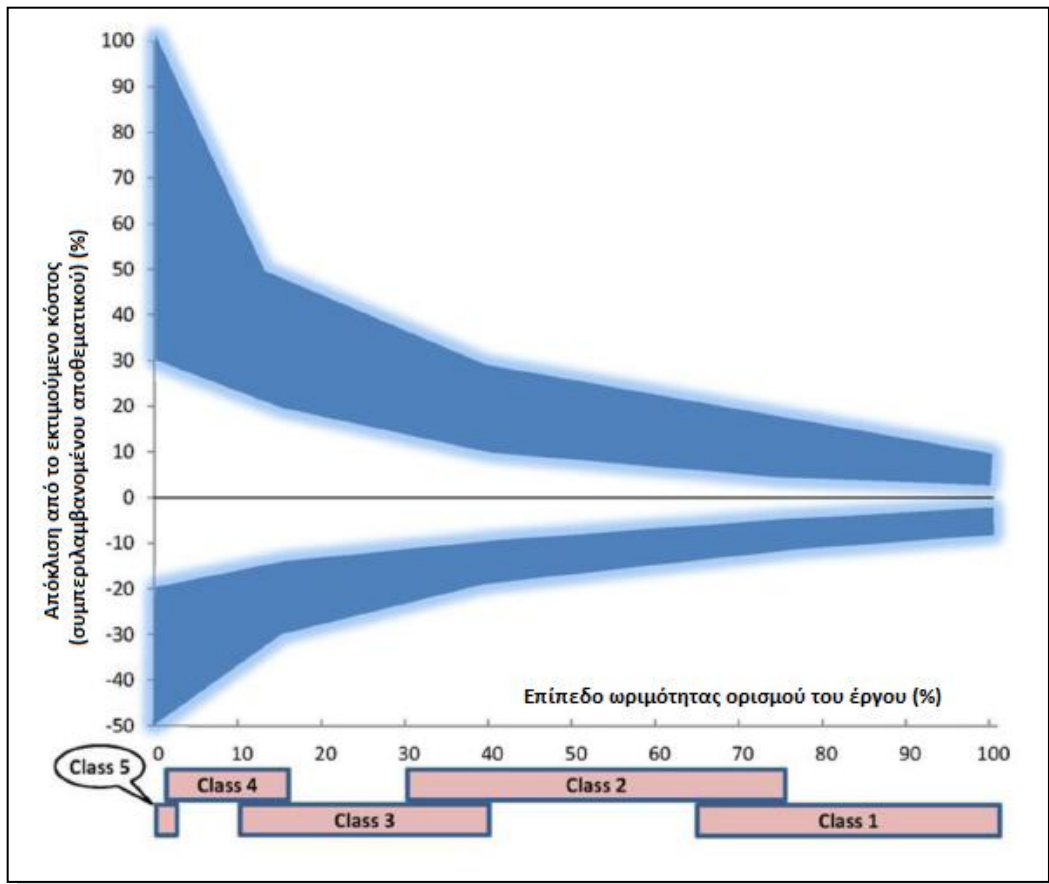
Σύμφωνα με τους de Wardt και Peterson (2015), υπάρχουν επίπεδα εκτίμησης κόστους, τα οποία μπορεί να κατηγοριοποιηθούν σε πέντε κλάσεις με βάση την ωρίμανση ενός γεωτρητικού έργου (Πίνακας 3.1). Σε αρχικό στάδιο, όπου απαιτείται μια προκαταρκτική εκτίμηση του κόστους ώστε να εξεταστεί μια γεώτρηση έρευνας ή αποτίμησης και να αποφασιστεί αν θα προχωρήσει η εκτέλεσή τους ή όχι, γίνεται μια περιορισμένη και συνήθως πρόχειρη, λόγω έλλειψης στοιχείων, εκτίμηση (Κλάση 5).

Πίνακας 3.1. Κατηγοριοποίηση των εκτιμήσεων κόστους (de Wardt & Peterson, 2015)

Κλάση εκτίμησης (Estimate Class) [ορισμός έργου]	Ορισμός έργου	Χρήση	Μεθοδολογία	Αναμενόμενη ακρίβεια
Κλάση 5 [0-2%]	Πολύ περιορισμένος Γρήγορη προετοιμασία εκτίμησης	Διερευνητικός έλεγχος (screening)	Χρήση αναλόγων, προσωπικής κρίσης, μοντελοποίησης	+30 με +100% -20 με -50%
Κλάση 4 [2-15%]	Περιορισμένος	Μελέτη σκοπιμότητας / Προκαταρκτική έγκριση προϋπολογισμού	Πιθανολογική	+20 με +50% -15 με -30%
Κλάση 3 [10-40%]	Μέσου επιπέδου	Έγκριση προϋπολογισμού ή έλεγχος	Πιθανολογική για ρίσκο/αβεβαιότητες	+10 με +30% -10 με -20%
Κλάση 2 [30-70%]	Υψηλού επιπέδου	Έγκριση Εκτέλεσης Δαπανών (AFE)	Πιθανολογική για ρίσκο/αβεβαιότητες	+5 με +20% -5 με -15%
Κλάση 1 [50-100%]	Ολοκληρωμένος	Αναλυτικός έλεγχος	Ντετερμινιστική με πιθανολογική για αποθεματικό (contingency)	+3 με +15% -3 με -10%

Μια εκτίμηση επιπέδου Κλάσης 4 είναι η πρώτη που χρησιμοποιεί την πιθανολογική μέθοδο και, καθώς βασίζεται σε περιορισμένα δεδομένα, το εύρος της αναμενόμενης ακρίβειας είναι αρκετά μεγάλο. Καθώς το γεωτρητικό έργο ορίζεται σε

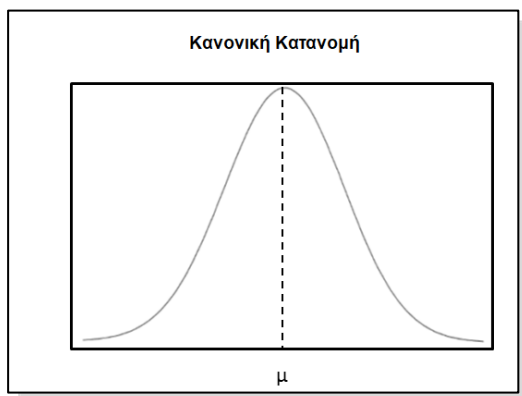
μεγαλύτερο βαθμό, οι εκτιμήσεις προσαρμόζονται και ενημερώνονται. Αντίστοιχα, οι πιθανολογικές εκτιμήσεις βελτιώνονται, το εύρος τους μειώνεται και είναι πιο αξιόπιστες. Στο **Σχήμα 3.2.** παρουσιάζεται γραφικά η αναμενόμενη ακρίβεια της εκτίμησης με βάση το επίπεδο (βαθμός ωρίμανσης) ορισμού του έργου. Όσο περισσότερα και αξιόπιστα δεδομένα υπάρχουν και όσο πιο καλά ορίζεται το γεωτρητικό έργο, τόσο μεγαλώνει η ακρίβεια της εκτίμησης. Επομένως, το εύρος απόκλισης της εκτίμησης από το πραγματικό κόστος μειώνεται και πλησιάζει στο μηδέν.



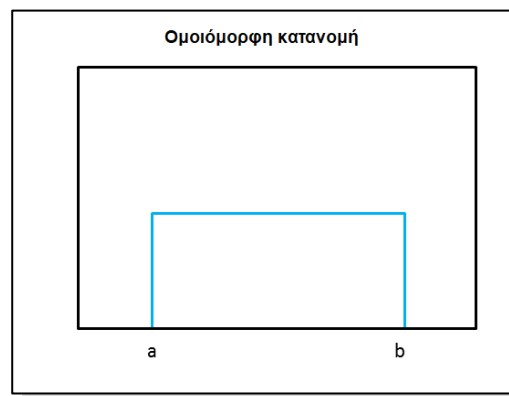
Σχήμα 3.2. Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής του εύρους ακρίβειας των εκτιμήσεων κόστους με βάση το επίπεδο ορισμού του γεωτρητικού έργου (de Wardt & Peterson, 2015)

Στο επίπεδο Κλάσης 4 κατασκευάζεται το βασικό πιθανολογικό μοντέλο για την εκτίμηση του κόστους. Αυτό δε διαφέρει πολύ από την ντετερμινιστική μεθοδολογία. Ωστόσο, σύμφωνα με την πιθανολογική ανάλυση, τα βασικά στοιχεία κόστους δεν λαμβάνουν συγκεκριμένες τιμές, αλλά τη μορφή κατανομής πιθανοτήτων. Η μορφή κατανομής για κάθε παράμετρο δείχνει το πως μεταβάλλεται αυτή σε ένα συγκεκριμένο εύρος αναμενόμενων τιμών. Δύο συνηθισμένες μορφές κατανομής που χρησιμοποιούνται

είναι η Κανονική (Gaussian) και η Ομοιόμορφη (Uniform) και φαίνονται στο **Σχήμα 3.3.** και **Σχήμα 3.4.**



Σχήμα 3.3. Γραφική απεικόνιση κανονική κατανομής πιθανοτήτων



Σχήμα 3.4. Γραφική απεικόνιση ομοιόμορφης κατανομής πιθανοτήτων

Η πιθανολογική μέθοδος επιτρέπει την απεικόνιση των αλλαγών στην εκτίμηση του κόστους της γεώτρησης μέσα στο χρόνο. Οι εκτιμήσεις συνοψίζονται εύκολα γραφικά μέσω των καμπυλών τύπου ‘S’ (S-Curve), προστίθενται επεξηγήσεις σημαντικών αλλαγών καθώς και της επίδρασής τους στην εκτίμηση (**Σχήμα 3.5.**). Επίσης, προκύπτουν διαγράμματα “tornado” στα οποία παρουσιάζονται οι αβεβαιότητες που σχετίζονται με την εκτίμηση κόστους.

Βασικοί παράμετροι της παρουσίασης των αποτελεσμάτων της πιθανολογικής ανάλυσης είναι οι τιμές :

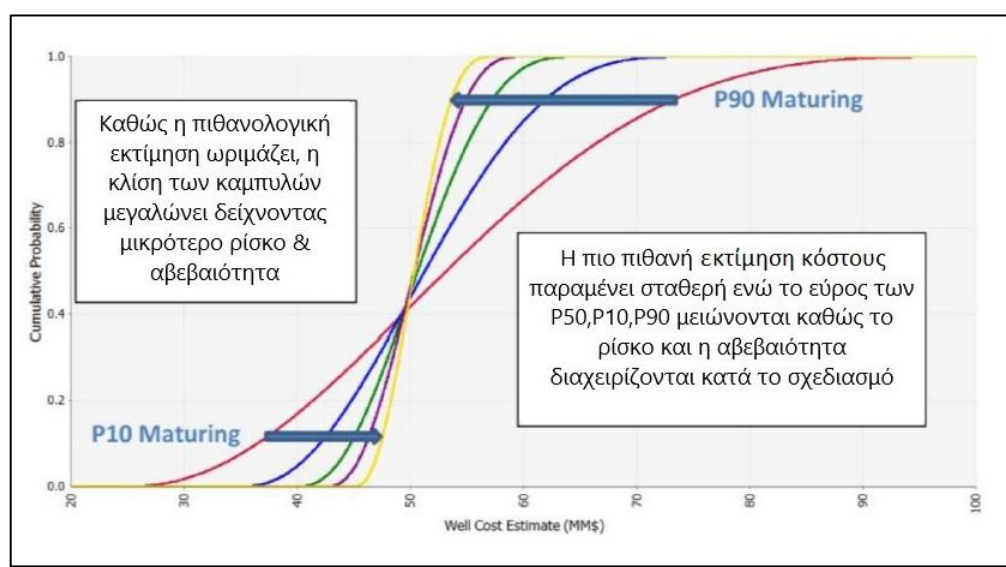
1. P10
2. P50
3. P90

Η τιμή P10 αποτελεί το αισιόδοξο σενάριο. Υπάρχει 10% πιθανότητα το πραγματικό κόστος (ή ο χρόνος) να είναι μικρότερο από αυτή την τιμή και άρα αποτελεί το λιγότερο πιθανό σενάριο. Ουσιαστικά αντιπροσωπεύει το εξαιρετικά χαμηλό κόστος, το ελάχιστο που μπορεί να κοστίσει κάθε στοιχείο του έργου, υπό εξαιρετικά καλές συνθήκες. (π.χ. καταστάσεις/γεγονότα που, εάν συμβούν, θα έχουν την τάση να μειώσουν το κόστος του στοιχείου). Αυτό το σενάριο μπορεί να αντιπροσωπεύει περιορισμούς λόγω του υφιστάμενου επιπέδου της τεχνολογίας ή κάποιο εξεζητημένο στόχο που η εταιρεία πιστεύει πως μπορεί να επιτύχει.

Η τιμή P90 αποτελεί το πιο απαισιόδοξο σενάριο. Υπάρχει 90% πιθανότητα το κόστος (ή ο χρόνος) να είναι μεγαλύτερο από αυτήν την τιμή, και αποτελεί το πιο πιθανό σενάριο. Τα εκτιμώμενα κόστη με βάση αυτό το σενάριο δεν δύναται να ξεπεραστούν, παρά μόνον υπό εξαιρετικές περιπτώσεις. Ουσιαστικά, αντιπροσωπεύει το εξαιρετικά υψηλό κόστος, το μέγιστο που μπορεί να κοστίσει κάθε στοιχείο του έργου, αν όλα τα γεγονότα που ενέχουν ρίσκο συνέβαιναν.

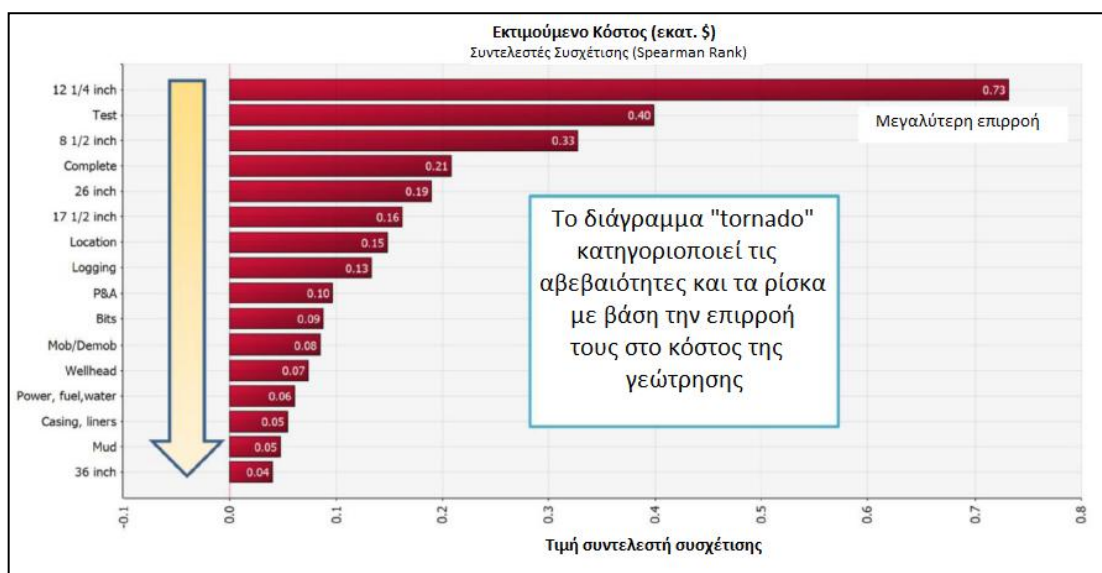
Η πιο πιθανή εκτίμηση είναι αυτή που βρίσκεται κάπου μεταξύ της αισιόδοξης και απαισιόδοξης εκτίμησης για κάθε στοιχείο του έργου, και η οποία θεωρείται πιο πιθανό να συμβεί σε σχέση με οποιοδήποτε άλλη. Πρόκειται για την τιμή P50, υπάρχει δηλαδή 50% πιθανότητα η γεώτρηση να εκτελεστεί με κόστος μικρότερο από το εκτιμώμενο και 50% πιθανότητα με μεγαλύτερο. Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως η εκτίμηση που δίνεται από αυτό το σενάριο δεν είναι απαραίτητα ίδια με το κόστος του έργου όπως αυτό εκτιμάται με την ντετερμινιστική μέθοδο.

Η καμπύλη τύπου S δείχνει τη διασπορά των αποτελεσμάτων από την P10 ως την P90 εκτίμηση, παρουσιάζοντας έτσι το εύρος των πιθανών αποτελεσμάτων κόστους. Σε εκτιμήσεις που ανήκουν σε υψηλότερες κλάσεις, η διασπορά κάτω από την καμπύλη τείνει να είναι μεγαλύτερη λόγω των άγνωστων στοιχείων στο σχεδιασμό της γεώτρησης. Καθώς βαίνουμε σε εκτιμήσεις Κλάσης 2, η κλίση της καμπύλης μεγαλώνει και έτσι μικραίνει το εύρος των πιθανών αποτελεσμάτων, το οποίο αντικατοπτρίζει τον πιο αναλυτικό σχεδιασμό και προγραμματισμό της γεώτρησης.



Σχήμα 3.5. Παράδειγμα της ωρίμανσης της πιθανολογικής εκτίμησης κόστους (de Wardt & Peterson, 2015)

Τα διαγράμματα “tornado” (ή διαγράμματα ευαισθησίας) αποτελούν χαρακτηριστική απεικόνιση του πως η πιθανολογική μέθοδος μπορεί να εξετάσει την επίδραση κάθε παράγοντα κινδύνου και αβεβαιότητας στο κόστος και να τα κατηγοριοποιήσει με βάση αυτή. Το πώς προκύπτει ένα διάγραμμα “tornado” είναι πέρα από τους σκοπούς τη παρούσας εργασίας, ωστόσο ένα παράδειγμα δίνεται στο **Σχήμα 3.6**.



Σχήμα 3.6. Κατηγοριοποίηση ρίσκων και αβεβαιοτήτων – Διάγραμμα “tornado” (de Wardt & Peterson, 2015)

3.2.1. Εφαρμογές της πιθανολογικής μεθόδου

Η πιθανολογική μέθοδος τυγχάνει εφαρμογής κυρίως σε συμβατικούς ταμειυτήρες υδρογονανθράκων, ειδικά σε περιπτώσεις που βρίσκονται σε περιοχή που συνεπάγεται γενικά υψηλά κόστη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα υπεράκτια κοιτάσματα ή τα βρισκόμενα σε αρκτικό περιβάλλον, καθώς υφίσταται μεγάλη αβεβαιότητα και υψηλό κόστος λόγω του δυσχερών συνθηκών.

Ωστόσο, τα μοντέλα που βασίζονται στην πιθανολογική μέθοδο για την εκτίμηση του χρόνου και του κόστους δεν έχουν βρει ιδιαίτερη εφαρμογή σε μη συμβατικά κοιτάσματα υδρογονανθράκων. Όπως αναφέρει ο Machado (2013) στη συγκεκριμένη περίπτωση, λόγω του μεγάλου αριθμού γεωτρήσεων προς ανάπτυξη του κοιτάσματος, η χρήση της μεθόδου θα συνέβαλε σημαντικά. Ωστόσο, οι ομοιότητες που παρουσιάζουν οι γεωτρήσεις μεταξύ τους και τα κοινά χαρακτηριστικά των περιοχών ενδιαφέροντος αντικειμενικά μειώνουν αβεβαιότητες με αποτέλεσμα να ακολουθείται η χρήση της ντετερμινιστικής μεθόδου.

Πληθώρα μοντέλων αλλά και προγραμμάτων έχουν προταθεί μέχρι σήμερα για την πιθανολογική εκτίμηση, ωστόσο ακόμα παρουσιάζουν διάφορα μειονεκτήματα το καθένα, τα οποία θα πρέπει να αντιμετωπιστούν ώστε να περιοριστεί η αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων τους. Παράδειγμα αποτελεί η σχετική μικρή εμπειρία στην επιβεβαίωση των πιθανολογικών μοντέλων αλλά και η απουσία κατάλληλων συσχετίσεων μεταξύ των παραγόντων που επιδρούν και εκτιμούνται. Η χρήση των ιστορικών δεδομένων θα μπορούσε να οδηγήσει σε πιο αξιόπιστες εκτιμήσεις σε σχέση με αυτές που βασίζονται στην εμπειρία και την κρίση του μηχανικού.

3.2.2. Πλεονεκτήματα της πιθανολογικής μεθόδου

Η πιθανολογική μέθοδος παρέχει πολλά πλεονεκτήματα, τόσο για τους χρήστες όσο και για τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων. Από τη φύση της πετρελαϊκής βιομηχανίας υπάρχουν πολλοί κίνδυνοι και αβεβαιότητες που συνδέονται με τις δραστηριότητες της. Με τους περιορισμούς που έχουν προαναφερθεί σχετικά με τη ντετερμινιστική μέθοδο, η πιθανολογική θεωρείται μια πιο κατάλληλη προσέγγιση για την αντιμετώπιση των αβεβαιοτήτων όσον αφορά τη διαχείριση του χρόνου και του κόστους. Προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα τόσο για τους χρήστες όσο και για τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων για τη μεγιστοποίηση της σωστής λήψης αποφάσεων και την αποτροπή υπέρβασης χρόνου και κόστους. Κάποια από τα πλεονεκτήματά της πιθανολογικής μεθόδου, σύμφωνα με τον Kullawan (2011), παρουσιάζονται παρακάτω:

- Με την πιθανολογική εκτίμηση, οι ενδιαφερόμενοι ενημερώνονται καλύτερα για τις αβεβαιότητες που ενέχει η εκτέλεση της γεώτρησης και για το εύρος του αναμενόμενου αποτελέσματος όσον αφορά το χρόνο και το κόστος.
- Οι κίνδυνοι και οι ευκαιρίες δύναται να εξεταστούν νωρίτερα κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού. Η επίγνωση των κινδύνων, των ευκαιριών και του αντίκτυπού τους βελτιώνεται σημαντικά.
- Διευκολύνει την λήψη αποφάσεων, με τη χρήση μιας συνεπούς μεθοδολογίας.
- Τα δεδομένα από άλλες γεωτρήσεις ανάλογων χαρακτηριστικών (offset data) εξετάζονται εκτενώς, γεγονός που συμβάλλει στην καλύτερη μεταφορά γνώσης, εμπειριών και πρακτικών μεταξύ των διαφορετικών ομάδων του έργου.
- Δίνει τη δυνατότητα πραγματοποίησης ανάλυσης ευαισθησίας. Έτσι, μπορεί να γίνει πιο λειτουργική η διαδικασία εκτίμησης της επίδρασης των βασικών στοιχείων του κόστους.

- Με βάση την πιθανολογική προσέγγιση, καθώς η εκτέλεση της γεώτρησης διαχωρίζεται σε διαδοχικά βήματα, τα ιστορικά δεδομένα (offset data) αναλύονται παράλληλα με το μοντέλο της γεώτρησης. Έτσι διευκολύνεται η διάκριση πιθανών κινδύνων και συγχρόνως επισημαίνονται οι τεχνικοί περιορισμοί της γεώτρησης.
- Στην περίπτωση που υπάρχουν αρκετές εναλλακτικές λύσεις για το σχέδιο της γεώτρησης, δίνει την δυνατότητα σύγκρισης τους.
- Βοηθά στην αξιολόγηση κόστους-οφέλους των μέτρων με σκοπό τον περιορισμό των υφιστάμενων κινδύνων. Το σχέδιο εκτέλεσης της γεώτρησης συγκρίνεται με ένα προσαρμοσμένο επιχειρησιακό σχέδιο. Τα οφέλη του προσαρμοσμένου επιχειρησιακού σχεδίου μπορούν να εξεταστούν και να εξισορροπηθούν με το κόστος που πρέπει να δαπανηθεί σε αυτό.
- Προωθεί την εφαρμογή στην πράξη της ακριβούς και συνεχούς καταγραφής δεδομένων πραγματικού χρόνου εκτέλεσης και κόστους μιας γεώτρησης, που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη διαχείριση και τη βελτίωση της απόδοσης. Συνειδητοποιώντας την σημασία της χρήσης βάσης δεδομένων, οι υπεύθυνοι για τη συλλογή δεδομένων θα έχουν καλύτερη κατανόηση της ανάγκης για καλή ποιότητα δεδομένων.
- Μπορεί να προσδιορίσει την πιθανότητα να ολοκληρωθεί μια γεώτρηση μέσα σε ένα δεδομένο εύρος χρόνου. Αυτό το θέμα μπορεί να είναι κρίσιμο σε ορισμένες περιοχές, όπως για παράδειγμα στη Θάλασσα Μπάρεντς, όπου το χρονικό περιθώριο για την εκτέλεση γεωτρήσεων είναι στενό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην περιοχή αυτή οι γεωτρήσεις εκτελούνται μόνο κατά τη χειμερινή περίοδο, για την προστασία της θαλάσσιας ζωής. Ανάλογα θέματα υφίστανται και σε άλλες περιοχές λόγω περιβαλλοντικών προβλημάτων ή καιρικών φαινομένων.

3.2.3. Μειονεκτήματα της πιθανολογικής μεθόδου

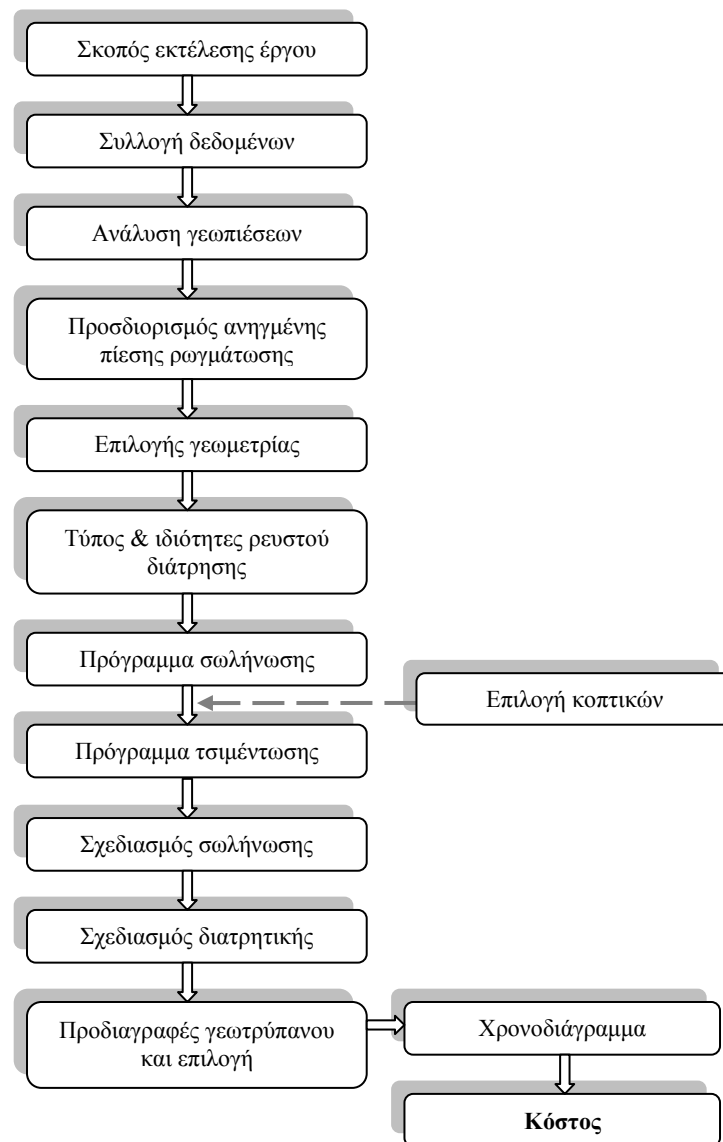
Πάρα τα πλεονεκτήματα και τα οφέλη που παρέχει η πιθανολογική μέθοδος στην εκτίμηση κόστους και χρόνου και τα οποία οδηγούν στη βελτίωση του σχεδιασμού και της λήψης αποφάσεων, έχει και κάποια όρια, όπως ακριβώς και η ντετερμινιστική προσέγγιση.

- Για την αποτελεσματική εφαρμογή της είναι απαραίτητη η ύπαρξη βάσης δεδομένων γεωτρητικών έργων εκτελεσθέντων στην ευρύτερη περιοχή όπου εξετάζεται η όρυξη της νέας γεώτρησης ή σε περιοχή με ανάλογα χαρακτηριστικά ειδικά όσον αφορά το γεωλογικό περιβάλλον.
- Δεν θα πρέπει ποτέ να αναμένεται πως η μέθοδος αυτή μπορεί να αναγνωρίσει και να εντοπίσει όλους τους πιθανούς κινδύνους και αβεβαιότητες. Πάντοτε θα υπάρχουν άγνωστοι παράγοντες που θα επηρεάζουν.
- Τα αποτελέσματα της ανάλυσης θα πρέπει πάντα να συνοδεύονται με την φιλοσοφία στην οποία βασίστηκε το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε. Οι χρήστες των εκτιμήσεων θα πρέπει να έχουν την δυνατότητα να αντιληφθούν τις υποθέσεις που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο και να τις αξιολογήσουν ανάλογα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Ντετερμινιστική εκτίμηση χρόνου εκτέλεσης γεώτρησης

Όπως αναφέρθηκε στο 1^ο Κεφάλαιο, η εκτίμηση κόστους αποτελεί το τελικό στάδιο του σχεδιασμού. Έτσι, πριν οποιαδήποτε εκτίμηση κόστους θα πρέπει να προσδιοριστούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά της γεώτρησης. Βέβαια, βασικό κομμάτι της εκτίμησης κόστους αποτελεί η εκτίμηση του χρόνου εκτέλεσης της γεώτρησης.



Σχήμα 4.1. Σχεδιασμός γεωτρήσεων (διάγραμμα ροής) (Σταματάκη, 2003)

Απαιτείται, κατ' αρχήν, ο προσδιορισμός του σκοπού που θα εξυπηρετήσει η γεώτρηση (ερευνητική, παραγωγική). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην πράξη οι όροι ερευνητική ή παραγωγική γεώτρηση αναλύονται περισσότερο ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο εκτελείται το έργο. Σχετικά με τον πρώτο όρο, όταν η γεώτρηση εκτελείται σε περιοχή όπου πολύ λίγες ή καθόλου πληροφορίες είναι διαθέσιμες αναφέρεται ως γεώτρηση υψηλού ρίσκου (wildcat), σε διάκριση με τις καθαρά ερευνητικές γεωτρήσεις (exploratory wells) όπου, είναι διαθέσιμα γεωλογικά και γεωφυσικά δεδομένα.

Στην ευρύτερη κατηγορία των ερευνητικών γεωτρήσεων εντάσσονται και οι γεωτρήσεις περιχάραξης του κοιτάσματος (προσδιορισμός ορίων ταμιευτήρα) μετά την ανακάλυψή του. Όλες οι γεωτρήσεις αυτές είναι, εν δυνάμει, και παραγωγικές γεωτρήσεις σε περίπτωση θετικού ερευνητικού αποτελέσματος. Επομένως, θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν σε ένα τέτοιο ενδεχόμενο. Οι γεωτρήσεις ανάπτυξης αποτελούν παραγωγικές γεωτρήσεις οι οποίες στοχεύουν στην προσέγγιση του παραγωγικού σχηματισμού με τον οικονομικότερο δυνατό τρόπο.

Σημαντικό χαρακτηριστικό αποτελεί το είδος του προφίλ της γεώτρησης, δηλαδή εάν προγραμματίζεται η όρυξη κατακόρυφης, κεκλιμένης (deviated), οριζόντιας (horizontal) ή πλευρικής όρυξης (multilateral) γεώτρησης. Επίσης αν πρόκειται για νέα γεώτρηση ή για πλάγια γεώτρηση από υφιστάμενη (sidetrack), γεώτρηση εισπίεσης ή απόθεσης υδάτων (water disposal well).

Ακολουθεί η συλλογή όλων των διαθέσιμων δεδομένων (πληροφοριών) που αφορούν στην ευρύτερη περιοχή (γεωλογικών, γεωφυσικών), καθώς και των στοιχείων από όλες τις γεωτρητικές δραστηριότητες που τυχόν έχουν αναπτυχθεί, με στόχο τη συστηματική ανάλυση και αξιολόγησή τους και την ελαχιστοποίηση του κινδύνου εμφάνισης τεχνικών προβλημάτων κατά τη διάρκεια των εργασιών.

Είναι απολύτως αναγκαία από τα πρώτα στάδια η εκτίμηση των γεωπιέσεων της περιοχής και ο προσδιορισμός της πίεσης ρωγμάτωσης των σχηματισμών, για να ακολουθήσει η σύνταξη του προγράμματος του ρευστού διάτρησης (τύπος και ιδιότητες) και η επιλογή του βάθους εκτέλεσης κάθε σωλήνωσης. Συντάσσεται έτσι το πρόγραμμα σωλήνωσης, τσιμέντωσης και σχεδιάζεται η διατρητική στήλη. Με βάση τα χαρακτηριστικά της γεώτρησης και τις τιμές των παραμέτρων του προγράμματος διάτρησης επιλέγεται το είδος του γεωτρύπανου και ο μηχανολογικός εξοπλισμός ώστε να έχουν τις προδιαγραφές που να ικανοποιούν το πρόγραμμα. Επίσης απαιτείται ο

προσδιορισμός του είδους του συμβολαίου με τον υπεργολάβο για την ενοικίαση του εξοπλισμού.

Η επιλογή των κοπτικών μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε στάδιο μετά τη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων. Στην περίπτωση όπου υπάρχουν και άλλες γεωτρήσεις στην ευρύτερη περιοχή, τα γεωτρητικά δεδομένα αποτελούν τη βασική πηγή πληροφοριών για την επιλογή των κοπτικών άκρων. Βεβαίως, η επιλογή των κοπτικών είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον προσδιορισμό της γεωμετρίας του πηγαδιού και το σχεδιασμό της σωλήνωσης.

Η επιλογή της γεωμετρίας της γεώτρησης, η οποία είναι τηλεσκοπικού τύπου (μειούμενης διαμέτρου ως προς το βάθος), του κοπτικού και της σωλήνωσης μπορεί να αποτελέσουν τις παραμέτρους εκείνες που θα χαρακτηρίζουν τη χρηστικότητα ή μη της γεώτρησης. Μια ακατάλληλη επιλογή μπορεί να καταλήξει σε πηγάδια τόσο μικρά που να πρέπει να εγκαταλειφθούν λόγω προβλημάτων στη διάτρηση και στην ολοκλήρωση της γεώτρησης. Αυτό δεν σημαίνει όμως ότι κάθε φορά θα πρέπει να σχεδιάζεται ένα πηγάδι μεγάλης διαμέτρου έτσι ώστε να αντιμετωπίζονται αυτά τα ενδεχόμενα, διότι τούτο οδηγεί σε έργα υψηλού κόστους (το κόστος του έργου είναι ανάλογο του όγκου του εξορυσσόμενου υλικού- μεγάλη διάμετρος σημαίνει και όγκος εξορυσσόμενου υλικού). Αν και η διεθνής πρακτική έχει οδηγήσει σε κανόνες συνδυασμών διαμέτρων – κοπτικών – σωληνώσεων, η συνεχώς εντεινόμενη ανάγκη για μεγαλύτερα βάθη διάτρησης ανατρέπουν, πολλές φορές, τους κανόνες αυτούς. Τα ιδιαίτερα τεχνικά προβλήματα ή/και τα προβλήματα θερμοκρασιών και πιέσεων που συναντώνται σε βάθη μεταξύ 6000-10000 μέτρων επιβάλλουν να δίδεται μεγαλύτερη βαρύτητα στη διερεύνηση της βέλτιστης γεωμετρίας στις συνθήκες αυτές. Για παράδειγμα αναφέρεται ενδεικτικά:

- η δυσκολία αποτελεσματικού καθαρισμού της γεώτρησης, εάν το διάκενο μεταξύ διατρητικής στήλης και τοιχωμάτων της γεώτρησης (δακτύλιος) είναι υπερβολικά μεγάλο ή υπερβολικά μικρό,
- προβλήματα στη τσιμέντωση (δημιουργία κενών), εάν το διάκενο μεταξύ τοιχωμάτων γεώτρησης και σωλήνωσης είναι ανεπαρκές,
- ανάγκη για χρησιμοποίηση επιπρόσθετης σωλήνωσης σε ζώνες υψηλών πιέσεων ή σε παρουσία ρηγμάτων (πρέπει να υπάρχει, επομένως, επαρκής χώρος για τυχόν πρόσθετη σωλήνωση),
- μικρής διαμέτρου παραγωγικές γεωτρήσεις περιορίζουν ή απαγορεύουν τις παροχές σε τέτοια μεγάλα βάθη λόγω αυξημένων τριβών

4.1. Χρόνος εκτέλεσης ενός γεωτρητικού έργου

Λαμβάνοντας μονάχα υπόψη το μέγεθος του ημερήσιου κόστους ενοικίασης ενός γεωτρώπανου, όπως αυτό αναφέρθηκε στο 2^ο Κεφάλαιο, είναι προφανές πως ο χρόνος που απαιτείται για την όρυξη μιας γεώτρησης έχει σημαντική επίπτωση σε πολλά στοιχεία που συνθέτουν το κόστος αυτής. Παράδειγμα αποτελούν, όπως αναφέρουν και οι Hossain & Al-Mejed (2015), το είδος της σύμβασης με τον υπεργολάβο για την όρυξη της ή των γεωτρήσεων, το είδος σύμβασης για την ενοικίαση του γεωτρώπανου, του ρευστού διάτρησης, ο ενοικιαζόμενος εξοπλισμός και οι υποστηρικτικές υπηρεσίες που εξαρτώνται από το χρόνο.

Η εκτίμηση του χρόνου εκτέλεσης μιας γεώτρησης βασίζεται στον αναλυτικό σχεδιασμό αυτής. Έχοντας λοιπόν καθορίσει τις τεχνικές παραμέτρους της γεώτρησης και ολοκληρώσει το σχεδιασμό αυτής, μπορεί εν συνεχεία να προσδιοριστεί ο απαιτούμενος χρόνος για την εκτέλεση κάθε εργασίας.

Μπορούμε να διακρίνουμε το χρόνο που αναλύσκεται σε μία γεώτρηση σε παραγωγικό και μη παραγωγικό χρόνο, θέματα που αναλύονται στη συνέχεια. Στο **Σχήμα 4.2.** παρουσιάζεται ένα ποσοστιαίο παράδειγμα από τους Vinod, και συν. (2013) με βάση στοιχεία υπεράκτιων γεωτρήσεων στη Δυτική Υπεράκτια Λεκάνη (Western Offshore Basin) της Βομβάης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, ως μη παραγωγικός χρόνος θεωρείται αυτός ο οποίος καταναλώθηκε λόγω επιπλοκών κατά την όρυξη, σε επιδιορθώσεις, λόγω καιρού και αναμονής ανθρώπων ή υλικών.



Σχήμα 4.2. Παράδειγμα ποσοστιαίας κατανομής παραγωγικού και μη χρόνου, με βάση τα στοιχεία υπεράκτιων γεωτρήσεων της περιοχής της Βομβάης. (Vinod, Kundan, Kumar, Kalpande, & Pande, 2013)

Η ποσότητα του χρόνου που δαπανάται για την όρυξη μιας γεώτρησης εξαρτάται από πληθώρα παραγόντων. Κάθε παράγοντας μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τους γεωλογικούς σχηματισμούς που διατρήονται, τη γεωγραφική θέση, τη φιλοσοφία και αποδοτικότητα του διαχειριστή του έργου. Κάποιοι από τους παράγοντας αυτούς αναφέρονται παρακάτω, ενώ οι χρόνοι μανούβρας και τα προβλήματα γεώτρησης δεν εξηγούνται εδώ αλλά αποτελούν αντικείμενο επόμενων παραγράφων του κεφαλαίου.

1. Χρόνοι μανούβρας

2. Προβλήματα γεώτρησης

3. Ρυθμός διάτρησης

Ο αθροιστικός χρόνος διάτρησης μίας γεώτρησης εξαρτάται πρωτίστως από το είδος των πετρωμάτων και την επιλογή των κοπτικών άκρων. Η όρυξη σχηματισμών μεγάλης σκληρότητας συνήθως απαιτεί σημαντικά μεγαλύτερο χρόνο σε σχέση με μαλακότερους σχηματισμούς. Επιπρόσθετα, η μεγάλη ποικιλία κοπτικών άκρων η οποία διατίθεται καθιστά την επιλογή τους ένα σημαντικό παράγοντα της διάτρησης. Συγχρόνως, ο ρυθμός διάτρησης επηρεάζεται από την κατάλληλη επιλογή του πολφού (είδος και ιδιότητες), του βάρους επί του κοπτικού³ και της ταχύτητας περιστροφής του κοπτικού.

4. Τοποθέτηση σωλήνωσης

Ο χρόνος που δαπανάται στην τοποθέτηση της σωλήνωσης εξαρτάται από το μέγεθός της (μήκος, διάμετρος στελεχών, αριθμός στελεχών), το βάθος της γεώτρησης, την κατάσταση των τοιχωμάτων και του πυθμένα της γεώτρησης (hole conditions), την αποδοτικότητα του προσωπικού και την χρήση ειδικού εξοπλισμού (pickup machines, electric stabbing boards). Μεγάλου βάρους διατρητικά στελέχη δύναται να απαιτούν την τοποθέτησή τους κάτω παρά τη στρήριξή τους στον πύργο (derrick). Επίσης, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο χρόνος που απαιτείται για το θηλύκωμα του αποτροπέα ανατινάξεων (BOP), για τον έλεγχο (testing) της σωλήνωσης και των σχηματισμών.

5. Μετρήσεις κατά τη διάρκεια της διάτρησης

Οι μετρήσεις κατά τη διάτρηση περιλαμβάνουν τις διαγραφίες (loggings), τις δειγματοληψίες και τις μετρήσεις πίεσης (DST, draw-down ή buildup). Ο χρόνος εκτέλεσης αυτών καθυστερεί την συνέχιση της διάτρησης και των εργασιών όρυξης, και έτσι αυξάνει το συνολικό χρόνο του έργου.

³ Κύρια παράμετρος αποσύνθεσης του πετρώματος. Το βάρος εξασφαλίζεται από τα αντίβαρα και τα βαριά διατρητικά στελέχη, τα οποία τοποθετούνται αμέσως πάνω από το κοπτικό. (Σταματάκη, 2003)

Μία δοκιμή Drill Steam Test (DST) λαμβάνει χώρα κατά τη διάτρηση μίας γεώτρησης και συνίσταται στην απομόνωση ενός γεωλογικού σχηματισμού για τον έλεγχο της πίεσης, της διαπερατότητας και της παραγωγικής ικανότητάς του. Αποτελεί σημαντική δοκιμή καθώς δίνει πληροφορίες σχετικά με τα ρευστά του ταμιευτήρα υδρογονανθράκων, και καθορίζει αν η γεώτρηση έχει συναντήσει οικονομικά εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα.

6. Κατευθυνόμενη διάτρηση

Ο έλεγχος της κατεύθυνσης μίας γεώτρησης συνεπάγεται αύξηση του χρόνου διάτρησης, η οποία οδηγεί στην αύξηση του συνολικού κόστους της γεώτρησης. Αυτή η αύξηση του χρόνου υφίσταται σε δύο περιπτώσεις. Πρώτον, στην περίπτωση της όρυξης κατευθυνόμενων γεωτρήσεων, και δεύτερον στην περίπτωση που καταβάλλονται προσπάθειες διατήρησης της κάθετης διεύθυνσης μιας γεώτρησης που τείνει να αποκλίνει από αυτή. Η αύξηση του χρόνου συνήθως προκύπτει λόγω των επιτόπου μετρήσεων κλίσης και αζιμούθιου (surveys), καθώς και της αδυναμίας εφαρμογής του επιθυμητού βάρους επί του κοπτικού με την ταυτόχρονη προσπάθεια ελέγχου των γεωμετρικών παραμέτρων της γεώτρησης.

7. Ολοκλήρωση της γεώτρησης

Τα συστήματα ολοκλήρωσης διαφέρουν όσον αφορά την πολυπλοκότητα τους και επακόλουθα υπάρχει διαφορά στους χρόνους ολοκλήρωσης μίας γεώτρησης, δηλαδή αν αυτή περιλαμβάνει εργασίες όπως η αύξηση της διαπερατότητας με υδραυλική ρωγμάτωση (hydraulic fracturing) ή χρήση οξέων (acid treatment) ή η χρήση χαλκίκοφιλτρων για την αποφυγή εισόδου άμμου μέσα στη γεώτρηση (gravel packing). Επίσης, αν πρόκειται για μονής ολοκλήρωσης (single completion), διπλής ολοκλήρωσης (dual completion) ή ολοκλήρωση «commingled».

4.2. Παραγωγικοί χρόνοι

Ως παραγωγικός χρόνος θεωρείται ο χρόνος που δαπανάται για όλες τις εργασίες που συνθέτουν το σχέδιο και το πρόγραμμα της γεώτρησης. Κάθε γεώτρηση, ανεξάρτητα των ιδιαιτεροτήτων της, περιλαμβάνει εργασίες που υπόκεινται στις παρακάτω βασικές κατηγορίες:

Πίνακας 4.1. Βασικές κατηγορίες στις οποίες βασίζεται η εκτίμηση του χρόνου και του κόστους

PRE-SPUD	Μεταφορά και στήσιμο του γεωτρυπάνου
ΔΙΑΤΡΗΣΗ	Καθαρή διάτρηση σχηματισμών
	Μανούβρες (ανέλκυση και καθέλκυση διατρητικής στήλης)
	Αξιολόγηση των σχηματισμών (formation evaluation)
	Μετρήσεις διεύθυνσης (αζιμούθιου) και κλίσης της τροχιάς της γεώτρησης (borehole survey)
	Σωλήνωση και τσιμέντωση
ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ	Ολοκλήρωση
	Αποδέσμευση και αποσυναρμολόγηση γεωτρυπάνου

Στο χρόνο διάτρησης περιλαμβάνεται αυτός ο οποίος δαπανήθηκε στην καθαρή διάτρηση κάθε τμήματος, καθώς και σε όλες τις εργασίες που συνοδεύουν την διάτρηση όπως οι χρόνοι μανούβρας για την ανέλκυση και καθέλκυση της διατρητικής στήλης (tripping), ο καθαρισμός της γεώτρησης, η απομάκρυνση από το εσωτερικό της γεώτρησης (Pull Out Of Hole) και η καθέλκυση εντός αυτής (Run In Hole) οποιουδήποτε εργαλείου, Επίσης, συμπεριλαμβάνεται ο χρόνος για την αξιολόγηση των σχηματισμών (formation evaluation), η οποία είναι απαραίτητη για την παρακολούθηση της κατάστασης των διατρυόμενων σχηματισμών. Ο χρόνος για την αξιολόγηση των σχηματισμών περιλαμβάνει τη δειγματοληψία, τις διαγραφίες κ.ά. Όσον αφορά το χρόνο σωλήνωσης και τσιμέντωσης, σε αυτόν περιλαμβάνονται όλες οι απαραίτητες εργασίες για την τοποθέτηση και τσιμέντωση της σωλήνωσης. Επίσης, στο χρόνο διάτρησης περιλαμβάνονται οι χρόνοι τοποθέτησης του αποτροπέα εκτινάξεων και εκρήξεων (BOP) και της κεφαλής της γεώτρησης.

Στο χρόνο ολοκλήρωσης της γεώτρησης περιλαμβάνεται αυτός για τον έλεγχο της γεώτρησης, την περιμετρική διατρύπηση της σωλήνωσης (perforations), την εγκατάσταση

του εξοπλισμού επιφανείας (Christmas tree) ή αν πρόκειται για γεώτρηση προς εγκατάλειψη περιλαμβάνονται οι σχετικές εργασίες, όπως η σφράγιση της.

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην εκτίμηση του χρόνου διάτρησης και συγκεκριμένα του χρόνου καθαρής διάτρησης και των χρόνων «μανούβρας».

Οι εργασίες αυτές αποτελούν τα βασικά συστατικά του χρόνου και καθώς ενέχουν ρίσκο επιδιώκεται από τη βιομηχανία ο έλεγχος κι η ελαχιστοποίηση τους. Γι' αυτό η βιβλιογραφία είναι επικεντρωμένη σε αυτές, παρέχοντας προτεινόμενους τρόπους εκτίμησής τους. Η εκτίμηση του χρόνου για τις υπόλοιπες εργασίες της διάτρησης, την ολοκλήρωση και τις εργασίες πριν την έναρξη της διάτρησης δεν εξετάζεται, λόγω έλλειψης παρουσίασης σχετικών μεθοδολογιών στη βιβλιογραφία. Ωστόσο, οι χρόνοι αυτοί δύναται να εκτιμηθούν έχοντας στη διάθεση μας δεδομένα από άλλες γεωτρήσεις, όλες τις εργασίες που περιλάμβανε η εκτέλεση τους και το χρόνο που καταναλώθηκε σε κάθε μία από αυτές. Πηγές από όπου αντλούνται τέτοια δεδομένα αναλύονται στη συνέχεια. Έτσι, έχοντας το πρόγραμμα της σχεδιαζόμενης γεώτρησης με την ανάλυση κάθε κύριας εργασίας σε αυτές που τη συνιστούν, δύναται να εκτιμηθούν οι χρόνοι για κάθε μία, συσχετίζοντας αυτές με τα διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα. Στον **Πίνακα 4.2.** παρουσιάζεται ένα παράδειγμα του εκτιμώμενου χρόνου εκτέλεσης των εργασιών που συνιστούν το πρόγραμμα μιας γεώτρησης.

Πίνακας 4.2. Παράδειγμα του χρόνου εκτέλεσης μίας γεώτρησης με βάση τις εργασίες που περιλαμβάνει (Hossain & Al-Mejed, 2015)

Εργασία που εκτελείται	Μετρούμενο Βάθος (ft)	Διάρκεια (ημέρες)	Αθροιστική διάρκεια (ημέρες)
Στήσιμο γεωτρυπάνου (Rig up)	-	1,0	1,0
Όρυξη τμήματος διαμέτρου 36" έως 500ft από την επιφάνεια	500	1,39	2,39
Τοποθέτηση και τσιμέντωση σωλήνωσης 30" Θηλύκωμα αποτροπέα (diverter)	-	3,5	5,89
Όρυξη τμήματος διαμέτρου 26" έως 2.000 ft από την επιφάνεια	2.000	4,17	10,06
Τοποθέτηση και τσιμέντωση σωλήνωσης 20" / Θηλύκωμα κεφαλής γεώτρησης (NU wellhead)	-	3,5	13,56
Όρυξη τμήματος διαμέτρου 17,5" έως 5.000ft από την επιφάνεια	5.000	4,55	18,11
Εκτέλεση διαγραφιών	-	1,0	19,11
Τοποθέτηση και τσιμέντωση σωλήνωσης 13 ^{3/8} " / Θηλύκωμα	-	4,0	23,11
Όρυξη τμήματος διαμέτρου 12,25" έως 11.000 ft από την επιφάνεια	11.000	17,86	40,97
Εκτέλεση διαγραφιών στο τμήμα διαμέτρου 12,25"	-	1,0	41,97
Τοποθέτηση και τσιμέντωση σωλήνωσης 9 ^{5/8} " / Θηλύκωμα (NU)	-	2,5	44,47
Όρυξη τμήματος διαμέτρου 8,5" έως 14.000 ft από την επιφάνεια	14.000	13,89	58,36
Εκτέλεση διαγραφιών στο τμήμα 8 ^{1/2} " (διαγραφίες ανοιχτής γεώτρησης)	-	5,0	63,36
Τοποθέτηση και τσιμέντωση σωλήνωσης liner 7" CBL/VDL	-	4,0	67,36
Καθαρισμός γεώτρησης	-	2,0	69,36
ΣΥΝΟΛΟ	-	-	70,00

4.2.1. Χρόνος διάτρησης

4.2.1.1. Πηγές δεδομένων για χρόνους διάτρησης

Πληθώρα δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για την εκτίμηση του χρόνου διάτρησης. Παράδειγμα διαθέσιμων πηγών αποτελούν τα δεδομένα καταγραφής όρυξης (drilling data) και χρήσης κοπτικών άκρων (bit records), τα δεδομένα του πολφού διάτρησης (mud records), πληροφορίες διαγραφιών (log header information) και ιστορικά δεδομένα γεωτρήσεων που διαθέτουν οι διαχειρίστριες εταιρείες. Άλλες πηγές αποτελούν τα παραγωγικά στοιχεία μιας γεώτρησης και το scout ticket, το οποίο αποτελεί σύντομη αναφορά για μία γεώτρηση από τη στιγμή που αδειοδοτείται έως τη διάτρηση και την ολοκλήρωση της, ενώ τυπικά περιλαμβάνει τη θέση, το τελικό βάθος, τις διαγραφίες που εκτελέστηκαν, την κατάσταση της παραγωγής και τη στρωματογραφική στήλη των διατρυθέντων σχηματισμών.

Τα δεδομένα χρήσης των κοπτικών άκρων αποτελούν πολύτιμη πηγή πληροφοριών για τη διάτρηση και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση του χρόνου διάτρησης. Σύμφωνα με τον Adams (1985), οι περισσότεροι μηχανικοί καταγράφουν το χρόνο και την ημερομηνία χρήσης και αλλαγής των κοπτικών άκρων. Επίσης, μέσω των δεδομένων χρήσης κοπτικών προκύπτει η διάρκεια ζωής κάθε κοπτικού και ο αθροιστικός χρόνος διάτρησης για κάθε γεώτρηση.

Τα δεδομένα του πολφού διάτρησης παρέχουν την πιο επίσημη πληροφορία σχετικά με την διάτρηση (Adams, 1985). Ανανεώνονται σε καθημερινή βάση και συνήθως περιλαμβάνουν σχόλια σχετικά με το χρόνο που αναλώθηκε σε κάθε εργασία κατά τη διάτρηση.

Ωστόσο, η εξασφάλιση ιστορικών δεδομένων παλαιότερων γεωτρήσεων, και μάλιστα ανάλογων χαρακτηριστικών (π.χ. σε ίδια ή παρόμοια περιοχή εκτέλεσης) ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για μια νέα γεώτρηση, είναι δύσκολη. Επίσης, η ποιότητα και η ακρίβεια τους καθώς και ο τρόπος εκτέλεσης μιας γεώτρησης εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την εμπειρία των εργαζομένων, την αποδοτικότητα τους και τους διαθέσιμους πόρους. Επομένως, η εκτίμηση του χρόνου εκτέλεσης ενός γεωτρητικού έργου αποτελεί μεγάλη πρόκληση για τον μηχανικό γεωτρήσεων.

Εδώ αξίζει να αναφερθεί πως για αυτό το σκοπό είναι ευρεία η χρήση βάσεων δεδομένων, που παρέχονται με υψηλό οικονομικό αντάλλαγμα, όπου οι διαχειρίστριες εταιρείες διαθέτουν τις σχετικές πληροφορίες από τα γεωτρητικά έργα που έχουν

ολοκληρώσει. Παράδειγμα αποτελεί η IHS Rushmore, η οποία είναι η κορυφαία πηγή δεδομένων, ελεγμένης ποιότητας για την βιομηχανία πετρελαίου. (IHS Markit, 2008). Είναι η μοναδική πηγή που περιλαμβάνει δεδομένα σε παγκόσμιο επίπεδο, για περισσότερες από 60.000 γεωτρήσεις, 15.000 εργασίες ολοκλήρωσης (completion) και συντήρησης (workover) γεωτρήσεων καθώς και από εκατοντάδες εγκαταλειμμένες (abandoned) γεωτρήσεις.

4.2.1.2. Εκτίμηση του χρόνου καθαρής διάτρησης

Σύμφωνα με τους Bourgoyne και συν. (1991), ανατρέχοντας σε ιστορικά δεδομένα του ρυθμού προχώρησης (Rate Of Penetration-ROP) ολοκληρωμένων γεωτρήσεων στην ευρύτερη περιοχή όπου πρόκειται να ορυχθεί μια νέα γεώτρηση, ή σε ανάλογης γεωλογίας περιοχές, μπορούμε να προβλέψουμε την συμπεριφορά της σχεδιαζόμενης γεώτρησης και να εκτιμήσουμε τους χρόνους καθαρής διάτρησης.

Ο ρυθμός προχώρησης μιας γεώτρησης, για την όρυξη ενός συγκεκριμένου σχηματισμού, είναι αντιστρόφως ανάλογος της αντοχής σε θλίψη και της αντοχής σε διάτμηση του πετρώματος. Επιπρόσθετα, η αντοχή του πετρώματος τείνει να αυξάνεται με το βάθος. Αυτό οφείλεται στην αυξανόμενη πλευρική πίεση λόγω του βάρους των υπερκειμένων. Όταν δεν υπάρχουν μεγάλες ασυνέχειες στην λιθολογία του υπεδάφους, τότε συνήθως ο ρυθμός προχώρησης μειώνεται εκθετικά με το βάθος. Υπό τις παραπάνω συνθήκες, ο ρυθμός προχώρησης μπορεί να συσχετιστεί με το βάθος D μέσω της σχέσης:

$$ROP = \frac{dD}{dt} = Ke^{-2,303a_2D} \quad (4.1)$$

όπου:

$ROP = dD/dt$: ο ρυθμός προχώρησης, σε ft/hr

K : σταθερά, η οποία εκφράζει το ρυθμό προχώρησης

a_2 : σταθερά, η οποία εκφράζει το ρυθμό μείωσης του ρυθμού προχώρησης με το βάθος

D : συνολικό τελικό βάθος, σε ft

Για να χρησιμοποιηθεί Εξ. (4.1) για την εκτίμηση του χρόνου θα πρέπει να μετασχηματιστεί. Έτσι, ολοκληρώνοντας και επιλύοντας την για το χρόνο διάτρησης σε ένα συγκεκριμένο βάθος D , t_d , προκύπτει:

$$K \int_0^{t_d} dt = \int_0^D e^{-2,303a_2 D} dD \quad (4.2)$$

Η Εξ. (4.2) αποτελεί ορισμένο ολοκλήρωμα το οποίο αν επιλυθεί ως προς τον άγνωστο χρόνο t_d παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$t_d = \frac{1}{2,303a_2 K} (e^{-2,303a_2 D} - 1) \quad (4.3)$$

Η Εξ.(4.1) μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για ένα συγκεκριμένο κοπτικό άκρο i το οποίο θα χρησιμοποιηθεί από ένα βάθος D_i έως ένα βάθος D_{i+L} και να πάρει τη μορφή:

$$K \int_0^{t_{di}} dt = \int_{D_i}^{D_{i+L}} e^{-2,303a_2 D} dD \quad (4.4)$$

Με την επίλυση της παραπάνω Εξ.(4.4) ο χρόνος διάτρησης ενός συγκεκριμένου τμήματος της γεώτρησης από ένα κοπτικό άκρο i δίνεται από την σχέση:

$$t_{di} = \frac{1}{2,303a_2 K} (e^{2,303a_2 D_{i+L}} - e^{2,303a_2 D_i}) \quad (4.5)$$

όπου:

t_{di} : ο χρόνος διάτρησης για ένα συγκεκριμένο κοπτικό άκρο i , σε hrs

D_i : το βάθος έναρξης της μέτρησης του χρόνου (βάθος εισόδου) για το συγκεκριμένο κοπτικό άκρο i , σε ft

D_{i+L} : το τελικό βάθος μέτρησης του χρόνου (βάθος εξόδου) για το συγκεκριμένο κοπτικό άκρο i , σε ft

Οι σταθερές K και a_2 μπορούν να καθοριστούν με βάση δεδομένα παλαιότερων γεωτρήσεων στην ευρύτερη περιοχή. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται δεδομένα όρυξης (drilling data) και χρήσης κοπτικών (bit records), στα οποία δίδονται στοιχεία για το ρυθμό προχώρησης (ROP), τα βάθη εισόδου και εξόδου για κάθε κοπτικό, τα αντίστοιχα διατρυόμενα βάθη και οι αντίστοιχοι χρόνοι για γεωτρήσεις που έχουν εκτελεστεί στο παρελθόν. Με τη χρήση αυτών των δεδομένων, κατασκευάζονται διαγράμματα Ρυθμού προχώρησης – Βάθους και Αθροιστικού χρόνου – Βάθους, με την προσαρμογή των

ευθειών που δίνονται από τις **Εξισώσεις (4.1)** και **(4.3)** στα δεδομένα. Μέσω των διαγραμμάτων μπορούν να εκτιμηθούν οι σταθερές των K και α_2 . Με τον καθορισμό των σταθερών K και α_2 , γίνονται πλέον διαθέσιμες έτοιμες οι εξισώσεις που αναφέρθηκαν, για μια περιοχή, οι οποίες μπορούν να αξιολογηθούν για την εκτίμηση των χρόνων διάτρησης νέων γεωτρήσεων στην ίδια ή σε παρόμοια περιοχή. Επίσης, είναι χρήσιμες για την αξιολόγηση τυχόν νέων διαδικασιών που εφαρμόζονται κατά τη διάτρηση, οι οποίες αποσκοπούν στη μείωση του χρόνου όρυξης μέχρι ένα συγκεκριμένο βάθος.

4.2.1.3. Εκτίμηση χρόνων «μανούβρας»

Στην εκτίμηση του χρόνου διάτρησης μιας γεώτρησης, μείζον συστατικό αποτελεί ο χρόνος «μανούβρας». Ουσιαστικά πρόκειται για το χρόνο που απαιτείται:

1. για την καθέλκυση της διατρητικής στήλης στο βάθος που ξεκινά τη διάτρηση το εξεταζόμενο κοπτικό,
2. για την πρόσθεση των διατρητικών στελεχών στη διατρητική στήλη ώστε να προχωρήσει η διάτρηση από το βάθος έναρξης έως το πέρας της λειτουργίας του εξεταζόμενου κοπτικού,
3. για την ανέλκυση της διατρητικής στήλης στην επιφάνεια για την αλλαγή του κοπτικού.

Αν και οι χρόνοι «μανούβρας» δεν αποτελούν ουσιαστικά παραγωγικό χρόνο, περιλαμβάνονται στο χρόνο διάτρησης καθώς αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της όρυξης μιας γεώτρησης. Οι χρόνοι «μανούβρας» εξαρτώνται από παράγοντες όπως είναι:

- το βάθος της γεώτρησης
- η διάμετρος της γεώτρησης
- η διάταξη της κατώτερης συνδεσμολογίας (bottom hole assembly configuration)
- το είδος του χρησιμοποιούμενου γεωτρήπανου
- η αποδοτικότητα του προσωπικού

Σύμφωνα με τους Bourgoyne και συν. (1991), ο ρυθμός προχώρησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση των χρόνων μανούβρας. Για την εκτίμηση του χρόνου που απαιτείται για την ανέλκυση και καθέλκυση της διατρητικής στήλης για την αλλαγή ενός κοπτικού ή για τη σύνδεση νέου διατρητικού στελέχους και τη συνέχιση των εργασιών διάτρησης σε ένα βάθος μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη σχέση:

$$t_t = 2 \left(\frac{t_s}{l_s} \right) D_t \quad (4.6)$$

όπου:

t_t : ο χρόνος μανούβρας που απαιτείται για μία ανέλκυση και καθέλκυση της διατρητικής στήλης και τη συνέχιση των εργασιών σε ένα βάθος D_t , σε hrs

t_s : ο μέσος χρόνος που απαιτείται για την διαχείριση μια συνδεσμολογίας διατρητικών στελεχών, σε hrs

l_s : το μήκος μιας συνδεσμολογίας διατρητικών στελεχών, σε ft

D_t : το μέσο βάθος στο οποίο έγινε η εργασία «μανούβρας», σε ft

Ο χρόνος που απαιτείται για τη διαχείριση των αντίβαρων (drill collars) είναι μεγαλύτερος από αυτόν που απαιτείται για τα υπόλοιπα διατρητικά στελέχη, ωστόσο αυτή η διαφορά συνήθως δεν είναι αρκετή ώστε να απαιτεί την χρήση επιπρόσθετου όρου στην **Εξ.(4.6)**.

Για τον προσδιορισμό του μέσου χρόνου που απαιτείται για την διαχείριση μιας συνδεσμολογίας διατρητικών στελεχών, σύμφωνα με τους Bourgoyne και συν. (1991) χρησιμοποιούνται ιστορικά δεδομένα χρήσης του γεωτρήπανου που έχει επιλεγεί. Αυτά συνήθως διατίθενται από τον διαχειριστή των προηγούμενων έργων, ωστόσο παράδειγμα όπου καταγράφονται δεν συναντήθηκε στη βιβλιογραφία. Ωστόσο, καθώς σε μια περιοχή όπου χρησιμοποιείται το ίδιο γεωτρήπανο αυξάνεται η εμπειρία, ο χρόνος αυτός γίνεται γνωστός.

Γενικά, ο χρόνος μανούβρας ανά κοπτικό άκρο αυξάνεται γραμμικά με το βάθος. Συγχρόνως, το μήκος που ορύσσεται ανά κοπτικό τείνει να μειώνεται με το βάθος, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι χρόνοι μανούβρας (για την όρυξη συγκεκριμένου τμήματος) λόγω της συχνότερης αλλαγής κοπτικών άκρων.

Η επιλογή των κοπτικών γίνεται κατά τον σχεδιασμό της γεώτρησης. Επιλέγονται τα είδη κοπτικών καθώς και τα βάθη που αυτά θα χρησιμοποιηθούν. Ωστόσο, το ίδιο κοπτικό μπορεί να φθαρεί πριν την προβλεπόμενη αλλαγή του σε κάποιο άλλο πιο κατάλληλο για τους εκάστοτε σχηματισμούς. Είναι χρήσιμη λοιπόν η εκτίμηση του βάθους στο οποίο θα γίνει η αλλαγή λόγω φθοράς. Γι' αυτό το σκοπό μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση που συνδέει το βάθος με το ρυθμό προχώρησης. Καθώς επιλέγεται το κοπτικό, ο κατασκευαστής δίνει την εκτιμώμενη διάρκεια ζωής αυτού. Χρησιμοποιώντας το χρόνο ζωής ενός κοπτικού, t_b , και τη σχέση του ρυθμού προχώρησης που δίνεται από την **Εξ. (4.1)** μπορεί να εκτιμηθεί το βάθος αλλαγής του λόγω φθοράς. Με ολοκλήρωση της

μεταξύ ενός βάθους D_i , όπου πραγματοποιήθηκε η τελευταία αλλαγή κοπτικού, και ενός βάθους D , όπου εκτιμάται πως θα γίνει η επόμενη αλλαγή κοπτικού, και επιλύοντας ως προς το βάθος D προκύπτει πως αυτό μπορεί να εκτιμηθεί από την ακόλουθη Εξίσωση (4.7):

$$\begin{aligned} \frac{dD}{dt} = K e^{-2,303a_2D} &\Leftrightarrow \int_D^{D_i} e^{2,303a_2D} dD = \int_0^{t_b} K dt \Leftrightarrow \frac{1}{2,303a_2} (e^{2,303a_2D} - e^{2,303a_2D_i}) = Kt_b \Leftrightarrow \\ e^{2,303a_2D} &= 2.303a_2Kt_b + e^{2,303a_2D_i} \Leftrightarrow \\ \ln(e^{2,303a_2D}) &= \ln(2.303a_2Kt_b + e^{2,303a_2D_i}) \Leftrightarrow \\ 2,303a_2D &= \ln(2.303a_2Kt_b + e^{2,303a_2D_i}) \Leftrightarrow \\ D &= \frac{1}{2.303a_2} \ln(2.303a_2Kt_b + e^{2,303a_2D_i}) \end{aligned} \quad (4.7)$$

όπου :

D :το βάθος αλλαγής του κοπτικού λόγω φθοράς, σε ft

K : σταθερά, η οποία εκφράζει το ρυθμό προχώρησης

a_2 :σταθερά, η οποία εκφράζει το ρυθμό μείωσης του ρυθμού προχώρησης με το βάθος

t_b : ο συνολικός χρόνος περιστροφής του κοπτικού άκρου, σε hrs

D_i : το βάθος που πραγματοποιήθηκε η τελευταία αλλαγή κοπτικού, σε ft

Ο συνολικός χρόνος περιστροφής του κοπτικού άκρου, t_b , γενικά μεταβάλλεται με το βάθος καθώς το μέγεθος και το είδος των κοπτικών άκρων αλλάζει.

Το βάθος D μπορεί να συμπίπτει με την ανέλκυση και καθέλκυση της διατρητικής στήλης. Ωστόσο, η αλλαγή του κοπτικού μπορεί να γίνει πριν την πλήρη φθορά του, λόγω της αλλαγής της διαμέτρου της σωλήνωσης. Τότε, πραγματοποιείται ανέλκυση και καθέλκυση της διατρητικής στήλης για την προσθήκη νέων διατρητικών στελεχών και τη συνέχιση της διάτρησης σε βάθος. Ανάλογα τι από τα δύο προκύπτει πρώτο κατά το πρόγραμμα της διάτρησης, τότε (σε αυτό το βάθος D_t) πραγματοποιείται η εργασία μανούβρας.

Γνωρίζοντας το βάθος που γίνεται η ανέλκυση και καθέλκυση της διατρητικής στήλης, D_t , το μήκος μιας συνδεσμολογίας διατρητικών στελεχών (από το σχεδιασμό της γεώτρησης), l_s , και το μέσο χρόνο που απαιτείται για τη διαχείριση μια συνδεσμολογίας διατρητικών στελεχών, μπορεί να εκτιμηθεί ο χρόνος μανούβρας t_t μέσω της **Εξ.(4.6)**.

Γεωλογικοί σχηματισμοί μεγάλης αντοχής απαιτούν τη χρήση μεγαλύτερου αριθμού κοπτικών άκρων για τη διάτρηση ενός συγκεκριμένου τμήματος της γεώτρησης. Σε κάποιες περιπτώσεις, πραγματοποιούνται τόσες ανελκύνσεις και καθελκύνσεις της διατρητικής στήλης για την αλλαγή κοπτικών, ώστε δεν είναι πρακτική η εξέταση κάθε χρόνου «μανούβρας» ξεχωριστά μέσω της **Εξ.(4.6)**. Ο χρόνος που απαιτείται για την πραγματοποίηση μίας εργασίας «μανούβρας» είναι συνήθως σταθερός κάθε 1.000ft. Έτσι, ο συνολικός χρόνος «μανούβρας» για κάθε 1000ft είναι κατά προσέγγιση ίσος με το χρόνο μίας εργασίας επί τον συνολικό αριθμό αυτών στο διάστημα των 1.000 ft.

Ο αριθμός των κοπτικών που απαιτούνται ανά 1.000 ft διάτρησης και σε ένα συγκεκριμένο βάθος δύναται να εκτιμηθεί προσεγγιστικά διαιρώντας τον εκτιμώμενο χρόνο διάτρησης ανά 1.000 ft, με το μέσο χρόνο ζωής του κοπτικού για αυτό το βάθος

$$N_b = \frac{t'_d}{t_b}$$

όπου :

N_b : αριθμός απαιτούμενων κοπτικών ανά 1.000 ft

t'_d : ο χρόνος διάτρησης ανά 1.000 ft

t_b : ο χρόνος ζωής του κοπτικού άκρου, σε hrs

Ο χρόνος διάτρησης ανά 1.000 ft, δηλαδή για τη διάτρηση από ένα βάθος D σε ένα βάθος $D+1.000$, μπορεί να εκτιμηθεί με τη χρήση της **Εξ. (4.5)**, η οποία μετασχηματίζεται στη μορφή :

$$t'_d = \frac{1}{2,303a_2 K} (e^{2,303a_2 (D+1.000)} - e^{2,303a_2 D}) \quad (4.8)$$

Αν πολλαπλασιαστεί ο αριθμός των κοπτικών άκρων που απαιτούνται για τη διάτρηση 1.000 ft μέχρι ένα συγκεκριμένο βάθος, με το χρόνο που απαιτείται για την κατέλκυση και ανέλκυση της διατρητικής στήλης σε αυτό το βάθος, t_t , προκύπτει η εκτίμηση του χρόνου μανούβρας ανά 1.000 ft. Στην παράγραφο 4.3 δίδεται παράδειγμα ενός τέτοιου υπολογισμού.

Είναι σύνηθες ο χρόνος «μανούβρας» να δίδεται σαν συνολικός χρόνος κατέλκυσης και ανέλκυσης ανά συγκεκριμένο εύρος βάθους (συνηθίζεται η έκφραση: ώρες/1.000 ft). Σε περίπτωση που η εκτίμηση αυτή δεν μπορεί να προκύψει από τα δεδομένα της διάτρησης, πιθανά λόγω ελλειπών στοιχείων, μπορεί να εκτιμηθεί θεωρώντας

ότι ο μέσος χρόνος συναρμολόγησης κάθε νέου διατρητικού στελέχους είναι 1,5 λεπτά. Το ίδιο και για κάθε αποσυναρμολόγηση.

Επίσης, η εκτίμηση του χρόνου μανούβρας μπορεί να γίνει και μέσω διαθέσιμων πινάκων, όπως ο **Πίνακας 4.3.**, όπου δίδονται μέσες τιμές ανάλογα και με τη διάμετρο της γεώτρησης. Για τα ενδιάμεσα βάρη μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της παρεμβολής (Σταματάκη, 2003).

Πίνακας 4.3. Εκτίμηση μέσων χρόνων μανούβρας (σε ώρες) (Σταματάκη, 2003)

Βάθος εξόδου κοπτικού (ft)	Διάμετρος γεώτρησης (in)		
	Μικρή (<8,75)	Μεσαία (8,75-9,875)	Μεγάλη (>9,875)
2.000	1,50	3,00	4,50
4.000	2,50	4,20	5,75
6.000	3,50	5,40	7,00
8.000	4,70	6,50	8,00
10.000	5,80	7,25	9,00
12.000	7,00	8,25	10,25
14.000	8,25	9,25	11,50
16.000	9,75	10,25	12,50
18.000	11,00	11,25	13,75
20.000	11,80	12,25	15,00

Όπως αναφέρθηκε, ο χρόνος μανούβρας περιλαμβάνει και το χρόνο για την σύνδεση διατρητικών στελεχών. Σε περίπτωση που επιθυμείται πιο αναλυτική εκτίμηση του χρόνου μανούβρας και διατίθενται δεδομένα τα οποία διαχωρίζουν το χρόνο σύνδεσης διατρητικών στελεχών από τους υπόλοιπους χρόνους μανούβρας, τότε αυτοί πρέπει να εκτιμηθούν για μια νέα γεώτρηση. Γι' αυτό το σκοπό, οι Hossain & Al-Mejed (2015), προτείνουν την χρήση μιας εξίσωσης που συνδέει το χρόνο που απαιτείται για την ανέλκυση και καθέλκυση της διατρητικής στήλης, για τη σύνδεση νέων διατρητικών στελεχών σε ένα βάθος, με τον αριθμό των διατρητικών στελεχών :

$$t_c = N_s \times t_s \quad (4.9)$$

όπου

t_c : ο χρόνος σύνδεσης διατρητικών στελεχών, σε hrs

N_s : μέσος αριθμός διατρητικών στελεχών

t_s : ο χρόνος μανούβρας που απαιτείται για μία ανέλκυση και καθέλκυση της διατρητικής στήλης και τη συνέχιση των εργασιών σε ένα βάθος Dt , σε hrs

Ο μέσος αριθμός διατρητικών στελεχών μπορεί να εκτιμηθεί ως ο λόγος του συνολικού βάθους διάτρησης προς το μέσο μήκος ενός διατρητικού στελέχους:

$$N_s = \frac{\bar{D}}{\bar{l}_s} \quad (4.10)$$

όπου:

\bar{D} : το μέσο βάθος της γεώτρησης, σε ft

\bar{l}_s : το μέσο μήκος ενός διατρητικού στελέχους

4.2.2. Χρόνος εκτέλεσης δειγματοληψίας

Παρότι οι παραδοσιακές διαγραφίες εντός των γεωτρήσεων (well logging) αποτελούν σημαντικό εργαλείο αξιολόγησης των διατρυόμενων σχηματισμών και του ταμιευτήρα, μόνο μέσω της λήψης δειγμάτων δίνεται η δυνατότητα εξασφάλισης αξιόπιστης συσχέτισης μεταξύ των διαγραφιών και των πραγματικών συνθηκών κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Επίσης, στη περίπτωση πιο αναλυτικής ανάλυσης, μόνο τα δείγματα δύναται να παρέχουν κρίσιμα δεδομένα όπως, πορώδες, διαπερατότητα κορεσμός, ορυκτολογική σύσταση κλπ.

Καθώς η δειγματοληψία αποτελεί εργασία η οποία εκτελείται κατά την διάρκεια της διάτρησης, ο χρόνος εκτέλεσης της είναι μεγάλης σημασίας, διότι μπορεί να αυξήσει το τελικό κόστος της γεώτρησης. Επομένως, η εκτίμηση του χρόνου δειγματοληψίας είναι απαραίτητη.

Η δειγματοληψία ουσιαστικά ακολουθεί παρόμοια διαδικασία με την κανονική διάτρηση. Έτσι οι χρόνοι που απαιτείται να εκτιμηθούν είναι ο χρόνος διάτρησης με το κοπτικό δειγματοληψίας, t_{cf} , ο χρόνος σύνδεσης διατρητικών στελεχών για την δειγματοληψία, t_{cc} , ο «χρόνος μανούβρας» ενός κοπτικού δειγματοληψίας t_{ct} . Αυτοί εκτιμούνται όμοια με τους αντίστοιχους χρόνους κανονικής διάτρησης.

Στην περίπτωση αυτή επισέρχονται και άλλοι δύο χρόνοι, ο χρόνος ανάκτησης και τοποθέτησης του πυρήνα δειγματοληψίας στο κουτί για μεταφορά, t_{crl} , και χρόνος της ίδιας της δειγματοληψίας, t_{co} .

4.3. Εκτίμηση χρόνου διάτρησης (Μελέτη περίπτωσης)

Όπως αναφέρθηκε, με τη χρήση ιστορικών δεδομένων δίνεται η δυνατότητα εκτίμησης του χρόνου εκτέλεσης μιας γεώτρησης. Για την κατανόηση αυτού, καθώς και τη χρήση των Εξισώσεων που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 4.2.1 της παρούσας εργασίας σχετικά με τον χρόνο διάτρησης, δίνεται ένα παράδειγμα χρήσης των δεδομένων μιας παλαιάς γεώτρησης για την εκτίμηση του χρόνου διάτρησης μίας νέας σχεδιαζόμενης.

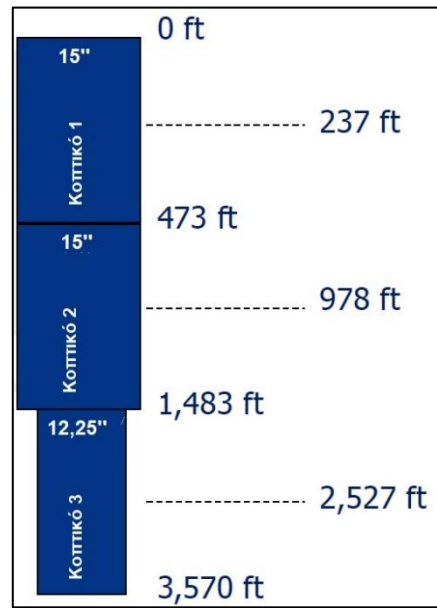
4.3.1. Εκτίμηση καθαρού χρόνου διάτρησης

Στον Πίνακα 4.4. δίδονται τα δεδομένα όρυξης (drilling data) και χρήσης κοπτικών άκρων (bit records) για μία γεώτρηση στην Νότια Θάλασσα της Κίνας.

Πίνακας 4.4. Δεδομένα κοπτικών άκρων της περιοχής Νότιας Θάλασσας της Κίνας (Bourgoyne Jr, Millheim, Chenevert, & Young Jr, 1991)

Αριθμός κοπτικών άκρων	Βάθος εξόδου κοπτικού (ft)	Μέσο βάθος (ft)	Χρόνος διάτρησης (hours)	Συνολικός χρόνος διάτρησης (hours)	Μέσος ρυθμός προχώρησης (ft/hr)	Διάμετρος γεώτρησης (in)
1	473	237	1,0	1,0	473	15,00
2	1.483	978	5,0	6,0	202	15,00
3	3.570	2.525	18,5	24,5	113	12,25
4	4.080	3.825	8,0	32,5	64	12,25
5	4.583	4.332	7,0	39,5	72	12,25
6	5.094	4.839	7,0	46,5	73	12,25
7	5.552	5.323	14,0	60,5	32	12,25
8	5.893	5.723	11,5	72,0	30	12,25
9	6.103	5.998	9,0	81,0	23	12,25
10	6.321	6.212	11,5	92,5	19	12,25
11	6.507	6.414	9,0	101,5	21	12,25
12	6.773	6.640	9,0	110,5	30	12,25
13	7.025	6.899	9,5	120,0	27	12,25
14	7.269	7.147	8,0	128,0	31	12,25
15	7.506	7.388	16,0	144,0	15	8,5
16	7.667	7.587	12,0	156,0	13	8,5
17	7.948	7.808	14,0	170,0	20	8,5
18	8.179	8.064	8,0	178,0	29	8,5
19	8.404	8.292	10,5	188,5	21	8,5
20	8.628	8.516	11,0	199,5	20	8,5
21	8.755	8.692	7,0	206,5	18	8,5
22	8.960	8.858	10,0	216,5	21	8,5
23	9.145	9.053	11,0	227,5	17	8,5

Σημειώνεται πως το μέσο βάθος (στήλη 3 του Πίνακα 4.4.) αντιστοιχεί στη μέση απόσταση μεταξύ σε δύο διαδοχικά βάθη εξόδου κοπτικού άκρου (βλέπε Σχήμα 4.3.)



Σχήμα 4.3. Σκαρίφημα της διαστασιολόγησης της γεώτρησης μέχρι τα 3.570 ft.

Όπως αναφέρθηκε, για τον υπολογισμό του καθαρού χρόνου διάτρησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί η Εξ. (4.3) :

$$t_d = \frac{1}{2,303a_2 K} (e^{-2,303a_2 D} - 1) \quad (4.11)$$

Για την χρήση της απαιτείται η γνώση των σταθερών K και a_2 . Καθώς για τη συγκεκριμένη γεώτρηση διαθέτουμε δεδομένα διάτρησης, οι σταθερές μπορούν να εκτιμηθούν, όπως εξηγείται στη συνέχεια, κι έτσι να οριστεί η εξίσωση του χρόνου διάτρησης. Επίσης, αντιπαραθέτοντας τα αποτελέσματα της εξίσωσης με τα πραγματικά δεδομένα της γεώτρησης, δίνεται η δυνατότητα να εξεταστεί η ποιότητα της πρόβλεψης για τον χρόνο διάτρησης. Έτσι, εν συνεχεία δύναται να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθούν οι χρόνοι για μια νέα γεώτρηση, σχεδιασμένη να εκτελεστεί στην ίδια περιοχή ή σε περιοχή ανάλογων χαρακτηριστικών. Ποιο συγκριμένα:

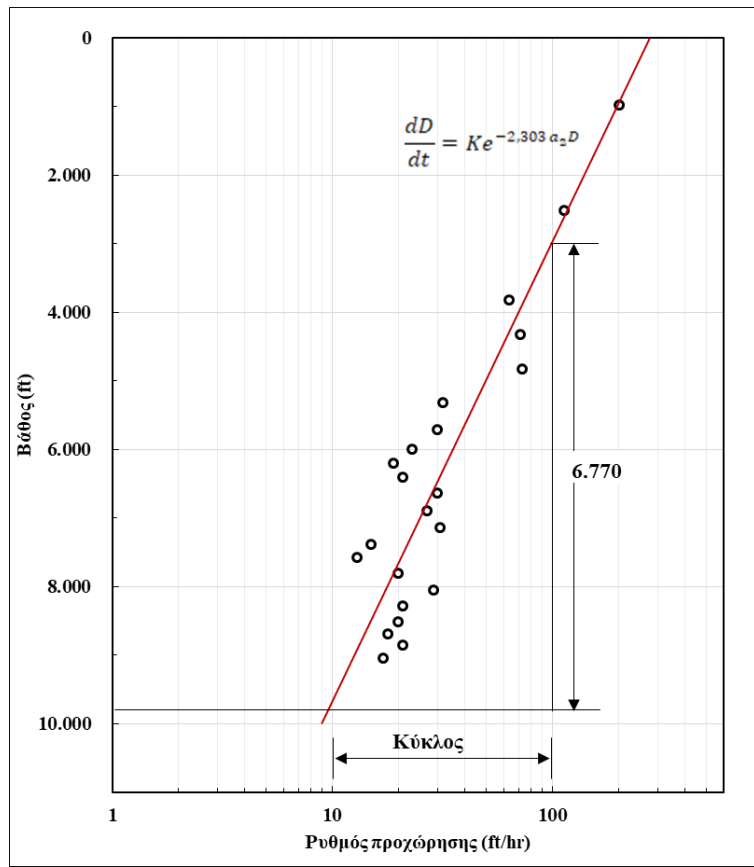
Αρχικά, τα δεδομένα του μέσου ρυθμού προχώρησης (στήλη 6 του Πίνακα 4.4.) μπορούν να παρασταθούν σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα συναρτήσεως του βάθους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4. Το ημιλογαριθμικό διάγραμμα είναι μια απεικόνιση που διευκολύνει καθώς οι εκθετικές εξισώσεις παριστάνονται ως ευθείες. Η ευθεία που προσαρμόζεται σε αυτά τα δεδομένα δίνεται από μια εξίσωση της μορφής της Εξ. (4.1).

$$ROP = \frac{dD}{dt} = Ke^{-2,303a_2D} \quad (4.12)$$

Αν επιλύσουμε την παραπάνω εξίσωση ως προς το βάθος D προκύπτει η εξίσωση (4.13):

$$D = \frac{\ln K}{2,303a_2} - \frac{1}{2,303a_2} ROP \quad (4.13)$$

Η εξίσωση αυτή έχει γραμμική μορφή $y=ax+b$, όπου $y=D$, $x=ROP$, $a = -1/2,303a_2$ και $b=\ln K/2,303a_2$. Επομένως, η σταθερά K προκύπτει όταν η παράμετρος D λάβει μηδενική τιμή στην Εξ.(4.13). Αυτό φαίνεται στο διάγραμμα ως το σημείο που η ευθεία τέμνει τον άξονα του ρυθμού προχώρησης για μηδενικό βάθος. Η τιμή της σταθεράς για τα δεδομένα της συγκεκριμένης γεώτρησης προκύπτει ίση με $K=280$.



Σχήμα 4.4. Διάγραμμα ρυθμού προχώρησης συναρτήσεϊ του βάθους για την περιοχή της Νότιας Θάλασσας της Κίνας.

Όσον αφορά τη σταθερά a_2 , αυτή προκύπτει υπολογίζοντας την κλίση της ευθείας που δίνεται από την Εξ. (4.13). Για τον υπολογισμό της κλίσης της ευθείας αρκούν δύο σημεία (όχι πειραματικά). Για την διευκόλυνση των υπολογισμών, επιλέγονται τα σημεία

που αντιστοιχούν στη μεταβολή του βάθους ανά λογαριθμικό κύκλο, δηλαδή τα σημεία (9770, ln100) και (3000, ln10) όπως σημειώνεται στο **Σχήμα 4.4**. Έτσι, η κλίση της ευθείας που δίνεται από την εξίσωση (4.12) ισούται με :

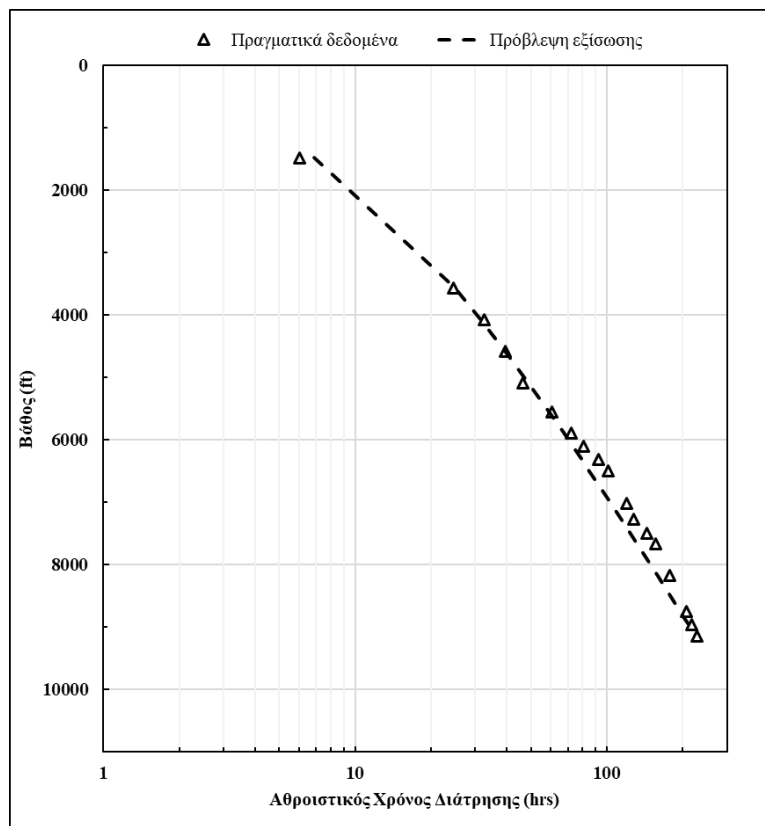
$$\frac{1}{2,303a_2} = \frac{y_2 - y_1}{\ln x_2 - \ln x_1} = \frac{9.770 - 3.000}{\ln 100 - \ln 10} = \frac{6.770}{\ln 10} = \frac{6.770}{2,303} \Rightarrow 2,303a_2 = \frac{2,303}{6.770} \Rightarrow$$

$$2,303a_2 = 0,00034$$

Έχοντας πλέον ορίσει τις σταθερές, με την αντικατάστασή τους στην **Εξ (4.3)** προκύπτει πως ο χρόνος διάτρησης δίνεται από τη σχέση :

$$t_d = 10,504 (e^{0,00034D} - 1) \quad (4.14)$$

Αντιπαραθέτοντας την πρόβλεψη που δίνει για το χρόνο διάτρησης, στα βάθη που δίνονται στον **Πίνακα 4.4.**, με τους πραγματικούς χρόνους διάτρησης (**Σχήμα 4.5.**) παρατηρείται πολύ καλή προσαρμογή της ευθείας στα δεδομένα της γεώτρησης σε όλο το εύρος του βάθους. Επομένως, η εξίσωση αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του χρόνου διάτρησης για μια νέα γεώτρηση σε αυτή την περιοχή.



Σχήμα 4.5. Διάγραμμα αθροιστικού χρόνου διάτρησης συναρτήσει του βάθους για την περιοχή της Νότιας Θάλασσας της Κίνας.

4.3.2. Εκτίμηση χρόνων «μανούβρας»

Με βάση τα δεδομένα που διατίθενται για την περιοχή της Νότιας Θάλασσας της Κίνας για γεώτρηση που έχει εκτελεστεί στο παρελθόν, εκτιμήθηκαν οι σταθερές K και α_2 , οι οποίες θεωρείται πως είναι αντιπροσωπευτικές για την περιοχή.

Στην περίπτωση της εξεταζόμενης γεώτρησης προς όρυξη στην περιοχή της Νότιας Θάλασσας της Κίνας, το γεωτρήσιμο που έχει επιλεγεί να χρησιμοποιηθεί είναι γνωστό πως έχει τη δυνατότητα να διαχειριστεί ένα διατρητικό στέλεχος 90 ft σε ένα μέσο χρόνο ίσο με 2,7 λεπτά. Σύμφωνα με το πρόγραμμα σωλήνωσης, πρόκειται να πραγματοποιηθεί αλλαγή σωλήνωσης στα 500 ft, 2.000 ft και 7.500 ft. Το προγραμματισμένο τελικό βάθος της γεώτρησης βρίσκεται στα 9.150 ft. Επίσης, θεωρείται πως η μέση διάρκεια ζωής ενός κοπτικού άκρου είναι 10,5 ώρες.

Πίνακας 4.5. Δεδομένα των χρόνων «μανούβρας» για την περιοχή της Νότιας Θάλασσας της Κίνας.

(Bourgoyne Jr, Millheim, Chenevert, & Young Jr, 1991)

1	2	3	4	5	6
Αριθμός «μανουβρών»	Βάθος, D_t (ft)	Χρόνος μανούβρας (hrs)	Αθροιστικός χρόνος μανούβρας (hours)	Βάθος, D (ft)	Βάθος επόμενης σωλήνωσης (ft)
1	500	0,5	0,5	2.299	2.000
2	2.000	2,0	2,5	3.205	7.500
3	3.205	3,2	5,7	4.057	7.500
4	4.057	4,1	9,8	4.717	7.500
5	4.717	4,7	14,5	5.256	7.500
6	5.256	5,3	19,8	5.711	7.500
7	5.711	5,7	25,5	6.105	7.500
8	6.105	6,1	31,6	6.452	7.500
9	6.452	6,5	38,1	6.762	7.500
10	6.762	6,8	44,9	7.043	7.500
11	7.043	7,0	51,9	7.299	7.500
12	7.299	7,3	59,2	7.534	7.500
13	7.500	7,5	66,7	7.721	9.150
14	7.721	7,7	74,4	7.926	9.150
15	7.926	7,9	82,3	8.118	9.150
16	8.118	8,1	90,4	8.298	9.150
17	8.298	8,3	98,7	8.467	9.150
18	8.467	8,5	107,2	8.627	9.150
19	8.627	8,6	115,8	8.779	9.150
20	8.779	8,8	124,6	8.923	9.150
21	8.923	8,9	133,5	9.061	9.150
22	9.061	9,1	142,6	9.162	9.150
23	9.150	9,2	151,8		

Ο χρόνος που απαιτείται για την καθέλκυση κι ανέλκυση της διατρητικής στήλης σε ένα συγκεκριμένο βάθος μπορεί να εκτιμηθεί με τη χρήση της **Εξ.(4.6)**. Στην περίπτωση του εξεταζόμενου γεωτρύπανου, ο μέσος χρόνος που απαιτείται για τη διαχείριση μιας συνδεσμολογίας διατρητικών στελεχών προκύπτει ως:

$$t_s = \frac{2,7min}{60min/hr} \Rightarrow t_s = 0,045 hrs$$

Για τα χρησιμοποιούμενα διατρητικά στελέχη μήκους $l_s = 90 ft$ χρησιμοποιώντας την **Εξ.(4.6)** προκύπτει πως ο χρόνος μανούβρας για κάθε μέσο βάθος D δύναται να εκτιμηθεί μέσω της σχέσης (4.15) ως:

$$t_t = 2 \left(\frac{t_s}{l_s} \right) D_t = 2 \left(\frac{0,045 hrs}{90 ft} \right) D \Rightarrow$$

$$t_t = 0,001D \quad (4.15)$$

Σε πρώτο στάδιο θα πρέπει να εκτιμηθεί το πότε και σε ποιο βάθος θα απαιτηθεί η ανέλκυση και καθέλκυση της διατρητικής στήλης, είτε για την αλλαγή του κοπτικού είτε για την προσθήκη διατρητικών στελεχών, ό,τι προκύπτει νωρίτερα κατά την διάτρηση.

Όσον αφορά τα κοπτικά άκρα, με τη χρήση της **Εξ. (4.7)** και γνωρίζοντας πως ο μέσος χρόνος ζωής ενός κοπτικού είναι ίσως με $t_b = 10,5 hrs$ μπορεί να εκτιμηθεί το βάθος αλλαγής των κοπτικών λόγω φθοράς, D , μέσω της Εξίσωσης (4.16) που προκύπτει ως:

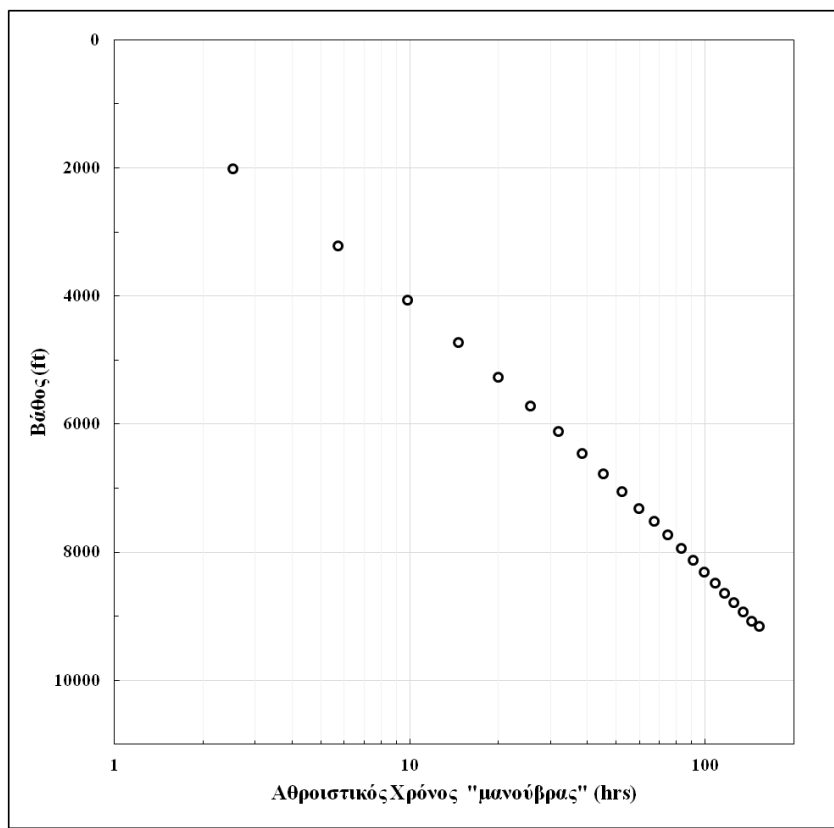
$$D = \frac{1}{2.303a_2} \ln(2.303a_2 K t_b + e^{2.303a_2 D_i}) \Rightarrow$$

$$D = \frac{1}{0,00034} \ln(0,00034(280)(10,5) + e^{0,00034 D_i}) \Rightarrow$$

$$D = 2.941 \ln(0.9996 + e^{0,00034 D_i}) \quad (4.16)$$

Το πρώτο κοπτικό άκρο θα διατρήσει έως το βάθος αλλαγής της πρώτης σωλήνωσης η οποία θα πραγματοποιηθεί στο βάθος των 500ft. Έτσι προκύπτει το πρώτο βάθος «μανούβρας». Το επόμενο βάθος όπου θα πρέπει να γίνει αλλαγή κοπτικού λόγω φθοράς προκύπτει από την **Εξ. (4.16)** για $D_i = 500 ft$ ίσο με 2.299 ft. Στη συνέχεια, υπολογίζονται και τα υπόλοιπα βάθη αλλαγής των κοπτικών άκρων με την ίδια εξίσωση. Τα

αποτελέσματα δίνονται στην στήλη 5 του **Πίνακα 4.5**. Τα βάθη αυτά δεν συμπίπτουν κάθε φορά με το βάθος αλλαγής τους, καθώς όπως έχει αναφερθεί με την αλλαγή της σωλήνωσης αλλάζει και το κοπτικό άκρο, ακόμα κι αν δεν έχει φθαρεί πλήρως. Στην στήλη 6 του **Πίνακα 4.5**, δίνονται τα βάθη αλλαγής της σωλήνωσης με βάση το σχεδιασμό της γεώτρησης. Το βάθος όπου πραγματοποιείται η ανέλκυση και καθέλκυση της διατρητικής στήλης δίνεται στην στήλη 2 του **Πίνακα 4.5**, και προκύπτει ως το μικρότερο μεταξύ του βάθους D και του βάθους της επόμενης σωλήνωσης. Για παράδειγμα, το βάθος της επόμενης σωλήνωσης μετά την εκτέλεση της πρώτης μανούβρας στα 500 ft είναι στα 2.000 ft (στήλη 6), ενώ το εκτιμώμενο βάθος μέχρι το οποίο μπορεί να διατρήσει το υφιστάμενο κοπτικό είναι τα 2.299 ft. Επομένως, η δεύτερη εργασία μανούβρας θα πραγματοποιηθεί στα 2.000 ft, πριν την φθορά του κοπτικού αλλά για την αλλαγή της σωλήνωσης, την προσθήκη διατρητικών στελεχών και νέου κοπτικού άκρου. Με την ίδια λογική προβλέπονται και οι επακόλουθες εργασίες «μανούβρας», όπως φαίνονται στον **Πίνακα 4.5**. Οι εκτιμώμενοι χρόνοι παρουσιάζονται γραφικά στο **Σχήμα 4.6**.



Σχήμα 4.6. Διάγραμμα εκτιμώμενου αθροιστικού χρόνου «μανούβρας» συναρτήσει του βάθους για γεώτρηση εκτελούμενη στην περιοχή Νότιας Θάλασσας της Κίνας.

4.4. Μη παραγωγικοί χρόνοι

Ο χρόνος εκτέλεσης μιας γεώτρησης εξαρτάται σημαντικά από τους μη παραγωγικούς χρόνους. Σε αυτούς μπορούν να συμπεριληφθούν οι νεκροί χρόνοι και οι χρόνοι αναμονής.

Η παύση των εργασιών, είτε λόγω καιρικών συνθηκών, είτε λόγω αναμονής εντολών, ανθρώπων ή εξοπλισμού δεν θεωρείται νεκρός χρόνος αλλά χρόνος αναμονής (stand-by-time). Η αναμονή λόγω καιρικών συνθηκών αποτελεί σημαντικό μέρος του χρόνου εκτέλεσης μίας γεώτρησης και είναι γνωστή διεθνώς ως Waiting On Weather.

4.4.1. Νεκροί χρόνοι

Σημαντικό στοιχείο του χρόνου που δαπανάται κατά την εκτέλεση μίας γεώτρησης αποτελούν οι λεγόμενοι νεκροί χρόνοι. Σύμφωνα με το ηλεκτρονικό περιοδικό Drilling Contractor (2010), σε έρευνα που διεξήχθη το 2008 από το Athens Group σε επίπεδο βιομηχανίας, τόσο μεταξύ διαχειριστών όσο και υπεργολάβων γεωτρήσεων, οι παραπάνω ερωτήθηκαν σχετικά με τον τρόπο που υπολογίζουν τους νεκρούς χρόνους. Οι απαντήσεις διέφεραν σε μεγάλο ποσοστό, με κάθε μία να περιλαμβάνει διαφορετικές εργασίες και να αποκλείει άλλες. Η ίδια ασυμφωνία στον ορισμό των νεκρών χρόνων επικρατεί και στη βιβλιογραφία.

Σύμφωνα με τον Rabia (2002) ο χρόνος που καταναλώνεται για κάθε εργασία «ρουτίνας» (routine operation) όπως ανέλκυση και καθέλκυση εργαλείων στη γεώτρηση (RIH και POOH), ή μη προγραμματισμένη εργασία, ως αποτέλεσμα κάποιας βλάβης, ορίζεται ως νεκρός χρόνος. Οι Kadaster και συν. (1990) αναφέρουν πως η καθυστέρηση των εργασιών, προκαλούμενη από οποιοδήποτε συμβάν, θεωρείται νεκρός χρόνος. Ο νεκρός χρόνος για αυτούς περιλαμβάνει το χρόνο που απαιτείται για την επίλυση του προβλήματος που έχει προκληθεί και το χρόνο για την επαναφορά των εργασιών στην προηγηθείσα κατάσταση. Σε αυτό συμφωνεί και ο Rabia.

Σύμφωνα με τον αντιπρόεδρο της Chevron, υπεύθυνο για την διάτρηση και ολοκλήρωση γεωτρήσεων, David Payne, οι νεκροί χρόνοι δεν αποτελούν στοιχείο μέτρησης της επίδοσης των εργασιών, αλλά ένα τρόπο να διαπιστωθεί τι μπορεί να βελτιωθεί. Σύμφωνα με τον Morris Keene, ο οποίος διαχειριζόταν τις γεωτρητικές δραστηριότητες για την Occidental Petroleum (Oxy), η βιομηχανία δεν θα πρέπει να χρησιμοποιεί στενό ορισμό για τους νεκρούς χρόνους. Οτιδήποτε συμβαίνει, το οποίο δεν υπόκειται στο αρχικό πρόγραμμα της γεώτρησης θα πρέπει να θεωρείται νεκρός χρόνος και να καταγράφεται αναλόγως. Υποστηρίζει πως μόνο τότε οι διαχειριστές και οι

υπεργολάβοι γεωτρήσεων θα γνωρίζουν πραγματικά σε τι καταναλώνεται σημαντικό μέρος του χρόνου.

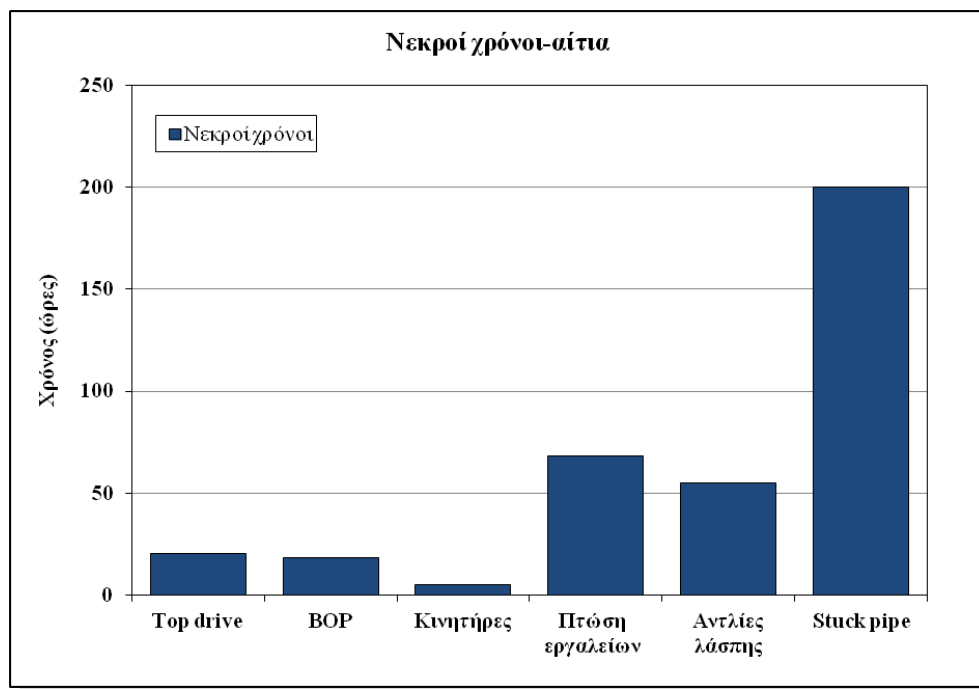
Οι νεκροί χρόνοι αποτελούν ένα σημαντικό θέμα καθώς συνεπάγονται πληθώρα αρνητικών επιπτώσεων, όπως απώλεια χρημάτων, αύξηση της διάρκειας των εργασιών, αποτυχημένες προσπάθειες, υπέρβαση προϋπολογισμών, βλάβες και μη αποδοτικές εργασίες. Για μία πετρελαϊκή εταιρεία αποτελεί μεγάλη πρόκληση ο εντοπισμός και η κατανόηση των νεκρών χρόνων. Σύμφωνα με τους Vinod και συν. (2013) ο ετήσιος μέσος όρος νεκρών χρόνων ολοκληρωμένων γεωτρήσεων είναι περίπου 30% του συνολικού χρόνου εκτέλεσης τους.

Λαμβάνοντας υπόψη τις δυσκολίες και την αστάθεια της πετρελαϊκής διεθνούς αγοράς, η πίεση για μείωση του κόστους εκτέλεσης των γεωτρήσεων είναι μεγάλη. Στο πλαίσιο αυτό δίνεται έμφαση στην έρευνα προς εύρεση νέων μέτρων για την βελτίωση της απόδοσης των γεωτρητικών εργασιών. Με την μείωση των νεκρών χρόνων, έστω και ελάχιστα, μπορούμε να οδηγηθούμε σε σημαντική εξοικονόμηση πόρων. Όπως αναφέρει χαρακτηριστικά ο Rabia (2002), η εξοικονόμηση χρημάτων χάρη στην ελάττωση των νεκρών χρόνων, αρκεί ώστε να ορυχθεί ένας σημαντικός αριθμός πρόσθετων γεωτρήσεων από τον ίδιο διαχειριστή.

Κάποιοι διαχειριστές περιλαμβάνουν τους νεκρούς χρόνους στην εκτίμηση του χρόνου του έργου, ειδικά στην περίπτωση που είναι γνωστό πως αναμένονται συγκεκριμένα προβλήματα κατά την όρυξη (δηλαδή σχηματισμοί που δύναται να προκαλέσουν παγίδευση της διατρητικής στήλης). Ως εκ τούτου, ο μηχανικός εξετάζοντας τα γεγονότα που μπορεί να συμβούν κατά την εκτέλεση της γεώτρησης, εκτιμά αν θα περιληφθεί, και σε ποιό βαθμό, ένα ποσοστό που θα αντιστοιχεί σε επιπρόσθετο μη παραγωγικό χρόνο. Σημειώνεται πως οι βάσεις δεδομένων, όπως η IHS Rushmore, δίνουν πρόσβαση και σε νεκρούς χρόνους οι οποίοι έχουν καταγραφεί από τους διαχειριστές σε γεωτρήσεις σε παγκόσμιο επίπεδο και ανά περιοχή, δίνοντας έτσι την δυνατότητα εκτίμησης του ποσοστού του χρόνου που αναμένεται να αντιστοιχίσει σε νεκρούς χρόνους για μία νέα γεώτρηση.

Είναι λοιπόν σημαντική η καταγραφή των νεκρών χρόνων κατά την εκτέλεση μίας γεώτρησης, αλλά και των γεγονότων που οδήγησαν σε αυτούς, έτσι ώστε να υπάρξει βελτιστοποίηση των διαδικασιών σε επόμενα γεωτρητικά έργα. Χρήσιμη είναι η απεικόνιση των νεκρών χρόνων σε ιστογράμματα με βάση το αίτιο που τους προκάλεσε.

Έτσι, μπορούν να εντοπιστούν ευκολότερα τα προβληματικά σημεία. Ένα υποθετικό παράδειγμα μιας τέτοιας παρουσίασης των νεκρών χρόνων φαίνεται στο **Σχήμα 4.7**.



Σχήμα 4.7. Υποθετικό παράδειγμα απεικόνισης των νεκρών χρόνων μιας γεώτρησης με βάση τα αίτια που τους προκάλεσαν.

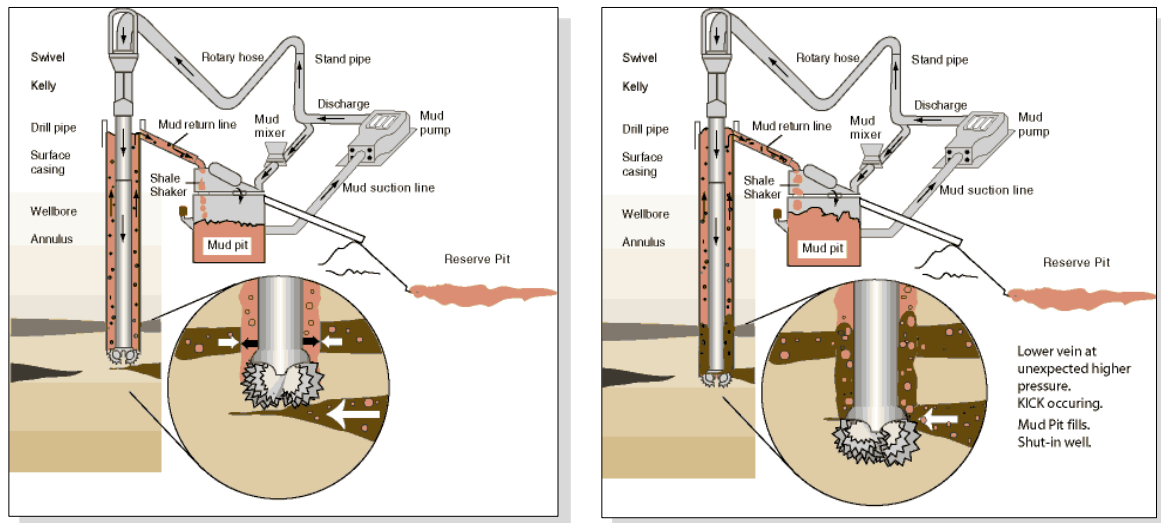
4.4.1.1. Γεγονότα που προκαλούν καθυστέρηση των εργασιών (νεκροί χρόνοι)

Οι νεκροί χρόνοι μπορεί να προέρχονται από οποιοδήποτε στάδιο και οποιαδήποτε εργασία κατά τη διάρκεια ενός γεωτρητικού έργου. Οι πιο μεγάλες καθυστερήσεις βέβαια συναντώνται κατά το στάδιο της διάτρησης όπως:

Φαινόμενο εκτινάξεων (Kicks)

Η όρυξη αποτελεί μια διαδικασία κατά την οποία το κοπτικό άκρο σταδιακά προχωρεί σε βάθος διατρύνοντας τους γεωλογικούς σχηματισμούς. Οι πιέσεις που επικρατούν στους διατρυόμενους σχηματισμούς (γεωπιέσεις) αποτελούν σημαντικό παράγοντα ο οποίος επιδρά στις εργασίες της όρυξης. Αυτοί οι σχηματισμοί μπορεί να περιέχουν στα κενά των πόρων τους ρευστά υπό πίεση (νερό συνήθως αλμυρό, πετρέλαιο ή αέριο). Σημειώνεται πως ως *πίεση πόρων του πετρώματος* ορίζεται ως η πίεση που ασκείται από τα ρευστά που τυχόν εμπεριέχονται στους πόρους του σχηματισμού. Γενικά, αυτή η πίεση αντισταθμίζεται από την πίεση του ρευστού διάτρησης εντός της γεώτρησης, η οποία είναι το αποτέλεσμα της υδροστατικής πίεσης και της απώλειας πίεσης λόγω τριβών στο δακτύλιο, ώστε το σύστημα να είναι σε ισορροπία. Εάν η πίεση στο εσωτερικό της

γεώτρησης πέσει κάτω από την πίεση πόρων του πετρώματος, τότε αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητη εισροή ρευστών από τους σχηματισμούς προς τη γεώτρηση. Αυτή η εκδήλωση είναι γνωστή ως εκδήλωση φαινομένου εκτίναξης «kick».



Εικόνα 4.1. Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου kick. (Kullawan, 2011)

Η πιθανότητα εμφάνισης ενός φαινομένου kick μπορεί να διαφέρει ανά περίπτωση γεώτρησης και ανάλογα τους γεωλογικούς σχηματισμούς και τις συνθήκες που επικρατούν σε αυτούς. Στη μελέτη του Dobson (Kullawan, 2011) αναφέρεται ότι για την περιοχή της Β. Θάλασσας, η πιθανότητα εμφάνισης του φαινομένου είναι 12% στην περίπτωση της χρήσης πλωτών ημιβυθιζόμενων πλατφορμών για την όρυξη των γεωτρήσεων.

Παγίδευση της διατρητικής στήλης (Stuck pipe)

Η παγίδευση της διατρητικής στήλης είναι ένα φαινόμενο κατά το οποίο μέρος της διατρητικής στήλης, όπως διατρητικό στέλεχος (drill pipe), αντίβαρα (drill collars), κατώτερη συνδεσμολογία (BHA) παγιδεύεται εντός της γεώτρησης (ακινητοποιείται). Ως αποτέλεσμα, η διατρητική στήλη δεν δύναται να περιστραφεί ή να κινηθεί στην οριζόντια κατεύθυνση.

Αυτό το φαινόμενο μπορεί να εμφανιστεί κατά τη διάρκεια της διάτρησης, κατά τη σύνδεση διατρητικών στελεχών, την διεξαγωγή δοκιμών, διαγραφών ή οποιαδήποτε άλλης διεργασίας κατά την οποία η διατρητική στήλη παραμένει εντός της γεώτρησης. Γενικά, εφόσον πάψει η κυκλοφορία ρευστών, τότε ο κίνδυνος παγίδευσης της διατρητικής στήλης αυξάνεται.

Οι Howard και Glover (1994) πραγματοποίησαν έρευνα σχετικά με τα φαινόμενα παγίδευσης της διατρητικής στήλης, χρησιμοποιώντας βάση δεδομένων που περιλάμβανε

στοιχεία για πάνω από 1.000 γεωτρήσεις της περιοχής του Κόλπου του Μεξικό και της Βόρειας Θάλασσας. Στατιστικά, με βάση τα στοιχεία αυτά μία στις τρεις γεωτρήσεις που ορύχθηκαν στις παραπάνω περιοχές εμφάνισε προβλήματα παγίδευσης της διατρητικής στήλης.

Τα αίτια που προκαλούν την παγίδευση της διατρητικής στήλης είναι:

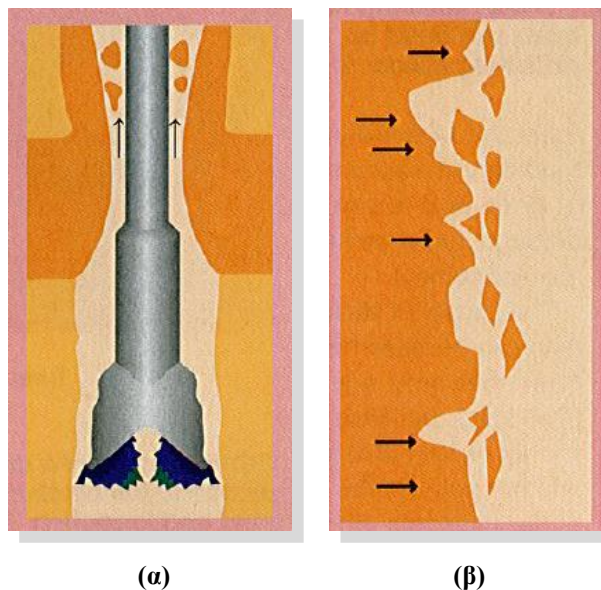
i. Ανεπαρκής καθαρισμός της γεώτρησης

Κατά την όρυξη της γεώτρησης τα θρύμματα που προκύπτουν μεταφέρονται στην επιφάνεια μέσω της ροής του ρευστού διάτρησης. Αν η ταχύτητα ανόδου των ρευστών είναι πολύ μικρή και/ή το ρευστό διάτρησης δεν έχει τις κατάλληλες ιδιότητες, τα θρύμματα δεν απομακρύνονται από την γεώτρηση. Αυτό δύναται να οδηγήσει στην παγίδευση της διατρητικής στήλης από θρύμματα που συσσωρεύονται σε τμήμα της γεώτρησης ή καθιζάνουν στον πυθμένα της.

ii. Ασταθή τοιχώματα της γεώτρησης

Η αστάθεια των τοιχωμάτων της γεώτρησης αποτελεί φαινόμενο κατά το οποίο κάποιοι σχηματισμοί καθίστανται ασταθείς με αποτέλεσμα η γεώτρηση να μην διατηρεί τη διάμετρο της, το σχήμα της ή την δομική ακεραιότητά της. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως τα τοιχώματα της γεώτρησης αστοχούν μηχανικά, με αποτέλεσμα τμήματα πετρώματος να αποκολλούνται και να συγκεντρώνονται γύρω από την κατώτερη συνδεσμολογία της διατρητικής στήλης. Προβλήματα που σχετίζονται με την αστάθεια των τοιχωμάτων της γεώτρησης εμφανίζονται συχνότερα στις παρακάτω περιπτώσεις:

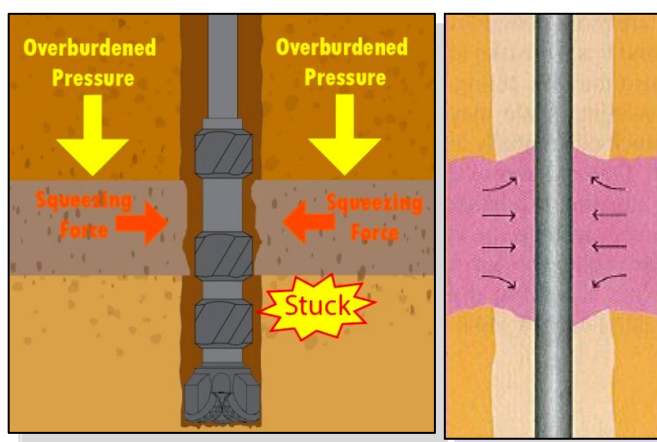
- Σε σχιστολιθικές ζώνες με μεγάλο ποσοστό διογκούμενων αργίλων, όπως νιτρικό μοντμοριλονίτη - **Εικόνα 4.2. (α)**.
- Σε υπερσυμπιεσμένες σχιστολιθικές ζώνες - **Εικόνα 4.2. (β)**.
- Στην περίπτωση μαλακών σχηματισμών (soft formations), η τυρβώδης ροή στο δακτύλιο οδηγεί σε καταστάσεις «έκπλυσης» (washouts).



Εικόνα 4.2. Σχηματική απεικόνιση περιπτώσεων όπου εμφανίζονται προβλήματα αστάθειας των τοιχωμάτων της γεώτρησης (Bailey, και συν., 1991)

iii. Πλαστικότητα διατρυόμενων σχηματισμών (mobile formations)

Πρόκειται για φυσικά εμφανιζόμενους «πλαστικούς» σχηματισμούς, συνηθέστεροι εκ των οποίων είναι οι σχιστόλιθοι και τα ορυκτά άλατα.. Καθώς ορύσσονται αυτοί οι σχηματισμοί και παύουν να ισχύουν οι συνθήκες πλευρικής φόρτισης, υπερισχύουν οι κατακόρυφες που ασκούνται από τα υπερκείμενα πετρώματα, και οι σχηματισμοί αυτοί «ρέουν» προς το εσωτερικό της γεώτρησης. Αλάτια ή σχιστόλιθος μεταφέρονται μέσα στη γεώτρηση και κλείνουν το δακτύλιο (annulus). Έτσι, η γεώτρηση καθίσταται «undergaged», δηλαδή το κοπτικό άκρο φθείρεται τόσο που πλέον έχει μικρότερη εξωτερική διάμετρο απ’ ότι είχε πριν χρησιμοποιηθεί. Αν δεν δοθεί η κατάλληλη προσοχή, το κοπτικό μπορεί να παγιδευτεί και επακόλουθα και η διατρητική στήλη.



Εικόνα 4.3. Σχηματική απεικόνιση γεώτρησης «undergaged» (DrillingFormulas.com, 2011), (Bailey, et al., 1991)

iv. Διαφορική παγίδευση της διατρητικής στήλης (Differential sticking)

Υπό συνθήκες συνθήκες, η πίεση της γεώτρησης επιθυμείται να διατηρείται σε τιμή υψηλότερη από την πίεση πόρων των σχηματισμών, προκειμένου να αποτραπεί η εισροή ρευστών από τους σχηματισμούς προς τη γεώτρηση. Έτσι, σε διαπερατές ζώνες, η λάσπη διάτρησης εισχωρεί στους πλευρικούς σχηματισμούς, διηθείται με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα επίστρωμα από τα συστατικά της λάσπης επί των πλευρικών τοιχωμάτων, γνωστό ως “filter cake”.

Η διαφορική παγίδευση της διατρητικής στήλης συναντάται όταν το επίστρωμα λάσπης καταστεί τόσο παχύ ώστε τα αντίβαρα (drill collars) της διατρητικής στήλης να καλύπτονται από το επίστρωμα. Η πιθανότητα παγίδευσης της διατρητικής στήλης αυξάνει εάν η στήλη παραμείνει ακίνητη για σημαντικό χρονικό διάστημα. Επιπλέον, η δυσκολία απελευθέρωσης της καθίσταται ακόμα μεγαλύτερη στην περίπτωση που η διαφορική πίεση(διαφορά μεταξύ της πίεσης της λάσπης και την πίεσης των πόρων) είναι μεγαλύτερη από 1.000 psi.

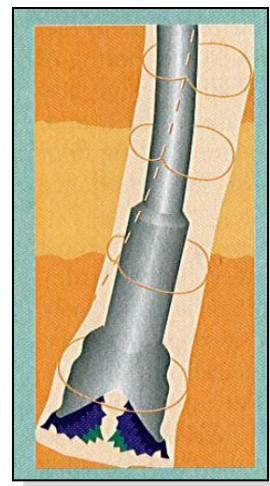


Εικόνα 4.4. Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου διαφορικής παγίδευσης της διατρητικής στήλης. (Bailey, et al., 1991)

ν. Δημιουργία τμημάτων μειωμένης διαμέτρου (Keyseating)

Όταν η διατρητική στήλη διέρχεται από έντονα κεκαμμένο τμήμα της γεώτρησης (dogleg), τότε η στήλη έρχεται σε επαφή με τα τοιχώματα της γεώτρησης και ολισθαίνει με περιστροφή επί των σχηματισμών. Αν η διάτρηση συνεχιστεί με τη διατρητική στήλη σε αυτή τη θέση το αποτέλεσμα θα είναι η πρόκληση αυλακώσεων στα τοιχώματα.

Το πρόβλημα στην περίπτωση αυτή προκύπτει κατά την ανέλκυση της διατρητικής στήλης από τη γεώτρηση. Το μικρότερης διαμέτρου τμήμα της στήλης θα έχει τη δυνατότητα να διέλθει από το τμήμα μειωμένης διαμέτρου, ωστόσο τα αντίβαρα (drill collars) και η κατώτερη συνδεσμολογία (bottom hole assembly) υπάρχει πιθανότητα να παγιδευτούν στη στενή αυλάκωση. Αυτού του είδους η παγίδευση είναι πιθανότερο να προκληθεί σε μαλακούς- χαλαρούς σχηματισμούς (soft formations)



Εικόνα 4.5. Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου «keyseating» (Bailey, et al., 1991)

Βλάβη της κατώτερης συνδεσμολογίας (Downhole tool failure)

Η κατώτερη συνδεσμολογία (bottom hole assembly-BHA) της διατρητικής στήλης είναι μια αρκετά πολύπλοκη συνδεσμολογία εξαρτημάτων που τοποθετούνται πάνω από το κοπτικό. Δεδομένου ότι η βλάβη της κατώτερης συνδεσμολογίας είναι μία από τις μεγαλύτερες πηγές νεκρών χρόνων (Kullawan, 2011), είναι λογικό να γίνεται προσπάθεια ελαχιστοποίησης της πιθανότητας εμφάνισης του φαινομένου, με τη χρήση προληπτικών μέτρων. Ωστόσο, η πρόβλεψη του φαινομένου αποτελεί ένα πολύπλοκο πρόβλημα. Εξάλλου, το μεγάλο βάρος επί του κοπτικού (WOB) ή η ταχύτητα περιστροφής που εφαρμόζεται στην κατώτερη συνδεσμολογία, για τη βελτιστοποίηση της ταχύτητας διάτρησης (ROP), μπορεί να προκαλέσει κρούσεις και δονήσεις στα διατρητικά στελέχη. Τα μηχανικά μέρη της κατώτερης συνδεσμολογίας (BHA) μπορούν να καταστραφούν γρήγορα λόγω της κατάστασης λειτουργίας σε ή κοντά στις συνθήκες συντονισμού. Οι υψηλές καταπονήσεις που δημιουργούνται μπορεί να οδηγήσουν σε κόπωση. Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν πολλοί παράγοντες που προκαλούν βλάβη στην κατώτερη συνδεσμολογία, οι αρμονικές δονήσεις, ιδιαίτερα οι πλευρικοί κραδασμοί, παίζουν σημαντικό ποσοστό στις αστοχίες επί του πεδίου.

Τα προβλήματα αυτά οδηγούν δυνητικά σε βλάβη της κατώτερης συνδεσμολογίας, με αποτέλεσμα να χρειαστεί η ανέλκυση της διατρητικής στήλης για την αντικατάσταση των φθαρμένων εξαρτημάτων. Η διαδικασία αυτή συνεπάγεται, εκτός των εξόδων για την εξασφάλιση ανταλλακτικών, αυξημένους χρόνους «μανούβρας». Οι αυξημένοι χρόνοι οδηγούν σε αύξηση του συνολικού κόστους καθώς παρατείνουν την διάρκεια λειτουργίας του γεωτρύπανου.

Απώλεια κυκλοφορίας ρευστών διάτρησης (Lost Circulation)

Η απώλεια κυκλοφορίας του ρευστού διάτρησης συνίσταται στην μειωμένη ή ολική απουσία ροής ρευστού μέσα στο δακτύλιο και προς την επιφάνεια, όταν το ρευστό εισπιέζεται και κυκλοφορεί εντός της γεώτρησης. Αυτή η μείωση της ροής του ρευστού μπορεί γενικά να ταξινομηθεί ως:

- *Μικρή διαρροή (Seepage loss)*: Η απώλεια ρευστού είναι μικρότερη από 20 bbl/hr ($3\text{m}^3/\text{h}$)
- *Μερική απώλεια (Partial loss)*: Ο ρυθμός απώλειας ρευστού είναι μεγαλύτερος των 20 bbl/hr ($3\text{m}^3/\text{hr}$), αλλά υφίσταται κάποια επιστροφή στην επιφάνεια.
- *Συνολική απώλεια (Total loss)*: Δεν υφίσταται επιστροφή ρευστού στην επιφάνεια από τον δακτύλιο.

Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται στην επιφάνεια, όταν η επιστροφή (όγκος) της λάσπης διάτρησης στην επιφάνεια διαφέρει από αυτόν της εισπίεσης της στη γεώτρηση. Απώλεια κυκλοφορίας ρευστού εμφανίζεται συνήθως όταν:

- Συναντώνται σχηματισμοί εξαιρετικά μεγάλης διαπερατότητας, όπως στρώματα κροκαλοπαγών ή ασβεστόλιθων, με αποτέλεσμα η εισροή της λάσπης στους διατρυόμενους σχηματισμούς να είναι σημαντική.
- Η υδροστατική πίεση που ασκεί η λάσπη είναι μεγαλύτερη από την πίεση ρωγμάτωσης των διατρυόμενων σχηματισμών. Ο σχηματισμός τότε ρωγματώνεται, με αποτέλεσμα η λάσπη να διοχετεύεται πλευρικά.

Αν η απώλεια της κυκλοφορίας εμφανίζεται πολύ συχνά ή προκληθεί συνολική απώλεια λάσπης (total loss), τότε η γεώτρηση παραμένει μη πλήρης σε λάσπη, ακόμα κι αν οι αντλίες είναι σε λειτουργία. Το φαινόμενο αυτό οδηγεί στην μείωση της υδροστατικής πίεσης της λάσπης και σε έλλειψη ή πλήρη απώλεια ελέγχου της γεώτρησης. Ακόμα και στις περιπτώσεις της απλής διαρροής ή της μερικής απώλειας της κυκλοφορίας

του ρευστού στους σχηματισμούς, το αποτέλεσμα – πέραν της ασφάλειας – είναι η οικονομική επιβάρυνση του έργου. Αυτή έχει άμεσο αντίκτυπο στο κόστος ανά βαρέλι του ρευστού διάτρησης. Η απώλεια της κυκλοφορίας είναι ένα από τα φαινόμενα που σχετίζονται με το ρευστό διάτρησης που προκαλεί τις μεγαλύτερες καθυστερήσεις των εργασιών και απώλειες χρημάτων. Όπως αναφέρει ο Kullawan (2011), έχει εκτιμηθεί πως το φαινόμενο αυτό κοστίζει στην γεωτρητική βιομηχανία πάνω από ένα δισεκατομμύριο δολάρια ετησίως.

4.4.2. Χρόνοι αναμονής λόγω καιρικών συνθηκών (Wait on Weather (WOW) or other environmental interruptions)

Το θαλάσσιο περιβάλλον, και ιδιαίτερα οι ανοικτές θάλασσες, όπου εκτελούνται οι υπεράκτιες γεωτρήσεις, αποτελούν περιβάλλον ιδιαίτερα δυσχερών συνθηκών. Οι συνθήκες αυτές μπορούν να έχουν μεγάλη επίδραση στην απόδοση των εργασιών. Οι επιπτώσεις των ανέμων, των τραχιών θαλασσών, του ύψους των κυμάτων και άλλων στοιχείων μπορεί να προκαλέσουν καθυστέρηση στις εργασίες της γεώτρησης, ακόμα και παύση αυτών μέχρι την αποκατάσταση των συνθηκών. Οι καθυστερήσεις που προκαλούνται από αυτές τις συνθήκες αναφέρονται συνήθως ως «**αναμονή λόγω καιρικών συνθηκών**» (Wait On Weather).

Οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν με διάφορους τρόπους τις υπεράκτιες γεωτρήσεις. Αν τα όρια όπου είναι λειτουργικές οι εγκαταστάσεις ξεπεραστούν λόγω του ύψους των κυμάτων, των ρευμάτων της θάλασσας ή δινών, τότε οι εργασίες σταματούν και δύναται να συνεχιστούν όταν το επιτρέπουν οι συνθήκες. Εργασίες που περιλαμβάνουν πλοία ή ελικόπτερα προμηθειών είναι πιθανό να μην είναι δυνατόν να εκτελεστούν. Αν τα αποθέματα στις υπεράκτιες εγκαταστάσεις της γεώτρησης πλησιάζουν στο τέλος τους και συνεχίζεται η αδυναμία προσέγγισης των πλοίων, προκαλούνται καθυστερήσεις και δυσχερείς συνθήκες για το προσωπικό.

Η αναμονή λόγω καιρικών συνθηκών είναι συνηθέστερη και μεγαλύτερης σημασίας στις υπεράκτιες γεωτρήσεις, αν και μπορεί να αποτελέσει σε μικρότερο ποσοστό λόγο καθυστέρησης και σε χερσαίες γεωτρήσεις. Συνήθως υπολογίζεται ως ποσοστό του συνολικού χρόνου. Κανονικά, συμπεριλαμβάνεται στα μοντέλα πρόβλεψης τους κόστους ως μεταβλητή, δεδομένου ότι ο αναμενόμενος χρόνος αναμονής λόγω καιρού θα εξαρτηθεί από την περίοδο του έτους που θα εκτελεστεί η γεώτρηση.

Η αναμονή λόγω καιρικών συνθηκών αποτελεί μια από τις πιο συνηθείς αιτίες καθυστέρησης των εργασιών, ειδικά στην περιοχή της Βόρειας Θάλασσας. Σύμφωνα με

τον Kullawan (2011), κάποιοι διαχειριστές περιλαμβάνουν μια επιπρόσθετη διάρκεια, που αντιστοιχεί στην αναμονή λόγω καιρικών συνθηκών, της τάξεως του 10%-15% της κανονικής διάρκειας του γεωτρητικού έργου με βάση το σχεδιασμό.

Όμοια με τους νεκρούς χρόνους, η εκτίμηση των χρόνων αναμονής λόγω καιρού μπορεί να βασιστεί σε βάσεις δεδομένων, όπως η IHS Rushmore. Εξετάζοντας τις γεωτρήσεις που έχουν εκτελεστεί στο παρελθόν στην περιοχή της νέας εξεταζόμενης γεώτρησης μπορεί να εκτιμηθεί η πιθανή επίδραση του καιρού στις εργασίες και να συνεκτιμηθεί αυτός ο χρόνος στην ανάλυση κόστους.

Επίσης, για την αποφυγή της επίδρασης του καιρού στις εργασίες μπορεί οι αναμενόμενες συνθήκες να ληφθούν υπόψη από το στάδιο του σχεδιασμού του έργου, ώστε να αποφευχθεί η εκτέλεση των εργασιών τις περιόδους ιδιαίτερα δυσχερών συνθηκών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 °

Ντετερμινιστική εκτίμηση κόστους εκτέλεσης γεώτρησης

Σε ανάλυση που πραγματοποιήθηκε από τους Vinod, et al. (2013) σε στοιχεία ολοκληρωμένων και μη γεωτρήσεων της περιοχής Western Offshore Basin (Mumbai) προέκυψε πως, κατά μέσο όρο, το 75% με 80% του συνολικού κόστους της διάτρησης αποτελεί το κόστος λειτουργίας του γεωτρύπανου, το 10% με 15% αφορά τα υλικά διάτρησης, όπως στελέχη σωλήνωσης, κοπτικά άκρα, κεφαλές γεώτρησης (wellheads-WH), αποτροπείς ανατινάξεων (BOP), υλικά λάσπης διάτρησης και τσιμέντωσης, ενώ, κατά προσέγγιση, λιγότερο από 10% του κόστους αντιστοιχεί σε υποστηρικτικές κ.ά. εργασίες, όπως διαγραφίες.



Σχήμα 5.1. Ποσοστιαία συνεισφορά του κόστους των εργασιών του γεωτρύπανου (συμπεριλαμβανομένης διάτρησης) επί του συνολικού κόστους μίας γεώτρησης (Vinod, Kundan, Kumar, Kalpande, & Pande, 2013)

Η ανάλυση κόστους μιας γεώτρησης πραγματοποιείται με βάση την πρόγνωση της διάτρησης, δηλαδή το σχέδιο και το πρόγραμμα της γεώτρησης. Η συνήθης πρακτική για την καταγραφή του κόστους είναι η χρήση τυποποιημένων υπολογιστικών φύλλων (σχετικό προτυπο δίδεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ της εργασίας).. Ανάλογα με την εταιρεία που πραγματοποιεί την ανάλυση κόστους, τα υπολογιστικά φύλλα που χρησιμοποιούνται

μπορεί να παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις. Ωστόσο, με βάση τις πηγές της παρούσας εργασίας, η ανάλυση γίνεται ανά στάδιο (phase) της γεώτρησης.

Κάθε κόστος αναγνωρίζεται και υποκατηγοριοποιείται σε μικρότερα στοιχεία κόστους. Έτσι διευκολύνεται η εκτίμηση κάθε κόστους, ενώ με την ολοκλήρωση του έργου μπορεί εύκολα να συγκριθεί το πραγματικό κόστος κάθε στοιχείου με το εκτιμώμενο, χρήσιμο για μελλοντικές εκτιμήσεις. Χρήσιμος είναι επίσης ο υπολογισμός του ποσοστού με το οποίο συμβάλει στο συνολικό κόστος κάθε μεγάλη κατηγορία κόστους ώστε να μπορέσουν να προσδιοριστούν τα βασικά-σημαντικότερα οδηγούντα κόστη (cost drivers).

Σε τελικό στάδιο, συνήθως, προστίθεται ένα ποσό για απρόοπτα έξοδα, για την εξισορρόπηση της αβεβαιότητας που συνοδεύει την εκτίμηση, πριν από τη σύνταξη της τελικής Έγκρισης Εκτέλεσης Δαπανών (αναλύεται στο 6^ο Κεφάλαιο). Τελικά, ο προϋπολογισμός διαβιβάζεται στη διοίκηση προς έγκριση.

5.1. Εκτίμηση συνολικού κόστους

Το συνολικό κόστος της γεώτρησης μπορεί να εκτιμηθεί από την σχέση:

$$C_S = C_i + C_o \quad (5.1)$$

όπου :

C_S : το συνολικό κόστος της γεώτρησης, σε \$/ft

C_i : το κόστος διάτρησης για κάθε υπό εξέταση κοπτικό i , σε \$/ft

C_o : όλα τα υπόλοιπα κόστη για την διάτρηση μια μονάδας μήκους (1 πόδι), όπως: κόστος σωλήνωσης, ρευστού διάτρησης, υπηρεσιών τσιμέντωσης, διαγραφιών και δειγματοληψίας, προετοιμασίας της περιοχής, μεταφορικών, κατανάλωσης καυσίμων, ολοκλήρωσης κλπ., όλα εκφραζόμενα σε \$/ft.

Το κόστος της γεώτρησης τείνει να αυξάνεται εκθετικά με το βάθος. Όπως έχει πολλές φορές αναφερθεί και έχει εκτενώς αναλυθεί στο 4^ο Κεφάλαιο της εκτίμησης του χρόνου εκτέλεσης μίας γεώτρησης, συνήθης πρακτική είναι η χρήση δεδομένων από προηγούμενες γεωτρήσεις σε ανάλογες γεωλογικά περιοχές. Οι μηχανικοί βασίζονται σε αυτά τα δεδομένα για να προβούν σε μία εκτίμηση του αναμενόμενου συνολικού κόστους όρυξης μιας νέας γεώτρησης. Όταν πολλά δεδομένα είναι διαθέσιμα για μια περιοχή, τότε αυτά μπορεί να παρασταθούν γραφικά και να αναπτυχθούν συσχετίσεις προσαρμογής. Συχνά επιλέγεται η θεώρηση πως η βασική συσχέτιση του κόστους με το βάθος δίδεται ως:

$$C_{dc} = a_{dc} e^{b_{dc} D} \quad (5.2)$$

όπου:

C_{dc} : το κόστος διάτρησης, σε \$

a_{dc} : σταθερά που εξαρτάται από τη θέση της γεώτρησης, σε \$

b_{dc} : σταθερά που εξαρτάται από τη θέση της γεώτρησης, σε ft^{-1}

D : συνολικό βάθος γεώτρησης, σε ft

Μέσω των δεδομένων, και γραφικά, δύναται να προσδιοριστούν οι σταθερές a_{dc} και b_{dc} , οι τιμές των οποίων μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι αντιπροσωπευτικές για την περιοχή. Στην παράγραφο 5.1.1 παρατίθεται μία μελέτη περίπτωσης για την εξήγηση της διαδικασίας μέσω της οποίας επιτυγχάνεται αυτό. Επομένως, η **Εξ. (5.2)** που προκύπτει για τις εκτιμώμενες για την περιοχή σταθερές μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση

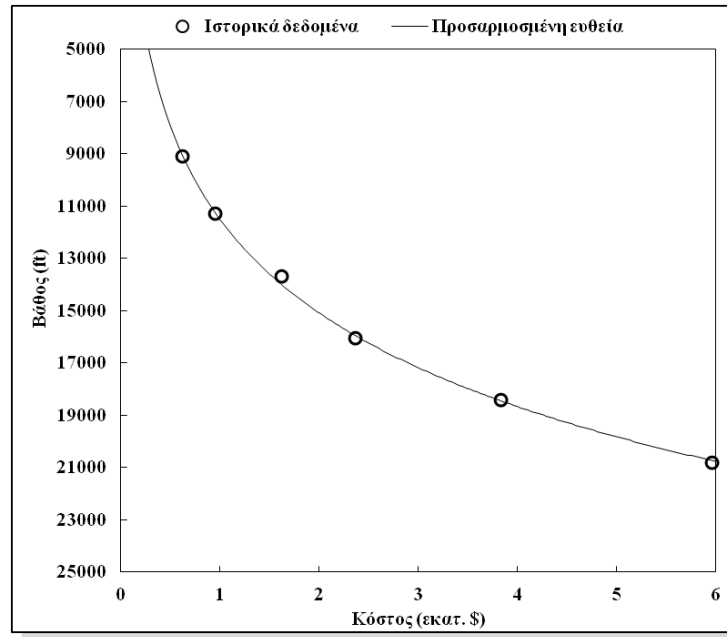
του αναμενόμενου κόστους μίας νέας γεώτρησης που θα ορυχθεί στην περιοχή. Βέβαια αυτή η εκτίμηση είναι πολύ αρχική, και πιθανά να χρησιμοποιηθεί για την εξέταση της βιωσιμότητας ενός έργου, την εξέταση αν θα εκτελεστεί μια νέα γεώτρηση και πόσο εκτιμάται ότι θα είναι το απαιτούμενο κεφάλαιο της επένδυσης.

5.1.1. Εκτίμηση του συνολικού κόστους της γεώτρησης (Μελέτη περίπτωσης)

Σύμφωνα με τους Bourgoyne και συν. (1991), μία πολύ καλή πηγή ιστορικών δεδομένων κόστους όρυξης γεωτρήσεων για την περιοχή της Αμερικής αποτελεί η ετήσια ανασκόπηση (Joint Association Survey) που εκδίδεται από το Αμερικανικό Ινστιτούτο Πετρελαίου (American Petroleum Institute-API) στο τέλος κάθε έτους. Η πρόσβαση σε αυτά τα δεδομένα είναι διαθέσιμη με οικονομικό τίμημα. Στον Πίνακα 5.1. παρέχονται δεδομένα από την ετήσια ανασκόπηση του 1985 για τις γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν στην περιοχή της Νότιας Λουιζιάνα των ΗΠΑ, όπως αυτά παρουσιάστηκαν από τους Bourgoyne και συν. (1991). Αυτά τα δεδομένα μπορούν να αξιοποιηθούν ώστε να γίνει μία εκτίμηση του τελικού κόστους εκτέλεσης μιας νέας γεώτρησης στην ίδια περιοχή.

Πίνακας 5.1. Μέσο κόστος, για το έτος 1978, της όρυξης και του εξοπλισμού των γεωτρήσεων στην περιοχή της Νότιας Λουιζιάνα (Bourgoyne Jr, Millheim, Chenevert, & Young Jr, 1991)

Βάθη (ft)	Ξηρές γεωτρήσεις (Dry holes)			Επιτυχείς-ολοκληρωμένες γεωτρήσεις (Completed wells)		
	Αριθμός γεωτρήσεων, n_i	Μέσο βάθος, D_i (ft)	Κόστος, C_i (\$)	Αριθμός γεωτρήσεων, n_i	Μέσο βάθος, D_i (ft)	Κόστος, C_i (\$)
0-1.249	1	1.213	64.289	0	-	-
1.250-2.499	1	1.542	65.921	9	1.832	201.416
2.499-3.749	8	3.015	126.294	20	3.138	212.374
3.750-4.999	11	4.348	199.397	20	4.347	257.341
5.000-7.499	43	6.268	276.087	47	6.097	419.097
7.500-9.999	147	8.954	426.336	117	9.070	614.510
10.000-12.499	228	11.255	664.817	165	11.280	950.971
12.500-14.499	125	13.414	1.269.210	110	13.659	1.614.422
15.000-17.499	54	16.133	2.091.662	49	16.036	2.359.144
17.500-19.999	21	18.521	3.052.213	17	18.411	3.832.504
>20.000	7	21.207	5.571.320	11	20.810	5.961.053



Σχήμα 5.2. Γραφική αναπαράσταση σε καρτεσιανό διάγραμμα των δεδομένων κόστους για την περιοχή της Νότιας Λουιζιάνα, στα οποία προσαρμόζεται εκθετική ευθεία.

Όπως παρατηρείται στον **Πίνακα 5.1**, οι περισσότερες γεωτρήσεις που ορύχθηκαν στην περιοχή ήταν σε βάθη άνω των 7500 ft, επομένως τα δεδομένα για αυτά τα βάθη είναι περισσότερα και πιθανά μπορούν να δώσουν πιο αντιπροσωπευτική εκτίμηση. Έτσι επιλέγεται η αναπαράσταση των δεδομένων κόστους συναρτήσει του μέσου βάθους για ένα διάστημα 7.500 ft έως 20.000 ft. Η γραφική απεικόνιση των δεδομένων μπορεί να γίνει είτε σε καρτεσιανό διάγραμμα (**Σχήμα 5.2.**) είτε σε ημιλογαριθμικό (**Σχήμα 5.3.**). Καθώς, όπως αναφέρθηκε, για την εκτίμηση του κόστους μπορεί να χρησιμοποιηθεί η Εξ. (5.2), η χρήση του ημιλογαριθμικού διαγράμματος εξυπηρετεί τους υπολογισμούς των σταθερών καθώς στα δεδομένα προσαρμόζεται ευθεία γραμμή. Αυτή δίδεται από εξίσωση της μορφής της (5.2) με μετατροπή της ως:

$$C_{dc} = a_{dc} e^{b_{dc} D} \Leftrightarrow \ln(C_{dc}) = \ln(a_{dc}) + b_{dc} \times D \Leftrightarrow$$

$$D = \frac{1}{b_{dc}} \ln(C_{dc}) - \frac{\ln(a_{dc})}{b_{dc}} \quad (5.3)$$

όπου :

C_{dc} : το κόστος διάτρησης, σε \$

a_{dc} : σταθερά που εξαρτάται από τη θέση της γεώτρησης, σε \$

b_{dc} : σταθερά που εξαρτάται από τη θέση της γεώτρησης, σε ft^{-1}

D : συνολικό βάθος γεώτρησης, σε ft

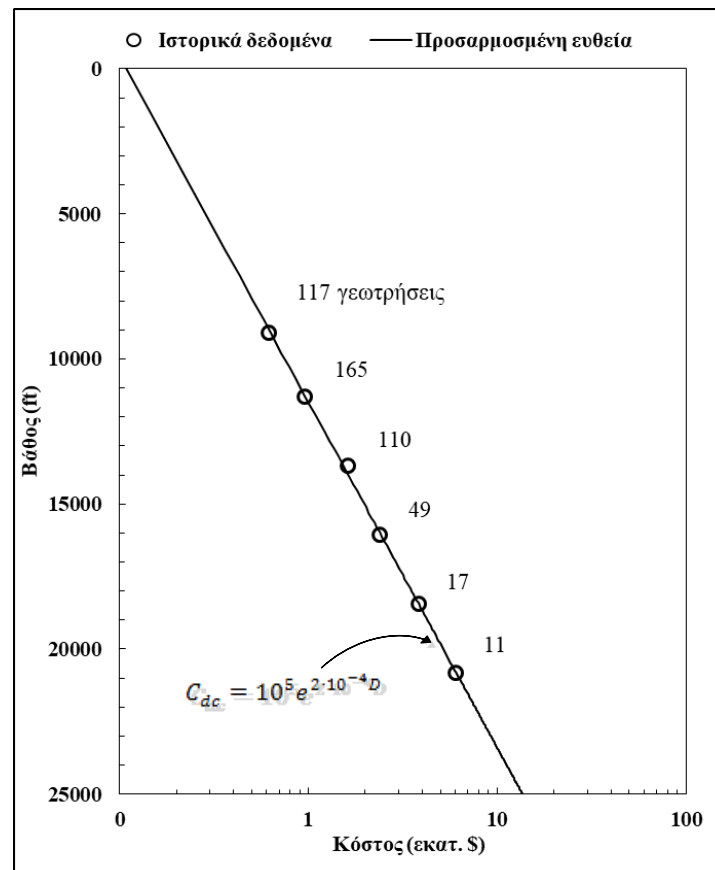
Η Εξ. (5.3) έχει γραμμική μορφή $y=ax+b$, όπου $y=D$, $x = \ln(C_{dc})$, $a = 1/b_{dc}$ και $b = -\ln(a_{dc})/b_{dc}$. Η ευθεία που προσαρμόζεται στα δεδομένα κόστους στο Σχήμα 5.3.

είναι της μορφής αυτής. Έτσι δύναται να εκτιμηθούν οι σταθερές a_{dc} και b_{dc} γραφικά.

Όσον αφορά την σταθερά a_{dc} , αυτή προκύπτει ως η τιμή του κόστους σε βάθος $D = 0$ στην Εξ. (5.3):

$$D = \frac{1}{b_{dc}} \ln(C_{dc}) - \frac{\ln(a_{dc})}{b_{dc}} = 0 \Rightarrow \frac{1}{b_{dc}} \ln(C_{dc}) = \frac{\ln(a_{dc})}{b_{dc}} \Rightarrow \ln(C_{dc}) = \ln(a_{dc}) \Rightarrow C_{dc} = a_{dc}$$

Αυτό φαίνεται στο διάγραμμα ως το σημείο που η ευθεία τέμνει τον άξονα του ρυθμού προχώρησης στο σημείο 0. Η τιμή της σταθεράς για τα δεδομένα της συγκεκριμένης γεώτρησης προκύπτει κατά προσέγγιση ίση με $a_{dc} = 1 \cdot 10^5 \$$.



Σχήμα 5.3. Προσαρμοσμένη καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων στα δεδομένα ολοκληρωμένων γεωτρήσεων (1978), βάθους μεγαλύτερου των 7.500 ft στην περιοχή της Νότιας Λουιζιάνα.

Για την εκτίμηση της σταθεράς b_{dc} μπορεί να χρησιμοποιηθεί η Εξ. (5.3), όπως μετασχηματίζεται για την εκτιμώμενη τιμή της a_{dc} , επιλύοντας για δύο τυχαία σημεία κόστους και μέσου βάθους από τον Πίνακα 5.1. Έστω επιλέγεται κόστος $C_{dc} = 614.510 \$$ για γεωτρήσεις μέσου βάθους $D = 9.070 ft$. Η σταθερά b_{dc} προκύπτει ως:

$$D = \frac{1}{b_{dc}} \ln(C_{dc}) - \frac{\ln(a_{dc})}{b_{dc}} \Leftrightarrow b_{dc} = \frac{\ln(C_{dc}) - \ln(a_{dc})}{D} = \frac{\ln(614.510) - \ln(1 \cdot 10^5)}{9.070 ft} \Rightarrow$$
$$b_{dc} = 2 \cdot 10^{-4} ft^{-1}$$

Μπορεί πλέον να οριστεί η εξίσωση για την εκτίμηση του κόστους γεωτρήσεων στην περιοχή της Νότιας Λουιζιάνα:

$$C_{dc} = 10^5 e^{2 \cdot 10^{-4} D} \quad (5.4)$$

Έχοντας στη διάθεση του αυτή την εξίσωση ο μηχανικός, έχοντας σχεδιάσει την γεώτρηση, ή έστω γνωρίζοντας το βάθος στόχο αυτής, δύναται να εκτιμήσει ποιο θα είναι κατά προσέγγιση το κόστος της.

5.2. Κόστος διάτρησης επιμέρους τμημάτων της γεώτρησης ανά κοπτικό άκρο

Το κόστος διάτρησης αποτελεί το μεγαλύτερο και βασικότερο ενός γεωτρητικού έργου. Μπορεί να αποτελέσει από το 30-40%, για υπαίθριες γεωτρήσεις, έως το 60%, για υπεράκτιες, του συνολικού κόστους εκτέλεσης μίας γεώτρησης. Έτσι, η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην αναλυτική εκτίμηση του κόστους διάτρησης.

Βασικό στοιχείο του κόστους διάτρησης αποτελεί το κόστος και η απόδοση των κοπτικών άκρων που χρησιμοποιούνται. Θα πρέπει να αναφερθεί και πάλι ότι σημαντική πηγή πληροφοριών για την εκτίμηση του κόστους και ειδικά του μέρους που αφορά στο κόστος της διάτρησης, είναι τα δεδομένα διάτρησης από γεωτρήσεις σε ανάλογες γεωλογικά περιοχές. Η ανάλυση των στοιχείων παρέχει τη δυνατότητα να αξιολογηθεί η διατρητική συμπεριφορά των κοπτικών που είχαν χρησιμοποιηθεί (χρόνος διάτρησης, ταχύτητα προχώρησης) έτσι ώστε η νέα γεώτρηση να βασίζεται στη βέλτιστη επιλογή των κοπτικών. Μια αρκετά αντιπροσωπευτική εκτίμηση του κόστους διάτρησης (\$/ft) για κάθε κοπτικό άκρο δίδεται από την ακόλουθη απλή σχέση:

$$C_i = \frac{[C_b + C_r \times (t_d + t_c + t_t)]}{\Delta D} \quad (5.5)$$

όπου:

C_i : το κόστος διάτρησης για κάθε υπό εξέταση κοπτικό i , σε \$/ft

C_b : το κόστος (αξία) κοπτικού i , σε \$/ft

C_r : η ωριαία αποζημίωση του γεωτρήσανου, σε \$/hr

t_d : ο χρόνος διάτρησης του κοπτικού i , σε hr

t_t : ο χρόνος «μανούβρας», σε hr

t_c : ο χρόνος σύνδεσης διατρητικών στελεχών, σε hrs

ΔD : το διάστημα που διατρήθηκε από το κοπτικό i , σε ft

Ο χρόνος σύνδεσης διατρητικών στελεχών μπορεί να μην εκτιμάται χωριστά από τους υπόλοιπους χρόνους μανούβρας, όπως εξηγήθηκε στο 4^ο Κεφάλαιο, κάτι το οποίο συνηθίζεται. Η εξίσωση μετασχηματίζεται στην Εξ. (5.6), και είναι αυτή που χρησιμοποιείται στην συνέχεια του κεφαλαίου:

$$C_i = \frac{[C_b + C_r \times (t_d + t_t)]}{\Delta D} \quad (5.6)$$

Στην **Εξ. (5.6)** η παράμετρος C_i αντιπροσωπεύει το κόστος διάτρησης τμήματος ΔD , εκφρασμένο σε \$ ανά μονάδα διατρυθέντος μήκους. Η ωριαία αποζημίωση του γεωτρώπανου C_r , περιλαμβάνει το λειτουργικό κόστος, καθώς και το κόστος ενοικίασης ή την απόσβεση αγοράς του.

Η χρήση της μεθοδολογίας αυτής επιτρέπει την ανάλυση των δεδομένων που είναι στη διάθεση του μηχανικού γεωτρήσεων, ώστε να επιλέξει το κοπτικό εκείνο το οποίο παρουσιάζει το μικρότερο κόστος λειτουργίας, δηλαδή το μικρότερο C_i . Επίσης μπορεί να αξιολογήσει εναλλακτικά σενάρια για τη χρήση άλλης ισχύος γεωτρώπανο ή άλλου τύπου κοπτικό ή άλλο περιβάλλον διάτρησης (Σταματάκη, 2003).

Η εξίσωση αυτή μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και κατά την διαδικασία της διάτρησης, ώστε να επιλεγεί πότε θα γίνει η αλλαγή του χρησιμοποιούμενου κοπτικού. Το κοπτικό θα πρέπει, θεωρητικά, να αλλαχθεί όταν το κόστος ανά πόδι αρχίζει να αυξάνει .

5.2.1. Επιλογή κοπτικών με βάση ιστορικά δεδομένα

Προγραμματίζεται μια νέα γεώτρηση μέσης διαμέτρου. Τα δεδομένα της διάτρησης από δύο γεωτρήσεις με ανάλογες διαμέτρους που έχουν πραγματοποιηθεί στην ευρύτερη περιοχή για κάποιο βάθος δίνονται στον **Πίνακα 5.2**. Το κόστος του γεωτρώπανου για την νέα γεώτρηση είναι 12.000 \$ ανά ημέρα.

Πίνακας 5.2. Δεδομένα κόστους κοπτικών ολοκληρωμένων γεωτρήσεων (Σταματάκη, 2003)

	Βάθος εισόδου κοπτικού (ft)	Βάθος εξόδου κοπτικού (ft)	Χρόνος διάτρησης (hrs)	Κόστος κοπτικού (\$)
Γεώτρηση Α				
Κοπτικό 1	6.000	7150	23	1650
Κοπτικό 2	7.150	8000	20	1650
Γεώτρηση Β				
Κοπτικό 1	6.000	8.000	42	2980

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω δεδομένα και την **Εξ. (5.6)** μπορεί να εκτιμηθεί το πιο συμφέρον πρόγραμμα κοπτικών από οικονομικής απόψεως. Για κάθε κοπτικό εφαρμόζεται η σχέση (5.6). Όλες οι παράμετροι είναι γνωστές εκτός του χρόνου μανούβρας. Από τον **Πίνακα 4.3**, μπορούν να εκτιμηθούν οι χρόνοι αυτοί. Η λειτουργία

του γεωτρώπανου λαμβάνεται σε 24/ωρη βάση, επομένως, η ωριαία αποζημίωση του είναι, $Cr = 500 \$/hr$.

Με παρεμβολή στα δεδομένα του **Πίνακα 4.3.**, εκτιμάται πως ο χρόνος μανούβρας θα είναι $t_t = 6,0325$ hrs. Επομένως, προκύπτει πως το κόστος ανά γεώτρηση και κοπτικό είναι ίσο με:

Γεώτρηση A – κοπτικό 1:

$$C_{1A} = \frac{[1.650 + 500\$/hr \times (23hrs + 6,0325hrs)]}{(7.150 - 6.000)ft} \Rightarrow C_{1A} = 14,06\$/ft$$

Γεώτρηση A – κοπτικό 2:

$$C_{2A} = \frac{[1.650 + 500\$/hr \times (20hrs + 6,0325hrs)]}{(8.000 - 7.150)ft} \Rightarrow C_{2A} = 17,3\$/ft$$

Γεώτρηση B – κοπτικό 1:

$$C_{1B} = \frac{[2980 + 500\$/hr \times (42hrs + 6,0325hrs)]}{(8.000 - 6.000)ft} \Rightarrow C_{1B} = 13,6\$/ft$$

Εάν χρησιμοποιηθεί η γεώτρηση A, το συνολικό κόστος του τμήματος των 2000 ft είναι: $(1150 \times 14,06) + (850 \times 17,3) = 30.874$ \$. Εάν χρησιμοποιηθεί η γεώτρηση B, το συνολικό κόστος του τμήματος των 2000 ft είναι: $(2000 \times 13,6) = 27.200$ \$. Επομένως, το πρόγραμμα της γεώτρησης B είναι οικονομικότερο για να εφαρμοστεί στο εύρος του διαστήματος (βάθος) που έχει εξεταστεί.

5.2.2. Επιλογή κοπτικών λαμβάνοντας υπόψη και αλλαγή του περιβάλλοντος της διάτρησης

Στην αξιολόγηση των κοπτικών άκρων επιδρά και η λάσπης διάτρησης η οποία χρησιμοποιείται. Η αύξηση της πυκνότητας της λάσπης διάτρησης προκαλεί μείωση της ταχύτητας διάτρησης, λόγω της συμπίεσης των σχηματισμών από την άσκηση μεγαλύτερης υδροστατικής πίεσης. Ισχύει δε η σχέση:

$$\rho_\alpha \log R_\alpha^c = \rho_\beta \log R_\beta^c \quad (5.7)$$

όπου:

ρ : η πυκνότητα της λάσπης

R : η ταχύτητα διάτρησης

c: σταθερά με τιμές : $c=1,5$ για μαλακούς σχηματισμούς
 $c=1$ για ενδιάμεσους σχηματισμούς
 $c=1,5$ για σκληρούς σχηματισμούς

Αν εξετάσουμε για παράδειγμα δύο κοπτικά άκρα για τα οποία γνωρίζουμε τις συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν μπορούμε να εκτιμήσουμε ποιο κοπτικό είναι οικονομικότερο για να χρησιμοποιηθεί στη νέα γεώτρηση σε ανάλογο βάθος και τύπο σχηματισμών, εάν, σύμφωνα με το πρόγραμμα, το ρευστό διάτρησης που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί έχει πυκνότητα 13,5 lb/gal. Τα δεδομένα για τα κοπτικά δίνονται στον **Πίνακα 5.3**.

Πίνακας 5.3. Δεδομένα χρήσης κοπτικών άκρων σε μία εξεταζόμενη περιοχή (Σταματάκη, 2003)

Κοπτικό 1	Κοπτικό 2
Κόστος 3.500 \$	Κόστος 750 \$
Χρόνος διάτρησης 149 hr	Χρόνος διάτρησης 25 hr
Ταχύτητα διάτρησης 7,3 ft/hr	Ταχύτητα διάτρησης 9,6 ft/hr
Χρόνος μανούβρας 6,5 hr για το βάθος που τελικά έφτασε το κοπτικό και ισχύει ότι μέσος χρόνος μανούβρας: 1 hr/1000 ft	Χρόνος μανούβρας 1 hr/1000 ft
Αποζημίωση γεωτρυπάνου 300 \$/hr	Αποζημίωση γεωτρυπάνου 300 \$/hr
Το ρευστό διάτρησης που χρησιμοποιήθηκε στη γεώτρηση κατά τη λειτουργία του κοπτικού είχε πυκνότητα $\rho_1=15,8$ lb/gal.	Το ρευστό διάτρησης που χρησιμοποιήθηκε στη γεώτρηση κατά τη λειτουργία του κοπτικού είχε πυκνότητα $\rho_2=13,5$ lb/gal.

Εάν το κοπτικό 1 λειτουργήσει στη νέα γεώτρηση όπου κυκλοφορεί ρευστό με πυκνότητα 13,5 lb/gal, η ταχύτητα διάτρησης θα είναι μεγαλύτερη από αυτήν που το συγκεκριμένο κοπτικό είχε στη γεώτρηση που λειτούργησε (λόγω μικρότερης πυκνότητας). Αυτή η ταχύτητα διάτρησης θα είναι:

$$\rho_a \log R_a^c = \rho_b \log R_b^c \Rightarrow 15,8 \log 7,3 = 13,5 \log R_b \quad (c=1, \text{ ενδιάμεσοι σχηματισμοί})$$

Οπότε: $R_b = 10,2$ ft. Επομένως, για χρόνο λειτουργίας του κοπτικού 149 hrs, το διάστημα που θα διατρήσει θα είναι:

$$D_{1\beta} = t \times R_b = 149 \times 10,2 \Rightarrow D_{1\beta} = 1.520 \text{ ft}$$

Το D_a , το διάστημα που διέτρυσε το κοπτικό στη γεώτρηση που λειτούργησε, ήταν:

$$D_{1\alpha} = t \times R_a = 149 \times 7,3 \Rightarrow D_{1\alpha} = 1.088 \text{ ft}$$

Δηλαδή το κοπτικό σε αυτή την περίπτωση διέτρυσε 432 ft λιγότερα. Με βάση αυτά, ο χρόνος μανούβρας στη νέα γεώτρηση θα είναι:

$$t_{t(1\beta)} = 6,5 + 0,432 = 6,932 \text{ hrs} \quad (\text{ισχύει } 1 \text{ hr} / 1000 \text{ ft})$$

Επομένως, το κόστος θα είναι:

$$C_{1\beta} = \frac{[3.500 + 300\$/\text{hr} \times (149\text{hrs} + 6,932\text{hrs})]}{1.520\text{ft}} \Rightarrow C_{1\beta} = \mathbf{33,07\$/ft}$$

Το κοπτικό 2 θα λειτουργήσει σε περιβάλλον όμοιο με αυτό που ισχύει για τα δεδομένα των κοπτικών που εξετάστηκαν, άρα, δεν υπάρχει αλλαγή ταχύτητας διάτρησης. Τότε:

$D_2 = 25 \times 9,6 = 240 \text{ ft}$, δηλαδή $(1088-240) = 848 \text{ ft}$ λιγότερα από το διάστημα που είχε διατρέψει το κοπτικό 1. Αφού το κοπτικό 2 έχει το ίδιο βάθος εισόδου με το κοπτικό 1 και γνωρίζουμε τον χρόνο μανούβρας του 1 και το διάστημα του 2, προκύπτει ότι ο χρόνος μανούβρας για το κοπτικό 2 θα είναι:

$$t_{t(2)} = 6,5 - 0,848 \text{ ft} = 5,65 \text{ hrs}$$

Επομένως, το κόστος θα είναι:

$$C_2 = \frac{[750 + 300\$/\text{hr} \times (25\text{hrs} + 5,65\text{hrs})]}{240\text{ft}} \Rightarrow C_2 = \mathbf{41,4\$/ft}$$

Συγκρίνοντας τα κόστη είναι εμφανές πως το 1^ο κοπτικό είναι οικονομικότερο, άρα προτιμάται για χρήση στη νέα γεώτρηση.

Σημειώνεται πως αν δε ληφθεί υπόψη η επίδραση τ του περιβάλλοντος της διάτρησης στη νέα γεώτρηση, και οι υπολογισμοί γίνουν για το κοπτικό 1 μηχανιστικά, τότε προκύπτει:

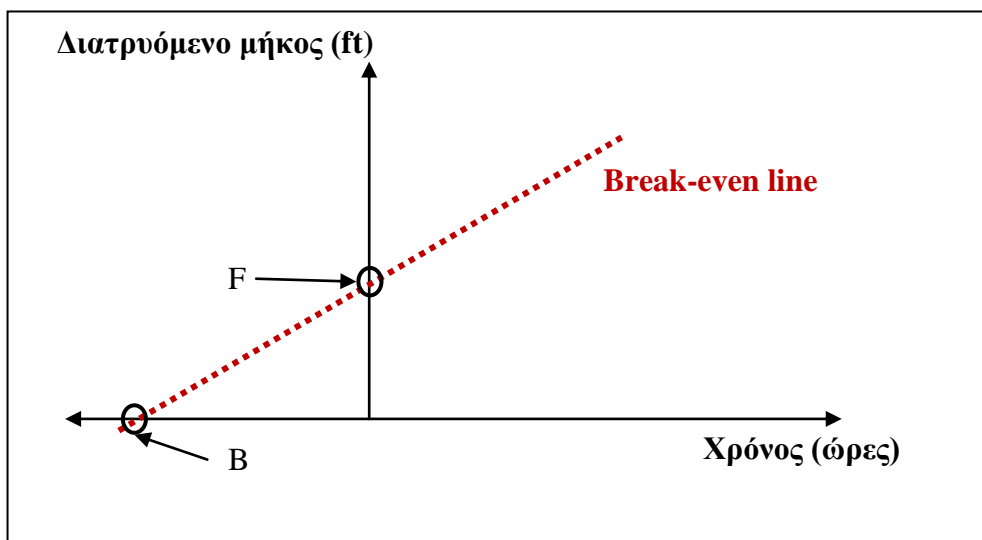
$$C_{1\beta} = \frac{[3500 + 300\$/\text{hr} \times (149\text{hrs} + 6,5\text{hrs})]}{1088\text{ft}} \Rightarrow C_{1\beta} = \mathbf{43,6\$/ft}$$

Σε αυτή την περίπτωση θα γινόταν, λανθασμένα, επιλογή του 2^{ου} κοπτικού ως οικονομικότερου, κάτι που θα οδηγούσε σε αυξημένα κόστη διάτρησης.

5.2.3. Επιλογή κοπτικών με βάση την ανάλυση νεκρού σημείου (break-even analysis)

Η ανάλυση νεκρού σημείου χρησιμοποιείται συνήθως για την εξέταση του χρόνου, και του αντίστοιχου βάθους, που κρίνεται οικονομικότερη η αντικατάσταση του χρησιμοποιούμενου κοπτικού άκρου με κάποιο άλλο διαφορετικής αξίας. Η σύγκριση βασίζεται σε διάγραμμα όπως αυτό του Σχήματος 5.4., όπου καταγράφεται το διατρυόμενο μήκος από το κοπτικό συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας του γεωτρύπανου.

Θεωρείται πως το ουδέτερο σημείο (break-even point) βρίσκεται εκεί που το **Κόστος νέου κοπτικού = Κόστος παλιού κοπτικού**. Και για τα δύο κοπτικά θεωρείται πως χρειάζεται ο ίδιος χρόνος μανούβρας για την αλλαγή τους.



Σχήμα 5.4. Γραφική παράσταση ανάλυσης νεκρού σημείου κοπτικών άκρων (Rabia, 2002)

Η κατασκευή του διαγράμματος βασίζεται την εξίσωση (5.6) για την εκτίμηση του κόστους διάτρησης.

1. Αρχικά η εξίσωση μετασχηματίζεται ώστε να πάρει τη μορφή γραμμικής εξίσωσης $y=ax+b$, όπου $y= \Delta D$ και $x=t_d$:

$$C_i = \frac{[C_b + C_r \times (t_d + t_t)]}{\Delta D} \Leftrightarrow C_i \times \Delta D = C_b + C_r \times (t_d + t_t) \Leftrightarrow$$

$$\Delta D = \frac{C_b + C_r \times t_t}{C_i} + \frac{C_r \times t_d}{C_i} \quad (5.8)$$

2. Εν συνεχεία, για τον υπολογισμό του συνολικού χρόνου (σε ώρες) χρήσης του γεωτρύπανου που αντιστοιχεί στο κόστος του νέου κοπτικού, πριν την έναρξη της

διάτρησης, επιλύεται η Εξ. (5.6) ως προς t_d και για $\Delta D = 0$ προκύπτει το σημείο που συμβολίζεται με το σημείο B στο διάγραμμα:

$$\Delta D = \frac{C_b + C_r \times t_t}{C_i} + \frac{C_r \times t_d}{C_i} = 0 \Rightarrow \frac{C_r \times t_d}{C_i} = -\frac{C_b + C_r \times t_t}{C_i} \Rightarrow$$

$$C_r \times t_d = -C_b + C_r \times t_t \Rightarrow t_d = -\frac{C_b + C_r \times t_t}{C_r} \Rightarrow$$

$$B = t_d = -\left(\frac{C_b}{C_r} + t_t\right) \quad (5.9)$$

3. Στη συνέχεια, για τον προσδιορισμό του σημείου F, δηλαδή το βάθος διάτρησης όπου το κόστος του νέου και του παλαιού κοπτικού είναι ίδιο, χρησιμοποιείται η Εξ. (5.6) για $t_d = 0$ και έτσι προκύπτει η σχέση:

$$F = \Delta D = \frac{C_b + C_r \times t_t}{C_i} \quad (5.10)$$

Έχοντας καθορίσει αυτά τα δύο σημεία, ενώνοντας τα σχηματίζεται η ευθεία νεκρού σημείου (break-even line). Η ευθεία αυτή εκφράζει την ισοδυναμία των εναλλακτικών λύσεων. Οποιοσδήποτε συνδυασμός βάθους και χρόνου που βρίσκεται επάνω σε αυτή την ευθεία αποτελεί νεκρό σημείο. Πάνω από την ευθεία, το νέο κοπτικό θα έχει μικρότερο κόστος διάτρησης ανά πόδι σε σχέση με το παλιό κοπτικό, ενώ κάτω από την ευθεία το νέο κοπτικό θα είναι ακριβότερο.

Παράδειγμα εφαρμογής ανάλυσης νεκρού σημείου

Στην περίπτωση μιας γεώτρησης, ένα από τα κοπτικά που χρησιμοποιήθηκε διέτρησε 2.461 ft ασβεστόλιθου σε καθαρό χρόνο διάτρησης 150 ώρες. Ο χρόνος μανούβρας που καταναλώθηκε ήταν 8 ώρες ενώ το κόστος του κοπτικού ανήρθε στα 3.000 \$. Το κόστος του χρησιμοποιούμενου γεωτρύπανου ανέρχεται στα 900 \$ την ώρα.

Από τους μηχανικούς προτείνεται η αντικατάσταση αυτού του κοπτικού από ένα άλλο καλύτερης ποιότητας αλλά κόστους 8.5000 \$. Για την απόφαση σχετικά με την προχώρηση σε αντικατάσταση του κοπτικού χρησιμοποιείται η ανάλυση νεκρού σημείου.

Αρχικά με βάση τα στοιχεία που δίνονται υπολογίζεται το σημείο B μέσω της Εξίσωσης (5.9) ως:

$$B = -\left(\frac{C_b}{C_r} + t_t\right) = -\left(\frac{8.500\$}{900\$/hr} + 8hrs\right) \Rightarrow B = 17,4 hrs$$

Στη συνέχεια, μέσω της Εξίσωσης (5.10) υπολογίζεται και το σημείο F. Για τον υπολογισμό του απαιτείται πρώτα η εκτίμηση του κόστους διάτρησης ανά πόδι για το προηγούμενο κοπτικό άκρο. Με χρήση της Εξίσωσης (5.6), προκύπτει :

$$C_1 = \frac{[C_b + C_r \times (t_d + t_t)]}{\Delta D} = \frac{3.000\$ + 900\$/hr(150 + 8)hrs}{2.461 ft} \Rightarrow C_1 = 59\$/ft$$

Επομένως, για το σημείο F προκύπτει:

$$F = \frac{C_b + C_r \times t_t}{C_1} = \frac{8.500\$ + 900\$/hr \times 8hrs}{59\$/ft} \Rightarrow F = 266 ft$$

5.2.4. Επιλογή κοπτικών με βάση την ειδική ενέργεια

Η ειδική ενέργεια αποτελεί ένα μέγεθος που προτάθηκε από τον R. Teale (1965), ήδη από τη δεκαετία του '60, ως μια χρήσιμη παράμετρος για τη μελέτη της θραύσης του πετρώματος από ένα κοπτικό εργαλείο, σε μια προσπάθεια συσχέτισης των ιδιοτήτων του εξορυσσόμενου πετρώματος με το μέγεθος των παραγόμενων θρυμμάτων. Η ειδική ενέργεια προσφέρει, επίσης, μια γρήγορη μέθοδο για τον προσδιορισμό της **διατρησιμότητας (drillability)** ενός σχηματισμού.

Σύμφωνα με τον Teale, ως ειδική ενέργεια (specific energy - SE) ορίζεται το έργο που απαιτείται για την αποσύνθεση (όρυξη) μιας μονάδας όγκου πετρώματος.

Η εξίσωση της ειδικής ενέργειας προκύπτει από τη θεώρηση της **μηχανικής ενέργειας, E, η οποία καταναλώνεται επί του κοπτικού άκρου σε ένα λεπτό** και η οποία εκφράζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$E = WOB \times 2\pi R \times N \quad (5.11)$$

όπου:

WOB: το βάρος επί του κοπτικού (weight on bit) (lb)

R : η ακτίνα του κοπτικού (in)

N : η ταχύτητα περιστροφής του κοπτικού (rpm – rounds per minute)

Αντίστοιχα, ο **όγκος του πετρώματος, V, που απομακρύνεται σε ένα λεπτό** δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$V = \pi R^2 \times ROP \quad (5.12)$$

όπου:

ROP: ο ρυθμός προχώρησης της γεώτρησης (rate of penetration) (ft/h)

Η εξίσωση της ειδικής ενέργειας, SE, προκύπτει από τον λόγο της μηχανικής ενέργειας (E) που καταναλώνεται επί του κοπτικού άκρου σε ένα λεπτό [εξίσωση.(5.11)], προς τον όγκο του πετρώματος που εξορύσσεται σε ένα λεπτό, V [εξίσωση (5.12)] :

$$SE = \frac{E}{V} = \frac{WOB \times 2\pi R \times N}{\pi R^2 \times ROP} \frac{lb \times in \times 1/min}{in^2 \times ft/hr \times hr/60min \times 12in/ft} \Rightarrow$$

$$SE = 10 \frac{WOB \times N \text{ lb} \times N}{R \times ROP \text{ in}^3} \quad (5.13)$$

Αντικαθιστώντας το R με D/2, όπου D η διάμετρος του κοπτικού, η Εξ. (5.13) παίρνει τη μορφή:

$$SE = 20 \frac{WOB \cdot N}{D \cdot ROP}, \text{ σε } in \cdot lb/in^3 \quad (5.14)$$

Στο Μετρικό Σύστημα μονάδων η εξίσωση έχει τη μορφή:

$$SE = 2,35 \frac{WOB \cdot N}{D \cdot ROP}, \text{ σε } MJ/m^3 \quad (5.15)$$

όπου το βάρος επί του κοπτικού (WOB) δίνεται σε kg, η διάμετρος του κοπτικού (D) σε mm και ο ρυθμός προχώρησης της γεώτρησης (ROP) σε m/h.

Σημειώνεται ότι στις εξισώσεις (5.14) και (5.15) ο όρος WOB/D εκφράζει πρακτικά το βάρος ανά μονάδα διαμέτρου του κοπτικού άκρου (lb/in ή kg/mm).

Ωστόσο, η ειδική ενέργεια συναρτάται σε ορισμένο βαθμό και από τις ιδιότητες του πετρώματος. Αυτό σημαίνει ότι για ένα σχηματισμό δεδομένης αντοχής, ένα κοπτικό για μαλακούς σχηματισμούς θα δώσει τελείως διαφορετική τιμή ειδικής ενέργειας (SE), από ό,τι ένα κοπτικό για σκληρούς σχηματισμούς. Συνεπώς, το κοπτικό που καταναλώνει τη μικρότερη ειδική ενέργεια σε ένα τμήμα της γεώτρησης είναι και το καταλληλότερο κοπτικό για τη διάτρηση του εν λόγω σχηματισμού, αφού αποτελεί την πιο οικονομική και γρήγορη λύση.

Βέβαια, αντιστρέφοντας την παραπάνω θεώρηση, μπορούμε να πούμε ότι για δεδομένο τύπο κοπτικού που διατρύει δύο διαφορετικούς σχηματισμούς, ο σχηματισμός που απαιτεί τη μικρότερη ειδική ενέργεια, για την όρυξη ενός συγκεκριμένου όγκου του, είναι και ο πιο ευδιάτρητος σχηματισμός.

Η Εξ. (5.14) δείχνει, επίσης, ότι για ένα δεδομένο τύπο κοπτικού που χρησιμοποιείται σε ένα σχηματισμό σταθερής αντοχής, η ειδική ενέργεια μπορεί να θεωρηθεί σταθερή για οποιοδήποτε συνδυασμό των τιμών WOB·N (βάρος επί του κοπτικού x ταχύτητα περιστροφής του). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι αλλαγές στο γινόμενο WOB·N οδηγούν συνήθως σε αυξημένες τιμές του ρυθμού προχώρησης (ROP) (υπό την προϋπόθεση ότι εφαρμόζεται το κατάλληλο υδραυλικό πρόγραμμα όρυξης της γεώτρησης). Ωστόσο, ο ρυθμός προχώρησης (ROP) επηρεάζεται σημαντικά από τις αλλαγές στη τιμή του γινομένου WOB·N και για ένα δεδομένο τύπο κοπτικού υπάρχει θεωρητικά ένας άπειρος αριθμός τιμών του ROP για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς τιμών WOB·N.

Από τα παραπάνω συνάγεται ότι, η ειδική ενέργεια μετράει άμεσα την απόδοση του κοπτικού σε ένα συγκεκριμένο σχηματισμό και αποτελεί ένδειξη της αλληλεπίδρασης μεταξύ κοπτικού και πετρώματος. Επιπροσθέτως, το γεγονός ότι η ειδική ενέργεια, συγκρινόμενη με τον ρυθμό προχώρησης (ROP), είναι λιγότερο ευαίσθητη στις αλλαγές του γινομένου WOB·N, την καθιστά ένα πρακτικό εργαλείο για την επιλογή κοπτικού. Η ειδική ενέργεια πρακτικά αντανακλά τη ευκολία ή δυσκολία με την οποία διατρύεται λενας σχηματισμός γνωστή και ως «διατρησιμότητα».

Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω σχετικά με την ειδική ενέργεια, καθίσταται προφανές ότι η διατρησιμότητα (drillability) είναι μέγεθος αντιστρόφως ανάλογο της ειδικής ενέργειας. Δηλαδή, όσο λιγότερη ειδική ενέργεια απαιτείται από ένα κοπτικό για τη διάτρηση ενός σχηματισμού, τόσο μεγαλύτερη είναι η διατρησιμότητα που επιτυγχάνει το κοπτικό στον σχηματισμό αυτό. Η ποιοτική αυτή σχέση μπορεί να εκφραστεί ποσοτικά ως εξής:

$$k \propto \frac{1}{SE} \quad (5.16)$$

Η διατρησιμότητα, K, ενός σχηματισμού υπολογίζεται γενικά από την ακόλουθη εμπειρική σχέση:

$$k = \frac{ROP}{\left(\frac{WOB}{D}\right) \times N} = \frac{D \times ROP}{WOB \times N} \quad (5.17)$$

όπου:

ROP : ο ρυθμός προχώρησης της γεώτρησης (ft/h)

WOB : το βάρος επί του κοπτικού (η πυκνότητα του νερού (lb)

D : η ακτίνα του κοπτικού (in)

N : η ταχύτητα περιστροφής του κοπτικού (rpm – rotations per minute)

Συσχετίζοντας τις εξισώσεις (5.16) και (5.17) με την εξίσωση (5.14) προκύπτει ότι:

$$k = \frac{20}{SE} \quad (5.18)$$

Αν και η εμπειρική σχέση προσδιορισμού της διατρησιμότητας βασίζεται μόνο σε παραμέτρους που σχετίζονται με το κοπτικό (βάρος επί του κοπτικού, διάμετρος κοπτικού, ταχύτητα περιστροφής), μπορεί, υπό ορισμένες προϋποθέσεις, να χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση και της διατρησιμότητας των σχηματισμών. Κι αυτό διότι, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα για την ειδική ενέργεια, ο ρυθμός προχώρησης (*ROP*) επηρεάζεται σημαντικά από την αλληλεπίδραση κοπτικού-πετρώματος και, συνεπώς, από τον τύπο, τη σύσταση και τις ιδιότητες του υπό διάτρηση σχηματισμού.

5.3. Κόστος δειγματοληψίας

Όπως αναφέρθηκε, η δειγματοληψία αποτελεί εργασία η οποία εκτελείται κατά την διάρκεια της διάτρησης και, ανάλογα με την διάρκεια της, μπορεί να αυξήσει το τελικό κόστος της γεώτρησης καθώς η διάτρησης δεν συνεχίζεται μέχρι την ολοκλήρωσή της.

Ανάλογα με το κόστος διάτρησης, το κόστος δειγματοληψίας δύναται να εκτιμηθεί από την Εξίσωση:

$$C_{cf} = \left(\frac{C_{cb} + C_r(t_{ct} + t_{cr} + t_{cc} + t_{crl} + t_{co})}{\Delta D_{ROP}} \right) \frac{1}{R_c} \quad (5.19)$$

όπου:

C_{cb} : κόστος κοπτικού δειγματοληψίας, σε \$/hr

C_r : η ωριαία αποζημίωση του γεωτρώπανου, σε \$/hr

t_{ct} : ο «χρόνος μανούβρας» ενός κοπτικού δειγματοληψίας, σε hrs

t_{cr} : ο χρόνος περιστροφής του κοπτικού άκρου δειγματοληψίας, σε hrs

t_{cc} : ο χρόνος σύνδεσης διατρητικών στελεχών για την δειγματοληψία, σε hrs

t_{crl} : ο χρόνος ανάκτησης και τοποθέτησης του πυρήνα στο κουτί για μεταφορά, σε hrs

t_{co} : χρόνος δειγματοληψίας, σε hrs

ΔD_{ROP} : το τμήμα του σχηματισμού στο οποίο εκτελείται η δειγματοληψία.

Αποτελεί συνάρτηση του ρυθμού διάτρησης (ROP), σε ft, και δίνεται από την σχέση:

$$\Delta D_{ROP} = \int_0^{t_{cr}} ROP dt \quad (5.20)$$

όπου:

ROP : ο ρυθμός προχώρησης , σε ft/hr

R_c : ο βαθμός δειγματοληψίας, %

Ο βαθμός δειγματοληψίας δίνεται από το λόγο

$$R_c = \frac{L_r}{L_c} \quad (5.21)$$

όπου:

L_r : το μήκος του δείγματος που ελήφθει

L_c : το μήκος του τμήματος που εκτέλεστηκε η δειγματοληψία

Το κόστος δειγματοληψίας C_{cf} αποτελεί στοιχείο του κόστους C_o της **Εξίσωσης (5.1)**.

5.4. Μελλοντική αξία κόστους

Όπως αναφέρουν οι Bourgoyne και συν., η Εξ. (5.6) δε λαμβάνει υπόψη αρκετούς παράγοντες που ενέχουν ρίσκο και σχετίζονται με τις εργασίες διάτρησης και το κόστος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Εκτός αυτών δεν λαμβάνει υπόψη την διαχρονική αξία του χρήματος. Όπως το κόστος καθαρής διάτρησης, έτσι κι όλα τα κόστη που εκτιμούνται θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη το χρόνο από λογιστική απόψη.

Σε όλες τις εκτιμήσεις, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η διαχρονική αξία του χρήματος. Ένας από τους παράγοντες που εξαρτάται αυτή είναι ο πληθωρισμός, ο οποίος προκαλεί μείωση της αξίας του χρήματος με το χρόνο (δηλαδή με το ίδιο χρηματικό ποσό αγοράζονται σε ένα χρόνο λιγότερα αγαθά και υπηρεσίες). Ο πληθωρισμός ποσοτικοποιείται μέσω της αύξησης των τιμών των αγαθών και υπηρεσιών.

Δηλαδή, η εκτίμηση κόστους γίνεται με την παρούσα αξία (present value) του χρήματος όμως η επένδυση στην εργασία διάτρησης γίνεται σε μελλοντικό χρόνο. Για την πιο αντιπροσωπευτική εκτίμηση θα πρέπει το εκτιμώμενο κόστος να μετατραπεί στη μελλοντική του αξία (future value). Η μελλοντική αξία εκφράζει τη μέλλουσα τιμή μιας τρέχουσας πληρωμής. Στην περίπτωση του κόστους εκτέλεσης μίας γεώτρησης, καθώς η απόφαση επένδυσης σε αυτή γίνεται με βάση το συνολικό της κόστος, η μετατροπή θα γίνεται σε αυτό το ποσό. Έτσι, μια πετρελαική εταιρεία μπορεί να αποφασίσει αν το έργο είναι συμφέρουσα επένδυση ή όχι. Φυσικά για την αξιολόγηση μίας τέτοιας επένδυσης λαμβάνονται υπόψη και τα κόστη του υπόλοιπου πετρελαϊκού έργου με τη χρήση πινάκων ταμειακών ροών. Το κομμάτι αυτό όμως ξεπερνά τους σκοπούς της παρούσας εργασίας.

Η διαδικασία υπολογισμού της *Μελλοντικής Αξίας* ενός ποσού (C) με βάση ένα επιτόκιο ανατοκισμού (ε), με κεφαλαιοποίηση του τόκου καλείται ανατοκισμός (compounding) και για χρόνο (t) εκτιμάται από την σχέση:

$$M. A. = C \cdot (1 + \varepsilon)^t \quad (5.22)$$

όπου :

C: η παρούσα αξία ενός ποσού

ε: επιτόκιο ανατοκισμού (compound rate)

(1+ε) t : συντελεστής ανατοκισμού

t: ο χρόνος

Σημειώνεται, πως το επιτόκιο ανατοκισμού εκφράζει την ελάχιστη επιθυμητή απόδοση μίας επένδυσης από την πλευρά του επενδυτή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 °

Έγκριση Εκτέλεσης Δαπανών (Authorisation for Expenditures)

Έχοντας ολοκληρώσει την εκτίμηση χρόνου και κόστους εκτέλεσης μιας γεώτρησης, το επόμενο στάδιο αποτελεί η παρουσίασή τους σε μορφή κατάλληλη προς παρουσίαση στο διοικητικό συμβούλιο της διαχειρίστριας εταιρείας, ώστε να εγκριθεί η προτεινόμενη δαπάνη. Αυτό είναι γνωστό ως Έγκριση Εκτέλεσης Δαπανών (Authorisation for Expenditures).

Η Έγκριση Εκτέλεσης Δαπανών (ΕΕΔ) αποτελεί το τελικό στάδιο πριν την έναρξη της όρυξης μίας γεώτρησης. Σε περίπτωση αποτυχίας έγκρισης, το γεωτρητικό έργο δύναται να καθυστερήσει ή ακόμα και να ακυρωθεί.

Τα έγγραφα ΕΕΔ διαφέρουν σημαντικά ως προς την μορφή, τη δομή και την ποσότητα πληροφοριών τις οποίες περιλαμβάνουν. Ουσιαστικά αναφερόμαστε σε ένα υπολογιστικό φύλλο, ενώ συνήθως κάθε εταιρεία διαθέτει το δικό της πρότυπο έντυπο προσαρμοσμένο στις ανάγκες της. Βέβαια, το υπολογιστικό φύλλο αυτό μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση του κόστους.

Η αναφορά ΕΕΔ αποτελείται συνήθως από τέσσερα βασικά αρχεία:

- Υποθέσεις που συνοδεύουν τις σχετικές εκτιμήσεις χρόνου και κόστους
- Ανάλυση χρόνου – Περίληψη χρόνου
- Αναλυτική ΕΕΔ
- Γενική Περίληψη ΕΕΔ
- Φύλλο έγκρισης (Approval Sheet)

Σε κάθε φύλλο της ΕΕΔ αναγράφονται τα βασικά στοιχεία του έργου, δηλαδή το όνομα της διαχειρίστριας εταιρείας, το είδος και το όνομα της γεώτρησης, το πετρελαϊκό πεδίο και η περιοχή όπου βρίσκεται, καθώς και ημερομηνία έναρξης του έργου.

6.1. Υποθέσεις που συνοδεύουν τις σχετικές εκτιμήσεις χρόνου και κόστους

Σε κάθε ΕΕΔ θα πρέπει να υπάρχει ένα έγγραφο όπου θα παρουσιάζονται όλες οι υποθέσεις που έχουν γίνει κατά την εκτίμηση του κόστους και τη σύνταξη του προϋπολογισμού (ΕΕΔ), οι οποίες να ορίζονται αναλυτικά και κατανοητά. Έτσι καθίσταται δυνατό να αντιληφθεί ο αναγνώστης τι έχει και τι δεν έχει συμπεριληφθεί στην εκτίμηση, καθώς και οποιοσδήποτε μηχανικός χρησιμοποιήσει το αρχείο αυτό μελλοντικά να μπορέσει να αντιληφθεί σύντομα τον τρόπο παρουσίασης. Έξι βασικά θέματα θα πρέπει να περιλαμβάνονται σε μια ΕΕΔ:

1. **Ανάλυση ρίσκου** για τα κόστη που εκτιμούνται, εάν αυτό απαιτείται.

2. **Στοιχεία γεωτρύπανου.**

Θα πρέπει να προσδιορίζεται η θέση από όπου μεταφέρεται το γεωτρύπανο στην νέα θέση όρυξης, τυχόν εργασίες τροποποίησης του, και οτιδήποτε άλλο σχετίζεται με το γεωτρύπανο.

3. **Σχεδιασμός γεώτρησης.**

Απαραίτητη είναι η παρουσίαση του σχεδιασμού της γεώτρησης και των βασικών στοιχείων της, βάθη, σωλήνωση, τσιμέντωση, διαγραφίες, επιτόπου μετρήσεις, η θεωρούμενη κατάσταση της γεώτρησης με το τέλος των εργασιών όρυξης, δηλαδή ολοκλήρωση προς παραγωγή, εγκατάλειψη κλπ.

4. **Πολφός διάτρησης.**

Θα πρέπει να αναφέρεται το πρόγραμμα της λάσπης διάτρησης, η σύσταση, η πυκνότητα και το βάθος χρήσης, καθώς και ο τρόπος διαχείρισης των απαγόμενων θρυμμάτων και ο καθαρισμός της λάσπης διάτρησης από αυτά.

5. **Αξιολόγηση σχηματισμών.**

Θα πρέπει επίσης να αναφέρονται οι υποθέσεις σχετικά με το ποιες μέθοδοι, πότε και γιατί θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των σχηματισμών.

6. **Λοιπά θέματα.**

Οποιαδήποτε άλλη υπόθεση σχετικά με το σχεδιασμό του έργου θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται. Για παράδειγμα, αν στην ΕΕΔ περιλαμβάνονται τα κόστη σχεδιασμού της γεώτρησης ή τα κόστη για την τοπογραφική αποτύπωση της περιοχής (site survey). Επίσης, σημαντικό είναι να αναφέρεται ο τρόπος και η βάση δεδομένων στην οποία βασίστηκε η θεώρηση των νεκρών χρόνων και των χρόνων αναμονής λόγω καιρικών συνθηκών.

6.2. Ανάλυση χρόνου (AFE time breakdown) : Περίληψη χρόνου

Απαιτείται μια αναλυτική παρουσίαση του εκτιμώμενου χρόνου για την εκτέλεση κάθε σταδίου του σχεδίου της γεώτρησης. Για αυτό το σκοπό πραγματοποιείται ανάλυση κάθε σταδίου στις βασικές εργασίες που περιλαμβάνει και εκτιμάται ο χρόνος που απαιτείται για την κάθε μία, συνήθως σε ώρες. Ο τρόπος εκτίμησης του χρόνου αναφέρθηκε στο 4^ο Κεφάλαιο. Αθροίζοντας το χρόνο των επί μέρους εργασιών προκύπτουν οι ημέρες που απαιτούνται για κάθε στάδιο του έργου. Τέλος, αθροίζοντας αυτούς τους χρόνους προκύπτει η συνολική διάρκεια του έργου (σε ημέρες).

Αναφορικά με τον μη παραγωγικό χρόνο, ο τρόπος που αυτός περιλαμβάνεται στην ΕΔΔ δύναται να διαφέρει. Για παράδειγμα, οι νεκροί χρόνοι και οι χρόνοι αναμονής λόγω καιρικών συνθηκών μπορεί να καταγράφονται σαν προστιθέμενη διάρκεια στον τελικό υπολογιζόμενο χρόνο για τις προγραμματισμένες εργασίες. Εναλλακτικά, μπορεί να εκτιμάται ένα ποσοστό, με τρόπους που αναφέρονται στο 4^ο Κεφάλαιο, και να συνυπολογίζονται στους χρόνους κάθε επί μέρους εργασίας. Σε οποιαδήποτε περίπτωση, ο εκτιμώμενος μη παραγωγικός χρόνος (NPT, WOW) αναγράφεται στο έγγραφο.

Με βάση την ανάλυση χρόνου, συντάσσεται το υπολογιστικό φύλλο της Περίληψης Χρόνου (AFE Time Summary), όπου δίνονται συχνά και οι ημέρομηνίες που προγραμματίζεται η εκτέλεση κάθε σταδίου του σχεδίου της γεώτρησης.

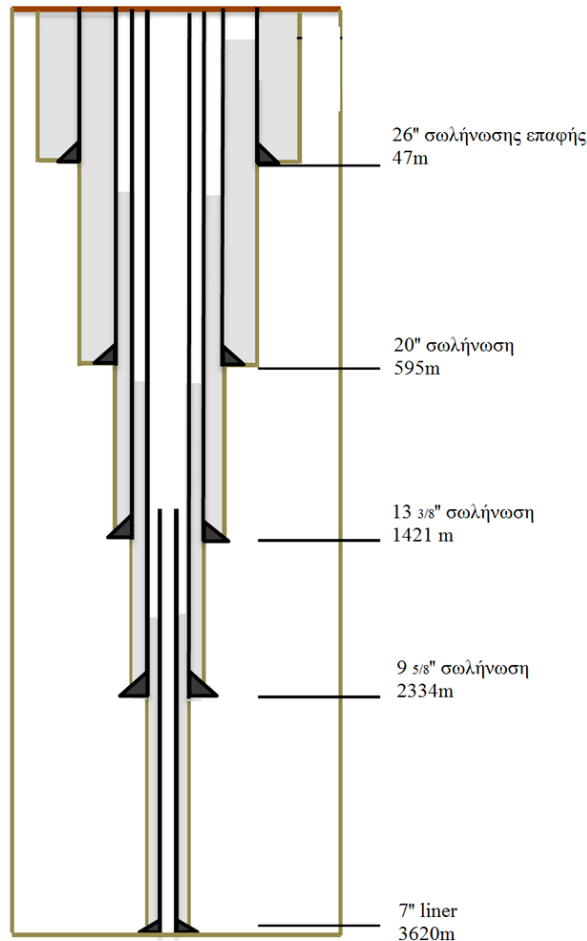
6.2.1. Διάγραμμα Βάθους-Χρόνου

Βασικό στοιχείο της ΕΕΔ αποτελεί το διάγραμμα βάθους-χρόνου. Αυτό προκύπτει από την ανάλυση χρόνου, ενώ επί αυτού σημειώνονται επίσης τα στάδια της γεώτρησης. **Όπως αναφέρθηκε στο 4^ο Κεφάλαιο**, καθίσταται δυνατή η αντιπαράθεση του διαγράμματος αυτού, όπως προκύπτει κατά τον σχεδιασμό, με το πραγματικό, το οποίο προκύπτει κατά την εκτέλεση της γεώτρησης. Με αυτό τον τρόπο αξιολογούνται οι εκτιμήσεις και η γνώση αυτή χρησιμοποιείται στις επόμενες γεωτρήσεις, προς επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων. Συγχρόνως, δίνεται η δυνατότητα χρήσης της καμπύλης βάθους-χρόνου ως αναφορά για τον υπολογισμό του χρόνου εκτέλεσής μελλοντικών γεωτρήσεων.

Παράδειγμα εφαρμογής διαγράμματος βάθους - χρόνου

Έστω ότι εξετάζεται η εκτέλεση μίας γεώτρησης με το όνομα Well Pak-1. Ο σχεδιασμός της περιλαμβάνει την παρακάτω διαστασιολόγηση: βάθους διάτρησης κάθε τμήματος, βάθος έδρασης κάθε σωλήνωσης, διάμετρος κοπτικού για την όρυξη κάθε τμήματος και διάμετρος σωλήνωσης για την επένδυση κάθε αντίστοιχα διατρυόμενου τμήματος, όπως παρουσιάζεται στο **Σχήμα 6.1**.

- Τμήμα διαμέτρου 36" / 26" σωλήνωση επαφής 47 m
- Τμήμα διαμέτρου 26" / σωλήνωση 20" 595 m
- Τμήμα διαμέτρου 17.5" / σωλήνωση 13.375" 1421 m
- Τμήμα διαμέτρου 12.25" / σωλήνωση 9.625" 2334 m
- Τμήμα διαμέτρου 8.5" / σωλήνωση 7" 3620 m
- Συνολικό βάθος 3620 m



Εικόνα 6.1. Σχεδιασμός διαστασιολόγησης της γεώτρησης Well Pak-1.

Από τα δεδομένα τριών γεωτρήσεων που είχαν εκτελεστεί στην ίδια περιοχή διατίθενται τα ακόλουθα δεδομένα του **Πίνακα 6.1.** για το ρυθμό διάτρησης (ROP) για κάθε τμήμα της γεώτρησης:

Πίνακας 6.1. Ιστορικά δεδομένα ρυθμού διάτρησης (Rabia, 2002).

Τμήμα γεώτρησης (διάμετρος)	Ρυθμός διάτρησης
36"	5.5 m/hr
26"	5.5 m/hr
17.5"	7.9 m/hr
12.25"	4.6 m/hr
8.5"	2.5 m/hr

Αρχικά, εκτιμάται ο χρόνος διάτρησης χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του ρυθμού προχώρησης. Σε αυτό το στάδιο προτείνεται η χρήση του βέλτιστου ρυθμού προχώρησης καθώς είναι πάντα δυνατό να επιτευχθεί η ίδια ή και καλύτερη επίδοση της διάτρησης αν ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός είναι όμοιων προδιαγραφών ή καλύτερος. Επομένως, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα εκτιμάται ο αναμενόμενος χρόνος διάτρησης όπως φαίνεται στον **Πίνακα 6.2.** Ο αναμενόμενος χρόνος διάτρησης (σε ώρες) προκύπτει ως το γινόμενο του μήκους διάτρησης επί τον ρυθμό διάτρησης.

Πίνακας 6.2. Εκτιμώμενοι χρόνοι διάτρησης για τη γεώτρηση Well Pak-1 (Rabia, 2002).

Διάμετρος γεώτρησης	Μήκος διάτρησης (m)	Ρυθμός διάτρησης (m/hr)	Χρόνος διάτρησης (hrs)	Χρόνος διάτρησης (days)
36"	47	5,5	8,5	0,35
26"	545	5,5	99,1	4,13
17 1/2"	826	7,9	104,6	4,36
12 1/4"	913	4,6	198,5	8,27
8 1/2"	1286	2,5	514,4	21,43
Σύνολο	3615		925,1	38,5

Πέραν του χρόνου διάτρησης, παρέχονται επίσης και οι εκτιμώμενοι χρόνοι για τις εργασίες σωλήνωσης, τσιμέντωσης και τη σύνδεση/θηλύκωμα (nipple up) των

εξαρτημάτων, όπως του αποτροπέα εκτινάξεων (BOP). Οι χρόνοι αυτοί παρουσιάζονται στον **Πίνακα 6.3**.

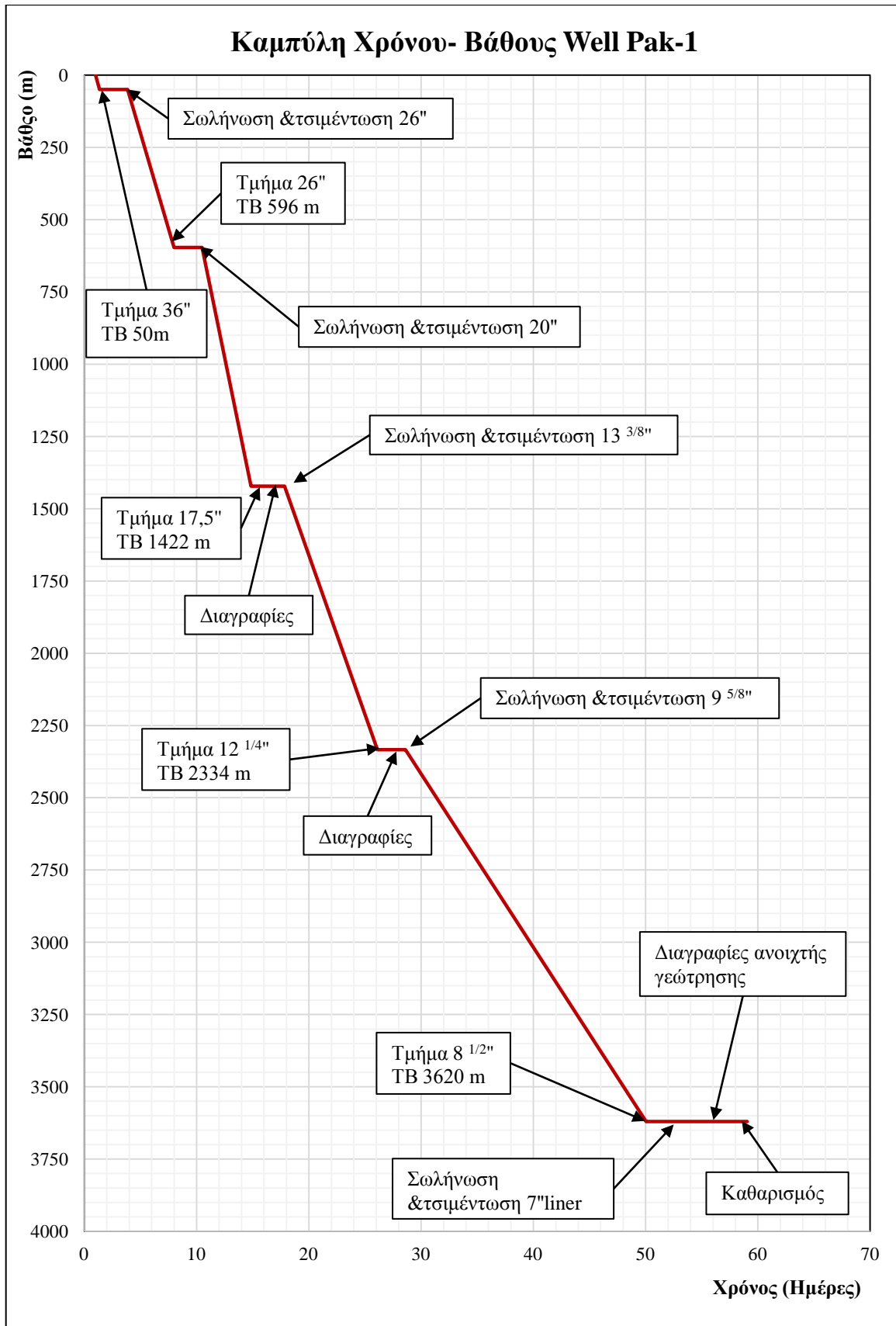
Πίνακας 6.3. Εκτιμώμενοι χρόνοι εκτέλεσης εργασιών για τη γεώτρηση Well Pak-1 (Rabia, 2002)

Διάμετρος σωλήνωσης	Τοποθέτηση & τσιμέντωση σωλήνωσης (ημέρες)	Σύνδεση /θυλήκωμα εξαρτημάτων (ημέρες)	Συνολικός χρόνος (ημέρες)
26"	0,5	2	2,5
20"	1,0	1,5	2,5
13 3/8"	1,0	1,0	2,0
9 5/8"	1,0	1,0	2,0
7"	2,0	1,5	3,5
Σύνολο			12,5

Με βάση τα παραπάνω βασικά στοιχεία, και εκτιμώντας κατά αντίστοιχο τρόπο το υπόλοιπο πρόγραμμα της γεώτρησης προκύπτει η περίληψη χρόνου όπως αυτή αποτυπώνεται στον **Πίνακα 6.4**, για την γεώτρηση Well Pak-1. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του **Πίνακα 6.4**, κατασκευάζεται και το αντίστοιχο διάγραμμα βάθους-χρόνου όπως αυτό παρουσιάζεται στο **Σχήμα 6.1**.

Πίνακας 6.4. Περίληψη χρόνου ΕΕΔ εκτέλεσης της γεώτρησης Well Pak-1(AFE Time Summary) (Rabia, 2002)

Περιγραφή εργασίας	Βάθος (MD m BRT)	Ημέρες	Αθροιστικές Ημέρες
Στήσιμο γεωτροπάνου (Rig up)	0	1,00	1,00
Διάτρηση τμήματος διαμέτρου 36"	50	0,35	1,35
Τοποθέτηση και τσιμέντωση σωλήνωσης επαφής διαμέτρου 26" Θυλήκωμα (nipple up) εκτροπέα (diverter)	50	2,50	3,85
Διάτρηση τμήματος διαμέτρου 26"	596	4,13	7,98
Τοποθέτηση και τσιμέντωση σωλήνωσης διαμέτρου 20" Θηλύκωμα (nipple up) κεφαλής γεώτρησης (wellhead)	596	2,50	10,48
Διάτρηση τμήματος διαμέτρου 17,5"	1422	4,36	14,84
Εκτέλεση διαγραφιών	1422	1,00	15,84
Τοποθέτηση και τσιμέντωση σωλήνωσης διαμέτρου 13 3/8"	1422	2,00	17,84
Διάτρηση τμήματος διαμέτρου 12 1/4"	2334	8,27	26,11
Εκτέλεση διαγραφιών στο τμήμα διαμέτρου 12 1/4"	2334	0,50	26,61
Τοποθέτηση και τσιμέντωση σωλήνωσης διαμέτρου 9 5/8"	2334	2,00	28,61
Διάτρηση τμήματος διαμέτρου 8 1/2"	3620	21,43	50,04
Εκτέλεση διαγραφιών ανοικτής γεώτρησης στο τμήμα διαμέτρου 8 1/2" (full open hole logging)	3620	4,00	54,04
Τοποθέτηση και τσιμέντωση liner διαμέτρου 7" Εκτέλεση CBL/VDL	3620	3,50	57,54
Καθαρισμός γεώτρησης από ρευστά διάτρησης και προετοιμασία για έλεγχο	3620	1,50	59,04
Συνολική διάρκεια			59,0



Σχήμα 6.1. Διάγραμμα βάθους- χρόνου για τη γεώτρηση, Well Pak-1

6.3. Αναλυτική ΕΕΔ – Γενική Περίληψη ΕΕΔ

Στο αρχείο της Αναλυτικής ΕΕΔ παρουσιάζονται όλες οι κατηγορίες κόστους και τα στοιχεία που τις συνθέτουν, με μορφή όπως αυτή επιλέγεται από την εκάστοτε εταιρεία που συντάσσει την ανάλυση κόστους, και τον κωδικό που αντιστοιχεί σε κάθε μία από αυτές. Το έγγραφο της Αναλυτικής ΕΕΔ, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το μηχανικό, εκτός από την καταγραφή, και για την αναλυτική εκτίμηση του κόστους, καθώς αποτελεί ένα υπολογιστικό φύλλο εύκολο στη χρήση. Ο Adams (1985) προτείνει αυτό τον τρόπο σύνταξης της εκτίμησης κόστους και δίδει ένα πρότυπο έγγραφο, το οποίο παρουσιάζεται στους πίνακες του Παραρτήματος.

Στην αναλυτική ΕΕΔ, κάθε στοιχείο κόστους που αντιστοιχεί στο κάθε στάδιο της γεώτρησης καταγράφεται και αθροίζεται για να προκύψει το συνολικό κόστος αυτού του στοιχείου για το σύνολο του έργου. Με την άθροιση των επί μέρους στοιχείων προκύπτει και το κόστος κάθε κατηγορίας. Γενικά, τα κόστη ομαδοποιούνται με βάση κάποια κοινά χαρακτηριστικά (παρόμοιας φύσης κόστη). Κάποιοι τρόποι κατηγοριοποίησης παρουσιάστηκαν στο 2^ο Κεφάλαιο. Η ομαδοποίηση αυτή φυσικά διαφέρει ανά εταιρεία και εκτιμητή.

Ο τρόπος που παρουσιάζονται τα κόστη όπως αναφέρθηκε, διαφέρει ανά εταιρεία. Ωστόσο, συνήθη τακτική αποτελεί η παρουσίαση του κόστους για τρεις περιπτώσεις:

- Μη επιτυχής γεώτρηση, δηλαδή όρυξη και εγκατάλειψη (Drilled and Abandoned-Dry Hole)
- Γεώτρηση που ορύχθηκε και σωληνώθηκε (Drilled and Cased)
- Ολοκληρωμένη γεώτρηση (Drilled and Completed)

Επίσης μπορεί να παρουσιάζονται τα κόστη μόνο για τις δύο από τις παραπάνω περιπτώσεις, δηλαδή για μη επιτυχή γεώτρηση και για ολοκληρωμένη γεώτρηση, όπως φαίνεται στο παράδειγμα ΕΕΔ του **Πίνακα 6.7**.

Σύμφωνα με το πρότυπο που προτείνει ο Adams, τα κόστη της ΕΕΔ χωρίζονται σε Πάγια (Tangibles) και Άυλα (Intangibles) κόστη. Άλλοτε παρατηρείται η περεταίρω κατηγοριοποίησή τους, για λογιστικούς συνήθως λόγους, όπως για παράδειγμα γίνεται στην ΕΕΔ της γεώτρησης Well Pak-1 στον **Πίνακα 6.5**.

Ανάλυση και εκτίμηση κόστους γεωτρήσεων υδρογονανθράκων

Πίνακας 6.5. ΕΕΔ για τη γεώτρηση Well Pak-1 (Rabia, 2002)

Cost Code	Description	Comments	Lump Sum	Unit Cost	Qty	Days	Sub Totals
	SITE COSTS						
110	Site Planning Survey		10,000				10,000
120	Site Construction	RoadConstruction					0
		Site Construction	1,816,079				1,816,079
		Astrip Construction					0
		Warerline Construction					0
		Construction Equipment Mob					0
		Construction Equipment Demob					0
		Road Maintanance					0
		Water Well					0
		Water Pump					0
	<i>Sub Total</i>						1,816,079
130	Site Reistatment		15,000				15,000
	TOTAL SITE COSTS						1,841,079
	RIG COSTS						
201	Rig operating day rate			14,500		59	855,500
220	Rig Mob/Demob		690,000				690,000
230	Additional Rig Charges		94,027				94,027
240	Supervision			1,931		59	113,904
	TOTAL RIG COSTS						1,753,431
	TANGIBLES						
201	Casing		561,189				561,189
211	Wellhead & Accessories		84,775				84,775
221	Other Tangibles		25,000				25,000
	TOTAL TANGIBLES COST						670,964
	MATERIALS/SUPLIES						
301	Rock bits		218,428				218,428
305	Coreheads/Spares						0
310	Diamond/PDC bits		46,250				46,250
315	Mud products		350,000				350,000
320	Cement Products		155,000				155,000
325	Solids Ctrl. Consumables		25,000				25,000
330	Other Materials/Supplies		35,000				35,000
335	Fuel & Lubes		180,000				180,000
	TOTAL MATERIALS/SUPLIES COSTS						1,009,678
	TRANSPORTATION						
410	Supply & standby boats						0
420	Air support	General	48,447				48,447
440	Shiping/Freight/Customs	General	181,474				181,474
450	Equipment Transport	Loads	300,000				300,000
	TOTAL TRANSPORTATION COSTS						529,921
	SERVICES						
501	Radio/Comms. Services	General	1,104			59	65,136
503	Rig Positioning						0
506	Diving (ROV)						0
509	Logging (wireline)		302,027				302,027
512	M.W.D.		10,884				10,884
515	Downhole motors		81,519				81,519
	Personnel		-				0
	<i>Sub Total</i>		81,519				
518	Solids Control Equipment		46,406				46,406
521	Fishing		10,000				10,000
524	Mud logging						0
		Unit& Personnel		1,610		59	95,013
527	Mud Engineering			1,371		50	68,567
530	Cementing		75,645			59	75,645
533	Jars & Shock-Subs		30,000			59	30,000
536	Downhole tools		65,000				65,000
539	Directional Engineering						0
542	Directional Navig'n Tools						0
545	Surveying(inc. Personnel)		23,525				23,525
548	Casing services(inc. Personnel)		47,638				47,638
551	Other equipment rental	Miscellaneous Rentals	6,192				6,192
554	Other Services		720,000				720,000
	TOTAL SERVICES COSTS						1,647,546

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο Έγκριση Εκτέλεσης Δαπανών (Authorisation for Expenditures)

Συνέχεια Πίνακα 6.5.

	BASE EXPENSES						
620	Crane Hire			415		59	0
641	Local Labour/Land Lease			130		59	7,662
642	Dockers	not applicable					0
661	Base Run Costs& Maint.			1,373			80,994
662	Security			1,786		59	105,389
663	Storage & Warehouse						0
664	Base Equipment & Repairs						0
665	General Base Expenses						0
TOTAL BASE EXPENSES COSTS							194,045
	OVERHEADS (DRILLING)						
652	Office Costs	Drilling Management	20,000				20,000
	OVERHEADS (PETROLEUM ENG.)						
642	Petroleum Engineer	Well Test Planning	10,000				10,000
	GEOLOGICAL SERVICES						
301	Wellsite Geology			845		59	49,848
302	Core Handling	not applicable					0
303	Core Analysis	not applicable					0
335	Geochemistry						10,000
336	Biostratigraphical Analysis						8,000
337	Sedimentology						0
501	Data Transmission						5,146
610	Geology Dept. Overheads						91,848
TOTAL GEOLOGICAL SERVICES COSTS							164,842
TOTAL WELL COST ESTIMATE						7,841,505	USD

6.3.1. Γενική περίληψη

Ο Adams (1985) αναφέρει πως η Γενική Περίληψη της ΕΕΔ, αποτελεί ένα έγγραφο μίας σελίδας στην οποία περιλαμβάνονται έντεκα (11) βασικές κατηγορίες κόστους:

1. Προετοιμασία πεδίου (location preparation)
2. Γεωτρύπανο και εξοπλισμός (drilling rig and tools)
3. Ρευστά διάτρησης (drilling fluids)
4. Ενοικιαζόμενος εξοπλισμός (rental equipment)
5. Τσιμέντωση (cementing)
6. Υποστηρικτικές υπηρεσίες (support services)
7. Μεταφορικά (transportation)
8. Επίβλεψη και διοίκηση (supervision and administration)
9. Εξοπλισμός σωληνοειδών (tubular equipment)
10. Εξοπλισμός κεφαλής της γεώτρησης (well head equipment)
11. Εξοπλισμός ολοκλήρωσης της γεώτρησης (completion equipment)

Ένα παράδειγμα της μορφής Γενικής Περίληψης ΕΕΔ που προτείνεται από τον Adams παρουσιάζεται στον **Πίνακα 6.6**.

Πίνακας 6.6. Παράδειγμα Γενικής Περίληψης Έγκρισης Εκτέλεσης Δαπανών κατά Adams (1985)

AUTHORISATION FOR EXPENDITURE

OPERATOR: LITTLE PECAN LAKE, LTD.

DATE: 14-JUN-82

LEASE: DENEX #1

FIELD: GO AROUND BAYOU FIELD

SEC. 29 TWP. 145 RNG. 4W

COUNTY: CAMERON PARISH STATE: LA

EXPENDITURE	DRY HOLE (24.5 DAYS)	COMPLETED (32.5 DAYS)
INTANGIBLE COSTS		
100 LOCATION PREPARATION	30000,00	65000,00
200 DRILLING RIG AND TOOLS	298185,75	366612,94
300 DRILLING FLUIDS	113543,19	116976,37
400 RENTAL EQUIPMENT	77896,37	133784,75
500 CEMENTING	49534,68	54368,73
600 SUPPORT SERVICES	152285,44	275647,50
700 TRANSPORTATION	70200,00	83400,00
800 SUPERVISION AND ADMINISTRATION	23282,50	30790,50
SUB-TOTAL	814927,93	1126580,79
TANGIBLE COSTS		
900 TUBULAR EQUIPMENT	406100,87	846529,44
1000 WELL HEAD EQUIPMENT	16864,00	156201,00
11000 COMPLETION EQUIPMENT	0,00	15717,00
SUB-TOTAL	422964,87	1018447,44
	SUB-TOTAL	1237893,00
	CONTINGENCY (15%)	185683,94
	TOTAL	2466782,00

6.3.2. Αποθεματικό για απρόβλεπτα κόστη (Contingency)

Όπως έχει αναφερθεί ήδη στο 3^ο Κεφάλαιο, σε κάθε ανάλυση κόστους περιλαμβάνεται ένα αποθεματικό ποσό για την περίπτωση απρόβλεπτων περιστατικών. Συνήθης πρακτική αποτελεί η προσθήκη αυτού του ποσού, με βάση τις εκτιμήσεις το μηχανικού, ως ξεχωριστό ποσό στην ΕΕΔ, με το όνομα «contingency». Αυτό το ποσό διατίθεται για απρόβλεπτα κόστη που θα προκύψουν κατά την εκτέλεση της γεώτρησης, όπως η μόλυνση της λάσπης διάτρησης, η απώλεια κυκλοφορίας των ρευστών, η παγίδευση της διατρητικής στήλης, σπασμένη διατρητική στήλη ή σπασμένη σωλήνωση.

Ο τρόπος με τον οποίο προστίθεται το αποθεματικό πόσο για απρόοπτα διαφέρει ανάλογα τη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του κόστους. Στην περίπτωση της ντετερμινιστικής εκτίμησης, και ανάλογα τον εκτιμητή, αυτό μπορεί είτε να προστίθεται στο συνολικό ποσό του έργου στο τέλος, ή σε κάθε κατηγορία ξεχωριστά. Στο παράδειγμα της γεώτρησης Well Pak-1 (**Πίνακας 6.5.**) δεν εμφανίζεται ξεχωριστή κατηγορία «contingency», καθώς στην περίπτωση αυτή το κόστος για απρόβλεπτα έχει ληφθεί υπόψη κατά την εκτίμηση κάθε στοιχείου κόστους.

Πίνακας 6.7. Παράδειγμα Αναλυτικής Έγκρισης Εκτέλεσης Δαπανών κατά τον Adams (1985)

AFE DETAILED SUMMARY

OPERATOR: LITTLE PECAN LAKE, LTD. DATE: 14-JUN-82
 LEASE: DENEX #1 FIELD: GO AROUND BAYOU FIELD
 SEC. 29 TWP. 145 RNG. 4W COUNTY: CAMERON PARISH STATE: LA

EXPENDITURE	DRY HOLE (24.5 DAYS)	COMPLETED (32.5 DAYS)
100 LOCATION PREPARATION		
110 PERMIT	500.00	2500.00
120 SURVEY	2500.00	7500.00
130 RIGHT OF WAY,SPECIAL PERMIT ETC	2000.00	2000.00
140 PHYSICAL LOCATION PREPARATION	20000.00	48000.00
150 CLEANUP	5000.00	5000.00
TOTAL	30000.00	65000.00
200 DRILLING RIG AND TOOLS		
210 MOVE IN AND OUT	57135.37	57135.37
220 FOOTAGE BID	0.00	0.00
230 STRAIGHT DAY WORK BID	182327.06	241862.4
240 FUEL	32915.79	41018.13
250 WATER	5000.00	5000.00
260 BITS	20807.50	21597.00
270 COMPLETION RIG	0.00	0.00
TOTAL	298185.75	366612.94
300 DRILLING FLUIDS		
310 DRILLING FLUIDS	113543.19	113543.19
320 PACKER FLUIDS	0.00	3433.16
330 COMPLETION FLUIDS	0.00	0.00
TOTAL	113543.19	116976.37
400 RENTAL EQUIPMENT		
410 WELL CONTROL EQUIPMENT	29852.00	43262.00
420 ROTARARY TOOLS AND ACCESSORIES	6794.22	22425.67
430 MUD RELATED EQUIPMENT	19475.00	23856.87
440 CASING TOOLS	21775.16	44240.16
450 MISCELLANEOUS	0.00	0.00
TOTAL	77896.37	133784.75
500 CEMENTING		
510 CONDUCTOR CASING	0.00	0.00
520 SURFACE CASING	20121.85	20121.85
530 INTERMEDIATE	15619.91	15619.91
540 FIRST LINER	0.00	0.00
550 SECOND LINER	0.00	0.00
560 PRODUCTION CASING	0.00	18626.97

Ανάλυση και εκτίμηση κόστους γεωτρήσεων υδρογονανθράκων

	570 SQUEEZES	0.00	0.00
	580 PLUGS	13792.92	0.00
	TOTAL	49534.68	54368.73
600	SUPPORT SERVICES		
	610 CASING CREWS	11759.15	23536.71
	620 LOGGING		
	621 MUD LOGGING	1800.00	18000.00
	623 WIRELINE		
	624 LOGGING	77656.56	109083.94
	625 PERFORATING	0.00	11447.00
	626 TESTING	14480.00	14480.00
	627 COMPLETION SERVICES	0.00	33597.00
	630 TUBULAR INSPECTION		
	631 SURFACE CASING	4896.45	4896.45
	632 INTERMEDIATE CASING	14643.30	14643.30
	633 FIRST LINER	0.00	0.00
	634 SECOND LINER	0.00	0.00
	635 PRODUCTION CASING	0.00	18213.00
	636 TIE BACK STRING	0.00	0.00
	637 TUBING	0.00	13960.10
	638 MISCELLANEOUS	0.00	0.00
	640 GALLEY	0.00	0.00
	650 WELDING, LABOR, RENTAL EQUIPMENT	10850.00	13790.00
	660 FORMATION TESTING	0.00	0.00
	670 FISHING & DIRECTIONAL CONSULTANTS	0.00	0.00
	680 ACIDIZING, FRACTURING, GRAVEL PACK	0.00	0.00
	690 MISCELLANEOUS	0.00	0.00
	TOTAL	152285.44	275647.50
700	TRANSPORTATION		
	710 TRUCKING	70200.00	83400.00
	720 MARINE	0.00	0.00
	730 AIR	0.00	0.00
	TOTAL	70200.00	83400.00
800	SUPERVISION AND ADMINISTRATION		
	810 FIELD SUPERVISION	16250.00	20250.00
	820 OFFICE SUPERVISION	7032.50	10540.50
	830 INSURANCES, BONDS	0.00	0.00
	TOTAL	23282.50	30790.50
900	TUBULAR EQUIPMENT		
	905 DRIVE PIPE	7498.00	7498.00
	910 CONDUCTOR CASING	0.00	0.00
	915 SURFACE CASING	71006.56	71006.56
	920 INTERMEDIATE CASING	321156.31	321156.31
	925 FIRST LINER	0.00	0.00
	930 SECOND LINER	0.00	0.00
	935 PRODUCTION CASING	0.00	325291.06
	940 TIE BACK STRING	0.00	0.00
	950 TUBING	0.00	113048.50
	960 CASING EQUIPMENT		

Ανάλυση και εκτίμηση κόστους γεωτρήσεων υδρογονανθράκων

	961 DRIVE PIPE	230.00	230.00
	962 CONDUCTOR CASING	0.00	0.00
	963 SURFACE CASING	3500.00	350.00
	964 INTERMEDIATE CASING	2710.00	27100.00
	965 FIRST LINER	0.00	0.00
	966 SECOND LINER	0.00	0.00
	967 PRODUCTION CASING	0.00	2089.00
	TOTAL	406100.87	846529.44
1000	WELL HEAD EQUIPMENT		
	1010 CASING HEAD	3220.00	3220.00
	1020 INTERMEDIATE SPOOL	13644.00	13644.00
	1030 TUBING SPOOL	0.00	55465.00
	1040 TREE	0.00	83872.00
	1050 MISCELLANEOUS	0.00	0.00
	TOTAL	16864.00	156201.00
1100	COMPLETION EQUIPMENT		
	1105 PACKERS	0.00	2059.00
	1110 BLAST JOINT AND LANDING NIPPLES	0.00	3955.00
	1115 SPECIAL LINERS	0.00	0.00
	1120 SAFETY JOINTS	0.00	796.00
	1125 SUBSURFACE SAFETY DEVICES	0.00	4388.00
	1130 SEAL ASSEMBLY	0.00	4519.00
	1135 GAS LIFT EQUIPMENT	0.00	0.00
	1140 GRAVEL PACKING EQUIPMENT	0.00	0.00
	1145 MISCELLANEOUS	0.00	0.00
	TOTAL	0.00	15717.00

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 °

Σχολιασμός – Συμπεράσματα

Μεταξύ όλων των δραστηριοτήτων που συνιστούν την εκμετάλλευση υδρογονανθράκων, η εκτέλεση των γεωτρήσεων μπορεί να θεωρηθεί ως ένα από τα εγχειρήματα που ενέχουν τον μεγαλύτερο κίνδυνο και κόστος. Οι γεωτρήσεις αποτελούν την κύρια εργασία ενός πετρελαϊκού έργου. Περιλαμβάνουν πληθώρα εργασιών και συνδέονται άμεσα με την επιτυχία του έργου. Το κόστος εκτέλεσής τους αποτελεί ίσως το μεγαλύτερο ποσοστό του συνολικού κόστους του έργου, ανερχόμενο στο 70% του κόστους έρευνας και το 60% του κόστους ανάπτυξης.

Βασική διαπίστωση στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας αποτελεί το γεγονός ότι απουσιάζει μια πρότυπη και συστηματική μεθοδολογία εκτίμησης του κόστους και του χρόνου των γεωτρήσεων. Υπάρχουν επιμέρους φάσεις ενός γεωτρητικού έργου (όπως η διάτρηση, η δειγματοληψία, η αξιολόγηση κοπτικών άκρων) για τις οποίες είναι διαθέσιμες προσεγγίσεις που μπορούν να αποτελέσουν «εργαλείο» για τον μηχανικό γεωτρήσεων.

Παρά ταύτα, η εργασία αυτή έδωσε τη δυνατότητα να αποκωδικοποιηθούν σειρά θεμάτων που αφορούν επιμέρους κόστη και χρόνους σε ένα γεωτρητικό έργο, και να προταθούν βασικές προσεγγίσεις για την εκτίμηση τους.

Η τεχνική επιτυχία, το κόστος και ο χρόνος εκτέλεσης μίας γεώτρησης εξαρτάται από πληθώρα παραγόντων. Καθοριστικής σημασίας είναι ο **εμπεριστατωμένος σχεδιασμός** του έργου στο σύνολό του, λαμβάνοντας υπόψη και αξιοποιώντας όλα τα διαθέσιμα στοιχεία/πληροφορίες από την ευρύτερη περιοχή καθώς και από περιοχές με ανάλογα γεωλογικά χαρακτηριστικά. Η συνεργασία όλων των εμπλεκόμενων επιστημονικών ειδικοτήτων, γεωλόγων, υδρογεωλόγων, γεωμηχανικών, μηχανολόγων, χημικών κλπ είναι απαραίτητη για τη συναξιολόγηση όλων των στοιχείων και την ενσωμάτωσή τους στον τελικό σχεδιασμό του έργου.

Βασικό στοιχείο του κόστους των γεωτρήσεων αποτελεί το κόστος του γεωτρυπάνου, το οποίο ανέρχεται στο 40% ενός χερσαίου γεωτρητικού έργου και στο 60% ενός υπεράκτιου γεωτρητικού έργου. Ανεξάρτητα από το γεγονός ότι η πλειονότητα των πετρελαϊκών εταιρειών επινοικιάζει εργολαβικά τον σχετικό εξοπλισμό, οι ημερήσιες χρεώσεις (συνάρτηση και της τρέχουσας τιμής πετρελαίου), είναι υψηλές ιδιαίτερα για τις υπεράκτιες γεωτρήσεις, της τάξης των 400.000 \$.

Σχετικά με την εκτίμηση του κόστους και του χρόνου εκτέλεσης μιας γεώτρησης ακολουθούνται δύο βασικές μέθοδοι: η ντετερμινιστική και η πιθανολογική. Η ντετερμινιστική μέθοδος είναι απλή και ξεκάθαρη στις διαδικασίες της, όμως εμπεριέχει αβεβαιότητα καθώς βασίζεται σε δεδομένα παλαιότερων γεωτρήσεων των οποίων η επιλογή και διαχείριση εξαρτάται από την κρίση του μηχανικού. Η πιθανολογική, λαμβάνει υπόψη τις αβεβαιότητες, παρέχοντας εύρη πιθανών αποτελεσμάτων. Σε συνδυασμό με τη χρήση της ανάλυσης ευαισθησίας (διαγράμματα “tornado”) δύνανται να εντοπιστούν οι βασικοί παράγοντες κόστους και η αναμενόμενη ένταση (επίδραση) κάθε ενός από αυτούς.

Και οι δύο μεθοδολογίες βασίζονται σε ιστορικά δεδομένα. Βασική προϋπόθεση μίας καλής εκτίμησης κόστους (και χρόνου) γεωτρήσεων υδρογονανθράκων αποτελεί η ύπαρξη αξιόπιστων, ενημερωμένων και αναλυτικών βάσεων δεδομένων.

Με βάση την ανάλυση της διαθέσιμης βιβλιογραφίας, προκύπτει ότι η βασική κατεύθυνση στο θέμα της έρευνας σχετικά με το κόστος και το χρόνο εκτέλεσης μιας γεώτρησης επικεντρώνεται σε ό,τι αφορά την ίδια τη διάτρηση (καθαρή διάτρηση, μανούβρες, δειγματοληψία), δεδομένου ότι το μέρος αυτό της γεωτρητικής διαδικασίας αντιστοιχεί στο 70% και 60 % του κόστους και του χρόνου αντίστοιχα ενός έργου.

Στο πλαίσιο αυτό, στην παρούσα εργασία, αναλύονται οι παραγωγικοί και μη παραγωγικοί χρόνοι και καταγράφεται συστηματικά η μαθηματική μεθοδολογία που μπορεί να εφαρμοστεί για την εκτίμηση του χρόνου καθαρής διάτρησης, «μανούβρας» και δειγματοληψίας.

Όσον αφορά το κόστος, αναλύονται και κατηγοριοποιούνται όλα τα στοιχεία κόστους και παρουσιάζονται τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις για την αξιολόγηση της διατρητικής συμπεριφοράς και οικονομικής απόδοσης των κοπτικών άκρων (κόστος/μονάδα διατρυθέντος τμήματος, μέθοδος νεκρού σημείου, ειδική ενέργεια κοπτικού). Οι προσεγγίσεις αυτές μπορούν να αξιοποιηθούν από το μηχανικό γεωτρήσεων, μεμονωμένα ή συνδυαστικά, ανάλογα με τα διαθέσιμα στοιχεία, για την εκτίμηση του κόστους διάτρησης.

Τόσο στο θέμα του χρόνου όσο και του κόστους, παρατίθενται μελέτες περίπτωσης οι οποίες επεξεργάστηκαν και εφαρμόστηκαν με βάση τις προαναφερόμενες μεθοδολογίες, για την πλήρη κατανόηση της χρήσης αυτών. Μέσω των εφαρμογών αυτών διαπιστώνεται ότι σχετικά με τις μαθηματικές εξισώσεις που αφορούν στο χρόνο και την εκτίμηση των σταθερών παραμέτρων που περιλαμβάνουν, οι προβλέψεις είναι ικανοποιητικές σε

σύγκριση με τους πραγματικούς χρόνους διάτρησης. Όσον αφορά τις μαθηματικές εξισώσεις που αφορούν στο κόστος, οι σταθερές παράμετροι οι οποίες χρησιμοποιούνται στις σχέσεις αυτές έχουν τοπικό χαρακτήρα και άρα το αποτέλεσμα της εκτίμησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αξιοπιστία της συσχέτισης των διαθέσιμων δεδομένων.

Η εκτίμηση και η ανάλυση του κόστους ενός γεωτρητικού έργου απαιτείται προκειμένου να συνταχθεί η Έγκριση Εκτέλεσης Δαπανών (Authorisation for Expenditures) κατά την φάση της διάτρησης. Το έγγραφο αυτό βασίζεται στην συστηματική ανάλυση του κόστους της γεώτρησης, ενώ αντικατοπτρίζει τα διαφορετικά κόστη, την κατευθυντήρια γραμμή για αυτά και περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με το πρόγραμμα της γεώτρησης. Αποτυχία έγκρισης του εγγράφου ΕΕΔ συνεπάγεται την καθυστέρηση ή και την μη εκτέλεση της γεώτρησης.

Παρά τη σπουδαιότητα του κόστους των γεωτρήσεων για τη βιομηχανία πετρελαίου, η πρόβλεψη των δαπανών συνεχίζει να αποτελεί μια δύσκολη διαδικασία. Σε κάθε περίπτωση όμως, οι προσεγγίσεις κι οι εξισώσεις που προτάθηκαν αποτελούν ένα σημαντικό «εργαλείο» για τον μηχανικό γεωτρήσεων.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Adams, N. J. (1985). *Drilling Engineering: A Complete Well Planning Approach*. Tulsa, Oklahoma, United States of America: PennWell Publishing Company.
- Bailey, L., Jones, T., Belaskie, J., Orban, J., Sheppard, M., Jardine, S., & McCann, D. (1991, October). Stuck Pipe: Causes, Detection and Prevention. *Oilfield Review*.
- Bourgoyne Jr, A. T., Millheim, K. K., Chenevert, M. E., & Young Jr, F. (1991). *Applied Drilling Engineering*. Richardson, Texas: Society of Petroleum Engineers.
- Bret-Rouzaut, N., & Favennec, J.-P. (2011). *Oil and gas Exploration and Production-Reserves, Costs, Contracts* (3rd εκδ.). Paris, France: Technip.
- da Silva Ferreria, N. F. (2014, November). Risk analysis of drilling operations in deepwater reservoirs. Portugal: Tecnico Lisboa.
- de Wardt, J. P., & Peterson, S. K. (2015). Well Cost Estimation and Control-Advanced Methodologies for Effective Well Cost Management. *SPE/IACC Drilling Conference and Exhibition*. London, United Kingdom.
- DrillingFormulas.com. (2011, September 8). *Mobile Formation Causes Stuck Pipe*. Ανάκτηση από DrillingFormulas.com: <http://www.drillingformulas.com/mobile-formation-causes-stuck-pipe/>
- Ford, J. (2017). *Drilling Engineering*. Edinburgh: Heriot Watt University, Institute of Petroleum Engineering.
- Hallibarton. (2018). *Hallibarton* . Ανάκτηση από Reservoir Rediscovery Solutions: <http://www.halliburton.com/en-US/ps/consulting/reservoir-rediscovery-solutions.page>
- Herriot Watt University, Institute of Petroleum Engineering. (2016). *Petroleum Economics*. Edinburgh: Herriot Watt University, Institute of Petroleum Engineering.
- Höök, M., Söderbergh, B., Jakobsson, K., & Aleklett, K. (2009). The evolution of giant oil field production behaviour. *Natural Resources Research, Vol. 18*. doi: 10.1007/s11053-009-9087-z

- Hossain, M., & Al-Mejed, A. (2015). *Fundamentals of Sustainable Drilling Engineering*. Canada: Scrivener Publishing LLC.
- Hsieh, L. (2010, September 8). *Rig NPT: the ugly truth*. (Drilling Contractor-Official Magazine of the International Association of Drilling Contractors) Ανάκτηση από Drilling Contractor: <http://www.drillingcontractor.org/rig-npt-the-ugly-truth-6795>
- IHS Markit. (2008). *IHS Markit*. Ανάκτηση από Rushmore Reviews is now part of IHS Energy: <https://ihsmarkit.com/btp/rushmore-reviews.html>
- Kaiser, M. J. (2009). Modeling the time and cost to drill an offshore well. *Elsevier, Energy*.
- Kullawan, K. (2011). *Risk Based Cost and Duration Estimation of Well Operations*. Master's Thesis, University of Stavanger, Faculty of Science and Technology, Stavanger.
- Leamon, G. R. (2006). *Petroleum well costs*. Degree thesis, The University of New South Wales, School of Petroleum Engineering, Sydney.
- Lioudis, N. (2018, February 27). *INVESTOPEDIA*. Ανάκτηση από How do average costs compare among various oil drilling rigs?: <https://www.investopedia.com>
- Oilscams.org. (2014). *The Do's and Dont's in the Oil and Gas Investing*. Ανάκτηση από The Differences Between Offshore And Onshore Oil Drilling: <http://www.oilscams.org/offshore-vs-onshore-oil-drilling>
- Rabia, H. (2002). *Well Engineering & Construction*. London: Entrac Consulting Limited.
- Shereih, K. (2016). *Economics modeling for petroleum exploration and production projects considering risk and*. Thesis, Technischen Universität Berlin, Berlin.
- Vinod, A., Kundan, A., Kumar, M., Kalpande, V., & Pande, R. (2013). Prediction of Pre-Drill Well Cost & Scope of NPT Management in Shallow Water, Western Offshore Basin, ONGC, Mumbai. *10th Biennial International Conference & Exposition*. Koshi.
- Σταματάκη. (2003). *Τεχνολογία Γεωτρήσεων*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ανάλυση και εκτίμηση κόστους γεωτρήσεων υδρογονανθράκων

AFE Worksheet

	Dry Hole (_ Days)	Completed (__ Days)
100 Location		
110 Permit		
120 Survey		
130 Right of way, special permits, damages		
140 Physical location preparation		
150 Cleanup and backfill		
200 Drilling tools		
210 Move in and out		
220 Footage bid		
a. Footage rates		
b. Day-work w/DP		
c. Day-work wo/DP		
d. Standby w/crews		
e. Standby wo/crews		
230 Straight day-work bid		
a. Day-work w/DP		
b. Day-work wo/DP		
c. Standby w/crews		
d. Standby wo/crews		
240 Fuel		
a. Fuel cost		
b. Storage cost		
c. Pipeline cost		
250 Water		
a. Well cost		
b. Storage cost		
c. Pipeline cost		
260 Bits		
Size No. Req. Description Cost Each		

270 Completion rig		
a. Move in and out		
b. Day-work ___ days @ \$ ___ /day		
c. Standby w/crews ___ days @ \$ ___ /day		
d. Standby w/o crews ___ days @ \$ ___ /day		

	Dry Hole (_ Days)	Completed (__ Days)
300 Drilling Fluids		
310 Drilling fluids		
a. Cost to build mud:		
___ #/gal ___ bbl @ \$ ___ /bbl		
___ #/gal ___ bbl @ \$ ___ /bbl		
___ #/gal ___ bbl @ \$ ___ /bbl		
b. Maintenance		
___ #/gal \$ ___ /day × ___ days		
___ #/gal \$ ___ /day × ___ days		
___ #/gal \$ ___ /day × ___ days		
320 Packer fluids		
330 Completion fluids		
400 Rental Equipment		
410 Well control equipment		
a. BOPs		
No. Description Min.		
Req'd. Rental ___ days @ \$ ___ /day		
___ Series ___ Ram Types ___ + ___ days @ \$ ___ /day		
___ Series ___ Ram Types ___ + ___ days @ \$ ___ /day		
___ Series ___ Ram Types ___ + ___ days @ \$ ___ /day		
___ Series ___ Ram Types ___ + ___ days @ \$ ___ /day		
___ Series ___ Ram Types ___ + ___ days @ \$ ___ /day		
___ Series ___ Ram Types ___ + ___ days @ \$ ___ /day		
___ Series ___ Ram Types ___ + ___ days @ \$ ___ /day		
b. Flanges		
___ "Ser ___ × ___ "Ser ___ + ___ days @ \$ ___ /day		
___ "Ser ___ × ___ "Ser ___ + ___ days @ \$ ___ /day		
___ "Ser ___ × ___ "Ser ___ + ___ days @ \$ ___ /day		
___ "Ser ___ × ___ "Ser ___ + ___ days @ \$ ___ /day		
c. Bolts, studs and nuts, ring gaskets		
d. Hydraulic closing units		
e. Wheels, extensions, etc.		
f. Inside BOPs and F.O. safety valves		
Size		
No. & Min.		
req'd type W.P. rental + ___ days @ \$ ___ /day		
___ + ___ days @ \$ ___ /day		
___ + ___ days @ \$ ___ /day		
___ + ___ days @ \$ ___ /day		

Ανάλυση και εκτίμηση κόστους γεωτρήσεων υδρογονανθράκων

g. Adjustable chokes			
\$	___ min	+ ___ days @ \$ ___ /day	_____
\$	___ min	+ ___ days @ \$ ___ /day	_____
h. Test plugs			
___"	\$ Min	+ ___ days @ \$ ___ /day	_____
___"	\$ Min	+ ___ days @ \$ ___ /day	_____
___"	\$ Min	+ ___ days @ \$ ___ /day	_____
i. Chicksan hose, flare lines, wear bushings, etc.			
No.		Min.	
req'd.	Description	rental + ___ days @ \$ ___ /day	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____
420 Rotary Tools and Accessories			
a. Drill collars			
No.		Min.	
req'd.	Description	rental + ___ days @ \$ ___ /day	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____
b. Drillpipe Feet			
No.		Min.	
req'd.	Description	rental + ___ days @ \$ ___ /day	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____
c. Stabilizers			
No.		Min.	
req'd.	Description	Min. rental	Standby
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
d. Drillpipe protector rubbers			
No.		Min.	
req'd.	Description	rental + ___ days @ \$ ___ /day	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____
e. Subs (DP nubbins, bit, float, XO, bumper, kelly saver, DP, DC, DC lift)			
No.		Min.	
req'd.	Description	rental + ___ days @ \$ ___ /day	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____

			Dry Hole	Completed
			(___ Days)	(___ Days)
400 Rental Equipment—cont'd				
420 Rotary Tools and Accessories—cont'd				
f. Kelly, kelly bushing, and kelly cock				
No.		Min.		
req'd.	Description	rental + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
g. Boot and junk baskets				
No.		Min.		
req'd.	Description	rental + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
h. Slips				
No.		Min.		
req'd.	Description	rental + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
i. Elevators				
No.		Min.		
req'd.	Description	rental + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
j. Tongs, rotary, and power				
No.		Min.		
req'd.	Description	rental + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
k. Safety clamp				
No.		Min.		
req'd.	Description	rental + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____
_____	_____	_____ + ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____

Ανάλυση και εκτίμηση κόστους γεωτρήσεων υδρογονανθράκων

				Dry Hole	Completer
				(___ Days)	(___ Days)
I. Tong torque gauge					
No.		Min.			
req'd.	Description	rental	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
m. Drilling jars					
No.		Min.			
req'd.	Description	rental	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
n. Miscellaneous tools—survey inst., bit breakers, casing scrapers, etc.					
No.		Min.			
req'd.	Description	rental	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
o. Inserts, dies, dope, rags, misc.					
p. Directional drilling tools					
No.		Min.			
req'd.	Description	rental	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
q. Standby fishing tools					
No.		Min.			
req'd.	Description	rental	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
430 Mud-related equipment					
No.		Min.			
req'd.	Description	rental	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Atm. degasser	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Vac. degasser	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Desilter	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Desander	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Shaker	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Centrifuge	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Depth recorder	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
400 Rental Equipment—cont'd					
430 Mud-related equipment—cont'd					
_____	Pit level recorder	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Flowline indic.	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Mud wt. device	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Multirecorder	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Pits	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Bell nipples	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Mud risers	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Mud bucket	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
440 Casing tools					
No.		Min.			
req'd.	Description	rental	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Hammers	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Welding units	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Spiders	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Spiders	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Elevators	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Bales	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Hyd. tongs	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Protectors	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Stabbing boards	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Plug container	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	Circ. swage	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
450 Miscellaneous equipment					
No.		Min.			
req'd.	Description	rental	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		
_____	_____	_____	+ ___ days @ \$ ___ /day		

Ανάλυση και εκτίμηση κόστους γεωτρήσεων υδρογονανθράκων

500 Cementing and Cementing Services	String	Pumping charge	Cement cost			
510 Conductor						
520 Surface						
530 a. Intermediate						
b. 2nd intermediate						
540 Liner						
550 Liner						
560 Production						
570 Squeezes						
580 Plugs						
600 Services						
610 Casing crews						
	String	Min. crew cost	Tong operator	Add'l. crew cost		
a. Conductor						
b. Surface						
c. Intermed.						
d. 2nd intermed.						
e. Liner						
f. Liner						
g. Tieback						
h. Production						
620 Logging						
621 Mud logging	___ days manned @ \$ ___ /day					
	___ days standby @ \$ ___ /day					
622 Wireline logging						
a. Setup charges	___ setups @ \$ ___ /setup					
b. Mileage charges	___ miles @ \$ ___ /mile					
c. IES Run 1 depth	___ ft @ \$ ___ /ft					
Operation	___ ft @ \$ ___ /ft					
Run 2 depth	___ ft @ \$ ___ /ft					
Operation	___ ft @ \$ ___ /ft					
Run 3 depth	___ ft @ \$ ___ /ft					
Operation	___ ft @ \$ ___ /ft					
Run 4 depth	___ ft @ \$ ___ /ft					
Operation	___ ft @ \$ ___ /ft					
Run 5 depth	___ ft @ \$ ___ /ft					
Operation	___ ft @ \$ ___ /ft					
d. Sonic run 1						
Depth	___ ft @ \$ ___ /ft					
Operation	___ ft @ \$ ___ /ft					
Run 2 depth	___ ft @ \$ ___ /ft					
Operation	___ ft @ \$ ___ /ft					
Run 3 depth	___ ft @ \$ ___ /ft					
Operation	___ ft @ \$ ___ /ft					
e. Density run 1						
Depth	___ ft @ \$ ___ /ft					
Operation	___ ft @ \$ ___ /ft					
Run 2 depth	___ ft @ \$ ___ /ft					

		Dry Hole (___ Days)	Completed (___ Days)
600 Services—cont'd			
620 Logging—cont'd			
622 Wireline logging—cont'd			
e. Density Run 1—cont'd			
Operation	___ ft @ \$ ___ /ft		
Run 3 depth	___ ft @ \$ ___ /ft		
Operation	___ ft @ \$ ___ /ft		
f. Dipmeter run 1			
Depth	___ ft @ \$ ___ /ft		
Operation	___ ft @ \$ ___ /ft		
Run 2 depth	___ ft @ \$ ___ /ft		
Operation	___ ft @ \$ ___ /ft		
g. Photoinclonometer			
Run 1 depth	___ ft @ \$ ___ /ft		
Operation	___ ft @ \$ ___ /ft		
h. Neutron			
Run 1 depth	___ ft @ \$ ___ /ft		
Operation	___ ft @ \$ ___ /ft		
i. Misc. logs			
Run 1 depth	___ ft @ \$ ___ /ft		
Operation	___ ft @ \$ ___ /ft		
Run 2 depth	___ ft @ \$ ___ /ft		
Operation	___ ft @ \$ ___ /ft		
Run 3 depth	___ ft @ \$ ___ /ft		
Operation	___ ft @ \$ ___ /ft		
j. Cores			
Run 1 depth	___ ft @ \$ ___ /ft		
___ cores @ ___ /ft			
Run 2 depth	___ ft @ \$ ___ /ft		
___ cores @ ___ /ft			
Run 3 depth	___ ft @ \$ ___ /ft		
___ cores @ ___ /ft			
623 Perforating			
a. Gamma ray:			
Run 1 depth	___ ft @ ___ /ft		
Operation	___ ft @ ___ /ft		
b. Combination GR neutron:			
Run 1 depth	___ ft @ ___ /ft		
Operation	___ ft @ ___ /ft		
c. Gun			
Run 1 depth	___ ft @ ___ /ft		
___ shots—charge ___			
Run 2 depth	___ ft @ ___ /ft		
___ shots—charge ___			
Run 3 depth	___ ft @ ___ /ft		
___ shots—charge ___			
d. Oriented perforating for multiple completions:			
Run 1 depth	___ ft @ ___ /ft		

Ανάλυση και εκτίμηση κόστους γεωτρήσεων υδρογονανθράκων

							Dry Hole	Completed
							(— Days)	(— Days)
	Run 2 depth	___ ft @ ___ /ft						
	Run 3 depth	___ ft @ ___ /ft						
e.	Cement retainer							
	Run 1 operation chg.	___						
	Run 2 operation chg.	___						
624	Formation tester							
	Test 1 depth	___ ft @ ___ /ft						
	___ test	@ ___ /test						
	Test 2 depth	___ ft @ ___ /ft						
	___ test	@ ___ /test						
	Test 3 depth	___ ft @ ___ /ft						
	___ test	@ ___ /test						
625	Completion services							
a.	Neutron							
	Run 1 depth	___ ft @ ___ /ft						
	Operation	___ ft @ ___ /ft						
b.	CBL							
	Run 1 depth	___ ft @ ___ /ft						
	Operation	___ ft @ ___ /ft						
c.	Formation testing through casing w/squeeze adapter							
	Run 1 depth	___ ft @ ___ /ft						
	Operation	___ ft @ ___ /ft						
	Run 2 depth	___ ft @ ___ /ft						
	Operation	___ ft @ ___ /ft						
	Run 3 depth	___ ft @ ___ /ft						
	Operation	___ ft @ ___ /ft						
d.	Bridge plug							
	Run 1 operation charge							
	Run 2 operation charge							
e.	Production packer							
	Run 1 operation charge							
	Run 2 operation charge							
630	Tubular inspection							
631	Surface casing size ___							
	Wt.	Grade	Hydro-static test	Electro-magnetic test	Visual end test	Other		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
632	Intermediate casing size ___							
	Wt.	Grade	Hydro-static test	Electro-magnetic test	Visual end test	Other		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
600	Services—cont'd							
630	Tubular inspection—cont'd							
633	First liner size ___							
	Wt.	Grade	Hydro-static test	Electro-magnetic test	Visual end test	Other		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
634	Second liner size ___							
	Wt.	Grade	Hydro-static test	Electro-magnetic test	Visual end test	Other		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
635	Production size ___							
	Wt.	Grade	Hydro-static test	Electro-magnetic test	Visual end test	Other		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
636	Tieback string size ___							
	Wt.	Grade	Hydro-static test	Electro-magnetic test	Visual end test	Other		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
637	Tubing size ___							
	Wt.	Grade	Hydro-static test	Electro-magnetic test	Visual end test	Other		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
	___	___	___	___	___	___		
640	Galley ___ man crew ___ days @ ___ /day							
	Food: ___ men ___ days @ ___ /man-day							
	Lodging: ___ men ___ days @ ___ /man-day							
650	Welding, labor, rental equipment service							
651	Welding							
	a. Conductor csg. ___ hr @ ___ /hr							
	b. Surface csg. ___ hr @ ___ /hr							

Ανάλυση και εκτίμηση κόστους γεωτρήσεων υδρογονανθράκων

				Dry Hole	Completed
				(— Days)	(— Days)
c. Intermediate csg. ___ hr @ ___ /hr	_____	_____			
d. Other csg. ___ hr @ ___ /hr	_____	_____			
e. Maintenance ___ hr @ ___ /hr	_____	_____			
f. Construction ___ hr @ ___ /hr	_____	_____			
g. Rods & material ___ hr @ ___ /hr	_____	_____			
h. Machine rental ___ hr @ ___ /hr	_____	_____			
i. Other _____	_____	_____			
652 Labor					
a. Location ___ man crew for ___ hr @ ___ /hr	_____	_____			
b. Csg. load & unload ___ man crew for ___ hr @ ___ /hr	_____	_____			
c. Mud load & unload ___ man crew for ___ hr @ ___ /hr	_____	_____			
d. Maintenance ___ man crew for ___ hr @ ___ /hr	_____	_____			
e. Construction ___ man crew for ___ hr @ ___ /hr	_____	_____			
f. Other ___ man crew for ___ hr @ ___ /hr	_____	_____			
653 Rental equipment service					
a. Monitoring and mud-related equipment ___ hr @ ___ /hr (avg. figure)	_____	_____			
b. Adjustable chokes, etc. ___ hr @ ___ /hr (avg. figure)	_____	_____			
c. Wellhead equipment ___ hr @ ___ /hr (avg. figure)	_____	_____			
d. Other ___ hr @ ___ /hr (avg. figure)	_____	_____			
660 Formation testing and coring					
661 Formation testing					
a. Service man ___ hr @ ___ /hr Minimum charge _____	_____	_____			
b. Tool rental ___ days @ ___ /day ___ uses @ ___ /use	_____	_____			
c. Test unit					
1. Unit charge ___ days @ ___ /day Standby ___ days @ ___ /day	_____	_____			
2. Crew charge ___ days @ ___ /day	_____	_____			
d. Other _____	_____	_____			
662 Coring					
a. Core barrel rental ___ days @ ___ /day	_____	_____			
b. Service man ___ days @ ___ /day	_____	_____			
c. Special equipment					
1. Power swivel ___ days @ ___ /day	_____	_____			
2. Hydraulic rotary ___ days @ ___ /day	_____	_____			
3. Other ___ days @ ___ /day	_____	_____			
d. Other _____	_____	_____			
670 Fishing and directional consultants					
671 Fishing ___ days @ ___ /day	_____	_____			
672 Directional driller ___ days @ ___ /day	_____	_____			
a. Equipment					
Whipstocks _____	_____	_____			
Knuckle joints _____	_____	_____			
Downhole drives _____	_____	_____			
Special D.C. (Monel, etc.) _____	_____	_____			
Other _____	_____	_____			
600 Services—cont'd					
680 Acidizing, fracturing, and sand control					
681 Acidizing					
a. ___ gal ___ acid @ ___ /gal	_____	_____			
b. ___ gal ___ acid @ ___ /gal	_____	_____			
c. ___ gal ___ acid @ ___ /gal	_____	_____			
d. Pumping charge ___ hhp @ ___ \$/hhp	_____	_____			
e. Mileage ___ tons for ___ miles @ ___ /ton mile	_____	_____			
f. Other _____	_____	_____			
682 Fracturing					
a. Chemical additives ___ lb @ ___ /lb	_____	_____			
b. Chemical additives ___ lb @ ___ /lb	_____	_____			
c. Chemical additives ___ lb @ ___ /lb	_____	_____			
d. Pumping Charge ___ hhp @ ___ \$/hhp	_____	_____			
e. Blending Charge ___ blenders @ ___ /blender	_____	_____			
f. Propping agent ___ lb ___ mesh @ ___ /lb	_____	_____			
g. Propping agent ___ lb ___ mesh @ ___ /lb	_____	_____			
h. Propping agent ___ lb ___ mesh @ ___ /lb	_____	_____			
i. Other _____	_____	_____			
690 Miscellaneous					
700 Transportation					
710 Trucking					
711 Rig move ___ tons for ___ miles @ ___ /ton-mile	_____	_____			
712 Drillstrings ___ tons for ___ miles @ ___ /ton-mile	_____	_____			
713 Other drilling tools ___ tons for ___ miles @ ___ /ton-mile	_____	_____			
714 Mud materials ___ tons for ___ miles @ ___ /ton-mile	_____	_____			
715 Water ___ tons for ___ miles @ ___ /ton-mile	_____	_____			
716 Rental equip. ___ tons for ___ miles @ ___ /ton-mile	_____	_____			
717 Services ___ tons for ___ miles @ ___ /ton-mile	_____	_____			
718 Casing ___ tons for ___ miles @ ___ /ton-mile	_____	_____			
719 Other ___ tons for ___ miles @ ___ /ton-mile	_____	_____			
720 Marine					
721 Crew boats: ___ boats ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____			
722 Work boats: ___ boats ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____			
723 Barges: ___ barges ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____			
724 Docking chgs: ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____			
725 Loading & unloading charges _____	_____	_____			
726 Tugs ___ days @ ___ /day	_____	_____			
727 Derrick rams ___ days @ ___ /day	_____	_____			
728 Divers ___ hr @ ___ /hr	_____	_____			
729 Other _____	_____	_____			
730 Air					
731 Helicopter ___ days @ \$ ___ /day	_____	_____			
732 Plane ___ hr @ \$ ___ /hr	_____	_____			
733 Other _____	_____	_____			

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ανάλυση και εκτίμηση κόστους γεωτρήσεων υδρογονανθράκων

		Dry Hole	Completed
		(___ Days)	(___ Days)
	c. Scratchers ___ @ \$ ___ each	_____	_____
	d. Hangers _____	_____	_____
	e. Packers _____	_____	_____
	f. Tie-in landing nipple _____	_____	_____
	g. Other _____	_____	_____
967	Production casing		
	a. Float equipment		
	1. Shoe—@ \$ ___ each	_____	_____
	2. Collar—@ \$ ___ each	_____	_____
	b. Centralizers ___ @ \$ ___ each	_____	_____
	c. Scratchers:		
	Reciprocating, ___ @ \$ ___ each	_____	_____
	Rotating, ___ @ \$ ___ each	_____	_____
	d. D.V. Tools: ___ @ \$ ___ each	_____	_____
	e. Crossovers: ___ @ \$ ___ each	_____	_____
	f. Other _____	_____	_____
1000	Wellhead Equipment		
1010	Section 1 ___" ser. × ___" series	_____	_____
	a. Valves: ___ valves, rated @ \$ ___ /valve	_____	_____
	b. Adapter flanges,		
	from ___" ser to ___" series @ \$ ___ /flange	_____	_____
	c. Other (ring gaskets etc.)	_____	_____
1020	Section 2 ___" ser. × ___" series	_____	_____
	a. Valves: ___ valves, rated @ ___ for \$ ___ /valve	_____	_____
	b. Adapter flanges,		
	from ___" ser. to ___" series @ ___ /flange	_____	_____
	c. Other _____	_____	_____
1030	Section 3 ___" ser. × ___" series	_____	_____
	a. Valves: ___ valves, rated @ ___ for \$ ___ /valve	_____	_____
	b. Adapter flanges,		
	from ___" ser. to ___" series @ ___ /flange	_____	_____
	c. Other _____	_____	_____
1040	Section 4 (Christmas tree) ___" series × ___" series	_____	_____
	a. Valves _____		
	Master valves ___ valves rated @ ___ for \$ ___ /valve	_____	_____
	Wing valves ___ valves rated @ ___ for \$ ___ /valve	_____	_____
	Swabbing valves ___ valves rated @ ___ for \$ ___ /valve	_____	_____
	b. Adapter bonnet ___" ser flange		
	× ___" ser std top \$ ___ /bonnet	_____	_____
	c. Toe std ___" ser run × ___" ser outlet \$ ___ /toe	_____	_____
	d. Choke body ___" ser \$ ___ /choke	_____	_____
	e. Other _____	_____	_____
1050	Miscellaneous		
1100	Completion Equipment		
1105	Packers		
	a. ___" × ___" type @ \$ ___ /pkr.	_____	_____
	b. ___" × ___" type @ \$ ___ /pkr	_____	_____
	c. ___" × ___" type @ \$ ___ /pkr	_____	_____
1110	Blast and Land Nipples		
	a. ___ Blast nipples @ \$ ___ /nipple	_____	_____
	b. ___ Landing nipples @ \$ ___ /nipple	_____	_____
1100	Completion Equipment—cont'd		
1115	Special liners: ___ @ \$ ___ /liner	_____	_____
1120	Safety joints: ___ @ \$ ___ /joint	_____	_____
1125	Subsurface valves: ___ @ \$ ___ /valve	_____	_____
1130	Tailpipe assembly and seals		
	a. Stinger: ___ ft @ \$ ___ /ft	_____	_____
	b. Seals: ___ seals @ \$ ___ /seal	_____	_____
1135	Lift equipment		
	a. Mandrels: ___ @ \$ ___ each	_____	_____
	b. Valves: ___ @ \$ ___ each	_____	_____
	c. Surface controller _____	_____	_____
	d. Sucker rods: ___ @ \$ ___ each	_____	_____
	e. Downhole pumps: ___ @ \$ ___ each	_____	_____
	f. Polished rods: ___ @ \$ ___ each	_____	_____
	g. Other _____	_____	_____
1140	Gravel packing equipment	_____	_____
1150	Miscellaneous	_____	_____

