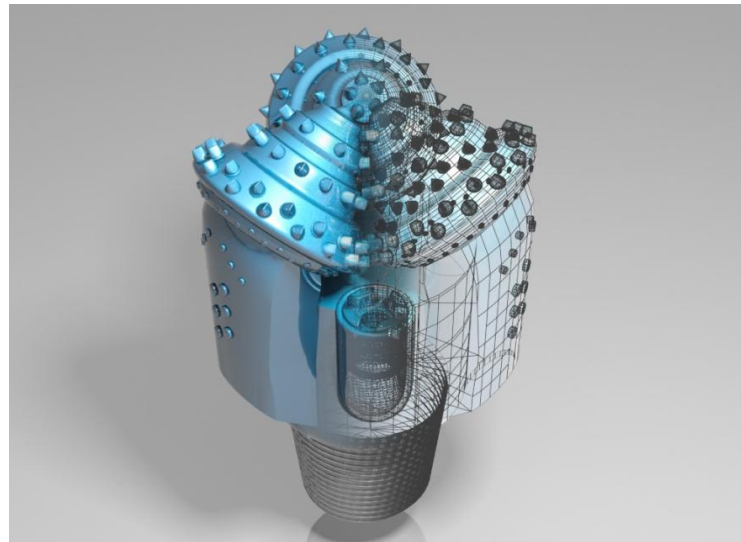


ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

ΚΑΝΕΛΛΟΣ ΣΤΑΥΡΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΣΤΕΙΑΚΑΚΗΣ Ε., επ. καθηγητής Μηχ.Ο.Π. (επιβλέπων)

ΚΕΛΕΣΙΔΗΣ Β., καθηγητής Μηχ.Ο.Π.

ΑΓΙΟΥΤΑΝΤΗΣ Ζ., καθηγητής Μηχ.Ο.Π.

ΧΑΝΙΑ

Ιούνιος, 2014

Πρόλογος

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κελεσίδη Βασίλη, καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, ο οποίος δέχτηκε να συνεργαστεί μαζί μου για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Εξίσου, ευχαριστώ και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, κ. Στειακάκη Μανώλη και κ. Αγιουτάντη Ζαχαρία που συμμετείχαν στη διόρθωση και αξιολόγηση της εργασίας αυτής.

Σημαντική ήταν επίσης η συμβολή του κ. Διαμαντάκη Δημήτρη (διπλωματούχος Μεταλλειολόγος Μηχανικός του ΕΜΠ), ο οποίος επέτρεψε να παρευρεθώ σε εργασίες διάνοιξης υδρογεωτρήσεων στο νομό Χανίων, με σκοπό την παρακολούθηση των σταδίων κατασκευής τους.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω και στον κ. Κυριακούλα Νίκο (διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός του ΕΜΠ), ο οποίος με βοήθησε να κατανοήσω σε μεγαλύτερο βαθμό ορισμένες έννοιες που πραγματεύεται η εν λόγω διπλωματική εργασία.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά όλους εκείνους που άμεσα ή έμμεσα συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της διπλωματικής αυτής.

Με βαθιά εκτίμηση,

Σταύρος Κανέλλος

Χανιά, 2014

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Λέξεις κλειδιά: Υδρογεωτρήσεις, κοπτικό άκρο, γεωτρητικές παράμετροι, τεχνικές διάτρησης

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σκοπό τον προσδιορισμό των βασικότερων παραμέτρων της ανόρυξης και την περιγραφή των σταδίων κατασκευής των υδρογεωτρήσεων.

Οι γεωτρήσεις γενικά έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογών, όπως είναι η εκμετάλλευση των υδρογονανθράκων και γεωθερμικών πεδίων, ο εντοπισμός και η οριοθέτηση των κοιτασμάτων, οι γεωτεχνικές εφαρμογές, οι περιβαλλοντικές εφαρμογές, ο εντοπισμός και η εκμετάλλευση του υπόγειου νερού κ.ά. Η συγκεκριμένη εργασία ασχολείται αποκλειστικά με τις υδρογεωτρήσεις λόγω της μεγάλης χρησιμότητάς τους στην καθημερινότητα του ανθρώπου (πχ: ύδρευση, άρδευση κλπ).

Στα κεφάλαια που ακολουθούν αναλύονται οι παράμετροι που διαμορφώνουν την ταχύτητα διάτρησης και περιγράφεται ο τρόπος επίδρασής αυτών. Επίσης παρατίθενται διάφορες τεχνικές διάτρησης που χρησιμοποιούνται για την ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων. Τέλος παρουσιάζονται οι αιτίες των κυριότερων προβλημάτων που εκδηλώνονται κατά τις εργασίες διάνοιξης, προτείνοντας παράλληλα τρόπους πρόληψης ή αντιμετώπισής τους.

Η εν λόγω διπλωματική εργασία στο σύνολό της εκτιμάται ότι θα μπορέσει να βοηθήσει τον αναγνώστη να κατανοήσει τον τρόπο για την κατασκευή ασφαλέστερων και ταχύτερων υδρογεωτρήσεων στο μέλλον στο χαμηλότερο δυνατό κόστος.

Να σημειωθεί, ότι οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις των εξεταστών.

WATER WELL DRILLING TECHNIQUES

key words: Water wells, drill bits, drilling parameters, drilling methods

ABSTRACT

Drillings have a great number of applications, such as the exploration - localization of mineral resources, environmental restoration, oil and geothermal fields exploitation, geotechnical applications such as bridges, megastructures, houses, identification and exploitation of underground water etc.

This paper aim specifically at the construction of the water wells, because it seems that the search and exploitation of underground water reserves through boreholes, can help people to cover their daily needs all over the world in several fields (irrigation, public supplies, industry etc).

The aim of the present study was to analyze the construction stages of drillings, describe methods of drilling boreholes which are practiced in Greece and abroad and find out which are the most important drilling parameters that affect the rate of penetration (ROP). Rate of penetration is an extremely significant factor that define the total cost and the stability of the boreholes.

Please note that the notions and conclusions stated in this document reflect the author's viewpoint and should not be interpreted as representing the official positions of the examiners.

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες	i
Περίληψη	ii
Abstract	iii
Πίνακας περιεχομένων	iv
Κατάλογος Διαγραμμάτων	viii
Κατάλογος Εικόνων	ix
Κατάλογος Σχημάτων	xi
Εισαγωγή	xiii
Οργάνωση διπλωματικής εργασίας	xiv
Κεφάλαιο 1^ο - Υπόγειοι υδροφορείς	1
1.1. Αποθήκευση του επιφανειακού νερού στο υπέδαφος	1
1.2. Υδραυλικές παράμετροι υδροφόρων στρωμάτων	2
1.2.1. Υδροπερατότητα ή υδραυλική αγωγιμότητα (k)	2
1.2.2. Μεταβιβαστικότητα (T)	3
1.2.3. Αποθηκευτικότητα (S)	3
Κεφάλαιο 2^ο – Τεχνικές διάτρησης πετρωμάτων για την ανόρυξη υδρογεωτρήσεων	5
2.1. Εισαγωγή στις τεχνικές διάτρησης	5
2.1.1. Κρουστική μέθοδος διάτρησης με συρματοσχίνο	5
2.1.2. Κρουστική μέθοδος διάτρησης με στελέχη και κυκλοφορία πολφού	7
2.1.3. Περιστροφική μέθοδος διάτρησης	9
2.1.3.1. Περιστροφική με θετική και ανάστροφη κυκλοφορία πολφού	9
2.1.3.2. Περιστροφική με θετική και ανάστροφη κυκλοφορία αέρα	11

2.1.3.3. Περιστροφική με αφρό	13
2.1.4. Μέθοδος ελικοειδούς διάτρησης συμπαγούς στελέχους.....	14
2.1.5. Περιστροφική μέθοδος με κάδο.....	15
2.1.6. Κρουστικοπεριστροφική διάτρηση	16
2.2. Εξέλιξη των τεχνικών διάτρησης.....	17
2.3. Εισαγωγή στα γεωτρητικά ρευστά	20
2.3.1. Πολφός	20
2.3.2. Αέρας	21
2.3.3. Αφρός	22
 Κεφάλαιο 3^ο -Το γεωτρύπανο στην περιστροφική διάτρηση	20
3.1. Είδη γεωτρυπάνου	23
3.2. Τα μέρη του μηχανικού, περιστροφικού γεωτρυπάνου	25
3.2.1. Πύργος	26
3.2.2. Κινητήρας	26
3.2.3. Πηλαντλία και αεροσυμπιεστής	26
3.2.4. Περιστρεπτός τροφοδότης νερού ή πολφού.....	26
3.2.5. Στέλεχος kelly και περιστροφική τράπεζα	27
3.2.6. Διατρητική στήλη	28
3.2.6.1. Κολάρα και σταθεροποιητές	30
3.2.6.2. Περικοπτήρας ή αποξεστήρας.....	31
3.2.6.3. Κοπτικό άκρο	31
 Κεφάλαιο 4^ο - Γεωτρητικές παράμετροι	34
4.1. Εισαγωγή στις γεωτρητικές παραμέτρους	34
4.1.1. Επίδραση του εφαρμοζόμενου βάρους στο κοπτικό	34
4.1.2. Επίδραση της ταχύτητας περιστροφής της στήλης	37

4.1.3. Επίδραση του κοπτικού άκρου	38
4.1.4. Επίδραση του γεωτρητικού ρευστού	42
4.1.5. Όργανα επί τόπου μέτρησης των ιδιοτήτων του πολφού	44
4.2. Συστήματα καταγραφής των γεωτρητικών παραμέτρων.....	45
4.3. Βελτιστοποίηση της διατρητικής διαδικασίας μέσω προγραμμάτων εξομώσεως.....	47
4.4. Συμπεράσματα.....	48
 Κεφάλαιο 5° – Υδρογεωτρήσεις	49
5.1. Κατασκευή υδρογεωτρήσεων.....	49
5.2. Ερευνητική υδρογεώτρηση	50
5.2.1. Εφαρμογή γεωφυσικών μεθόδων στην επιφάνεια του εδάφους	50
5.2.2. Εφαρμογή διασκοπήσεων	51
5.2.2.1. Διασκόπηση ηλεκτρικής αντίστασης	52
5.2.2.2. Διασκόπηση ακτινοβολίας γ	52
5.2.2.3. Διασκόπηση δυναμικού	53
5.2.2.4. Διασκόπηση νετρονίων	53
5.2.2.5. Ηχητική διασκόπηση	54
5.2.2.6. Διασκόπηση θερμοκρασίας	55
5.2.3. Μελέτη χαρτών	55
5.2.4. Γεωτρητικές τομές	56
5.3. Παραγωγική υδρογεώτρηση.....	57
5.3.1. Εργασίες συμπλήρωσης των παραγωγικών υδρογεωτρήσεων	58
5.3.1.1. Απόπλυση υδρογεώτρησης	58
5.3.1.2. Σωλήνωση υδρογεώτρησης	58
5.3.1.3. Κατακορυφότητα και ευθυγραμμία υδρογεώτρησης	62

5.3.1.4. Χαλίκωση υδρογεώτρησης	63
5.3.1.5. Ανάπτυξη υδρογεώτρησης	65
5.3.1.6. Δοκιμαστικές αντλήσεις.....	69
5.3.1.7. Αντλίες υδρογεωτρήσεων	70
5.3.1.8. Κατασκευή τσιμεντένιας βάσης	70
 Κεφάλαιο 6^ο - Συνήθη προβλήματα κατά την ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων.....	71
6.1. Συνήθη προβλήματα κατά την ανόρυξη.....	71
6.1.1. Κατάρρευση των τοιχωμάτων της γεώτρησης	72
6.1.2. Απώλεια γεωτρητικού ρευστού στους περιβάλλοντες σχηματισμούς	73
6.1.3. Εκφόρτιση και απομόνωση υδροφόρων στρωμάτων	74
6.1.4. Αστοχία διατρητικών στελεχών	75
6.1.5. Έκκεντρη σύνδεση των διατρητικών στελεχών	75
6.1.6. Έκρηξη στην υδρογεώτρηση λόγω ύπαρξης βιοαερίου	76
6.1.7. Αποκλίσεις από την κατακορυφότητα.....	77
6.1.8. Άντληση νερού υψηλής περιεκτικότητας σε άμμο	77
6.1.9. Βλάβη γεωτρυπάνου ή αντλίας	78
6.1.10. Ατυχήματα από αμέλεια των εργαζομένων στην υδρογεώτρηση	78
6.1.11. Γήρανση υδρογεώτρησης	79
 Κεφάλαιο 7^ο – Συμπεράσματα και περαιτέρω έρευνα	81
7.1. Αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας	81
7.2. Περαιτέρω έρευνα	81
 Βιβλιογραφία	82

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 4.1 : Σχέση βάρους επί του κοπτικού και ταχύτητας διάτρησης.	36
Διάγραμμα 4.2 : Επίδραση της ταχύτητας περιστροφής (N) στον ρυθμό διάτρησης (R).	38
Διάγραμμα 4.3 : Απόδοση κοπτικού σε φυλλίτη (αριστερά) και ασβεστόλιθο (δεξιά) για διαφορετικής γεωμετρίας κουμπιών αερόσφυρας.	41
Διάγραμμα 5.1: Ποσοστό πληθυσμού σε διάφορες χώρες που καλύπτει τις υδατικές του ανάγκες μέσω των υδρογεωτρήσεων.	49
Διάγραμμα 5.2 : Μετρήσεις καταγραφικού οργάνου με εφαρμογή διασκόπησης δυναμικού, ηλεκτρικής αντίστασης και ακτίνων γ.	53
Διάγραμμα 5.3. : Μετρήσεις καταγραφικού οργάνου με εφαρμογή διασκόπησης νετρονίων.	54
Διάγραμμα 5.4 : Χαρακτηριστικές καμπύλες πτώσης στάθμης σε αρτεσιανή γεώτρηση και γεώτρηση σε υπό πίεση υδροφόρο στρώμα.	70

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1: Απεικόνιση αρτεσιανής γεώτρησης, γεώτρησης σε υπό πίεση υδροφορέα, και γεώτρησης σε ελεύθερο υδροφορέα.	2
Εικόνα 2.1 : Διάτρηση με χρήση αέρα ως γεωτρητικό ρευστό.	11
Εικόνα 2.2 : Διάτρηση με χρήση αφρού.	14
Εικόνα 2.3 : Γεωτρύπανο ελικοειδούς διάτρησης (Solid stem auger drilling).	15
Εικόνα 2.4: Γεώτρηση με την περιστροφική μέθοδο με κάδο.	15
Εικόνα 2.5 : Ηχητική διάτρηση.	19
Εικόνα 2.6 : Παρουσίαση αεροσυμπιεστή.	22
Εικόνα 3.1 : Παρουσίαση υδρογεωτρυπάνου ενσωματωμένο σε φορητό.	23
Εικόνα 3.2 : Ευέλικτα υδρογεωτρύπανα.	24
Εικόνα 3.3 : Διάφοροι τύποι αποξεστήρων.	31
Εικόνα 3.4: Τρίγωνο περιστροφικό κοπτικό άκρο με ένθετα βολφραμίου και χαλύβδινα δόντια του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωτρήσεων στο Πολυτεχνείο Κρήτης.	32
Εικόνα 3.5 : Κοπτικό άκρο τριβής.	32
Εικόνα 4.1 : Λεπτομέρεια του εμπρόσθιου τμήματος του τρίγωνου περιστροφικού άκρου.	39
Εικόνα 4.2 : Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοπτικού άκρου τριβής.	40
Εικόνα 4.3: Ζυγός μέτρησης πυκνότητας πολφού του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωτρήσεων και Ρευστομηχανικής στο Πολυτεχνείο Κρήτης και χωνί Marsh.	44
Εικόνα 4.4: Συσκευή μέτρησης του ιξώδους (viscometer) του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωτρήσεων και Ρευστομηχανικής στο Πολυτεχνείο Κρήτης.	45
Εικόνα 4.5: Ρυθμίσεις γεωτρητικών παραμέτρων με χρήση του προγράμματος εξομοίωσης Payzone.	47
Εικόνα 4.6: Αποτελέσματα εξομοιωτή Payzone.	48
Εικόνα 5.1 : Υδρογεώτρηση.	49
Εικόνα 5.2 : Εξοπλισμός διαγραφίας ηλεκτρικής αντίστασης.	52
Εικόνα 5.3 : Τυφλοί σωλήνες και φιλτροσωλήνες.	59
Εικόνα 5.4 : Φίλτρα με αμμώδη μανδύα.	61
Εικόνα 5.5 : Οδηγός κέντρωσης για ορθότερη τοποθέτηση του φιλτροσωλήνα.	61
Εικόνα 5.6 : Παρουσίαση χαλικόφιλτρου τοποθετημένο σε υδρογεώτρηση.	65

Εικόνα 5.7 : Επιφανειακή και υποβρύχια αντλία.	70
Εικόνα 6.1: Απομόνωση υδροφορέα για την αποφυγή εκφόρτισης του.	74
Εικόνα 6.2 : Διάφοροι τύποι αλιευτικών εργαλείων.	76
Εικόνα 6.3 : Εκδήλωση πυρκαγιάς σε υδρογεώτρηση στον Αγ. Βασίλειο Κορίνθου.	77

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1 : Απελευθέρωση νερού σε α) ελεύθερο και β) υπό πίεση υδροφόρο ορίζοντα.	4
Σχήμα 2.1 : Κρουστική μέθοδος διάτρησης με συρματόσχοινο και λεπτομέρεια κοπτικού άκρου.	6
Σχήμα 2.2 : Εξοπλισμός απομάκρυνσης τριμμάτων (κάδοι).	6
Σχήμα 2.3 : Κρουστική μέθοδος με στελέχη και κυκλοφορία ρευστού.	8
Σχήμα 2.4 : Κανονική κυκλοφορία πολφού.	10
Σχήμα 2.5 : Ανάστροφη κυκλοφορία πολφού.	10
Σχήμα 2.6 : Διάτρηση με ανάστροφη κυκλοφορία πολφού (αριστερά) και διατρητικό στέλεχος διπλού σωλήνα ανάστροφης κυκλοφορίας αέρα της εταιρείας FOREMOST.	12
Σχήμα 2.7 : Μηχανισμός αερόσφυρας.	16
Σχήμα 2.8 : Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου διάτρησης ανάλογα με τους σχηματισμούς.	17
Σχήμα 2.9: Λάκκοι πολφού.	21
Σχήμα 3.1 : Τυπικό μηχανικό, περιστροφικό υδρογεωτρύπανο.	25
Σχήμα 3.2 : Περιστρεπτός τροφοδότης νερού ή πολφού.	27
Σχήμα 3.3 : Παρουσίαση ανώτερης συνδεσμολογίας γεωτρητικής στήλης (αριστερά) και λεπτομέρεια μηχανισμού περιστροφικής τράπεζας (δεξιά).	27
Σχήμα 3.4 : Μορφή διατρητικού στελέχους.	29
Σχήμα 3.5 : Σύνδεση διατρητικών στελεχών.	29
Σχήμα 4.1 : (α) Αναρτημένο βάρος διατρητικής στήλης και (β) βάρος επί του κοπτικού.	35
Σχήμα 4.2 : Η δύναμη του βάρους σε συνδυασμό με την περιστροφή της στήλης προκαλεί ροπή στο πέτρωμα.	37
Σχήμα 4.3 : Εκκεντρότητα των κώνων σε τρίγωνο κοπτικό άκρο.	39
Σχήμα 4.4 : Απόσταση και αλληλεμπλοκή κώνων σε τρίγωνο περιστροφικό άκρο.	40
Σχήμα 4.5 : Τύποι κουμπιών σε αερόσφυρες.	41
Σχήμα 4.6 : Αναπαράσταση συστήματος Diagnostics While Drilling.	46
Σχήμα 5.1 : Εφαρμογή διασκοπήσεων σε γεώτρηση.	51

Σχήμα 5.2 : Ηχητική διαγραφία.	55
Σχήμα 5.3 : Παράδειγμα γεωτρητικής τομής σε υδρογεώτρηση, όπου παρουσιάζονται πληροφορίες σχετικά με τα στρώματα και τον υδροφόρο ορίζοντα.	56
Σχήμα 5.4 : Τελική μορφή υδρογεώτρησης και τα επιμέρους στοιχεία της.	57
Σχήμα 5.5 : Διαφορετικά είδη ανοίγματος σε φιλτροσωλήνες: a) Κυκλικές ή ορθογώνιες οπές, b) Κατακόρυφες οπές, c) Οριζόντιες οπές, d) Οριζόντιες οπές, e) Περιδωτές σχισμές, f) Συνεχείς σχισμές, g) Τύπου γέφυρα.	60
Σχήμα 5.6 : Κατακορυφότητα και ευθυγραμμία υδρογεώτρησης.	62
Σχήμα 5.7 : Διάταξη για τον έλεγχο της κατακορυφότητας.	63
Σχήμα 5.8 : Ανάπτυξη υδρογεώτρησης με αέρα.	66
Σχήμα 5.9 : Ανάπτυξη υδρογεώτρησης με εκτόξευση νερού.	67
Σχήμα 5.10 : Ανάπτυξη υδρογεώτρησης με μονό και διπλό έμβολο.	68
Σχήμα 6.1 : Σωλήνωση σε μη συμπαγείς σχηματισμούς.	72

Εισαγωγή

Η αξία του νερού για τη διατήρηση της ζωής και την ανάπτυξη των κοινωνιών είναι αδιαμφισβήτητη. Ο άνθρωπος προκειμένου να ανιχνεύσει και να συλλέξει το γλυκό νερό που υπάρχει τόσο στην επιφάνεια όσο και στο υπέδαφος επινόησε διάφορες μεθόδους και κατασκεύασε πλήθος τεχνικών έργων (πχ: φράγματα, λιμνοδεξαμενές, υδρογεωτρήσεις κ.ά).

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στις υδρογεωτρήσεις. Οι υδρογεωτρήσεις αποτελούν ορύγματα μεγάλου βάθους σε σχέση με τη διάμετρο τους, τα οποία εξυπηρετούν στην αναζήτηση και εκμετάλλευση των υδροφόρων στρωμάτων. Για τη διάνοιξη των υδρογεωτρήσεων χρησιμοποιούνται τα γεωτρύπανα.

Στη σχεδίαση της βέλτιστης ανόρυξης παίζει σημαντικό ρόλο η κατάλληλη ρύθμιση των γεωτρητικών παραμέτρων. Οι γεωτρητικές παράμετροι περιγράφουν τα μεγέθη που συνδέονται με τη λειτουργία και τον εξοπλισμό του γεωτρυπάνου συμπεριλαμβανομένου του γεωτρητικού ρευστού. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η περιγραφή των παραμέτρων αυτών και η εξέταση του τρόπου επίδρασης τους στο ρυθμό προχώρησης του κοπτικού.

Στα πλαίσια της διπλωματικής γίνεται ακόμη παρουσίαση ορισμένων τεχνικών διάτρησης. Ορισμένες από αυτές εφαρμόζονται κατά κόρον στο πεδίο, ενώ άλλες αναμένεται να χρησιμοποιηθούν στο εγγύς μέλλον καθώς εκτιμάται ότι θα συντελέσουν στην γρηγορότερη και οικονομικότερη διάτρηση των πετρωμάτων.

Οργάνωση της διπλωματικής εργασίας

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αποτελείται από 7 κεφάλαια, το περιεχόμενο των οποίων αναφέρεται παρακάτω:

Κεφάλαιο 1. Παρουσιάζονται γενικά στοιχεία σχετικά με τους υδροφορείς και τις ιδιότητες αυτών.

Κεφάλαιο 2. Αναφέρονται οι τεχνικές διάτρησης που χρησιμοποιούνται για την ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων καθώς και οι τύποι των γεωτρητικών ρευστών.

Κεφάλαιο 3. Περιγράφονται τα μέρη του περιστροφικού γεωτρύπανου.

Κεφάλαιο 4. Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις γεωτρητικές παραμέτρους.

Κεφάλαιο 5. Παρατίθενται τα στάδια κατασκευής των υδρογεωτρήσεων.

Κεφάλαιο 6. Αναλύονται τα προβλήματα τα οποία παρουσιάζονται συχνότερα κατά την ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων. Παράλληλα προτείνονται μέτρα αποφυγής ή αντιμετώπισής τους.

Κεφάλαιο 7. Συνοψίζονται τα αποτελέσματα και γίνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα σχετικά με το θέμα της διπλωματικής.

Κεφάλαιο 1ο - Υπόγειοι υδροφορείς

1.1. Αποθήκευση του επιφανειακού νερού στο υπέδαφος

Το υπόγειο νερό προκύπτει από τη διείσδυση του επιφανειακού νερού (πχ: νερό κατακρημνισμάτων, ποτάμιο νερό κλπ.) στο υπέδαφος. Όταν το νερό συναντήσει κάποιον αδιαπέραστο σχηματισμό σχηματίζονται υπόγειες φυσικές δεξαμενές υδάτων, γνωστές και ως υδροφορείς.

Ο εντοπισμός των υδροφορέων καθώς και η εκτίμηση του δυναμικού τους, θεωρείται χρονοβόρα και πολύπλοκη διαδικασία διότι απαιτείται η συνεργασία πολλών επιστημονικών πεδίων (Υδρογεωλογία, Γεωφυσική κ.ά.). Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην ανομοιομορφία των γεωλογικών σχηματισμών, στην ανισοτροπία των υδραυλικών χαρακτηριστικών των υδροφορέων, στην κίνηση του υπόγειου νερού σε δύο ή τρεις χωρικές διαστάσεις κ.ά.

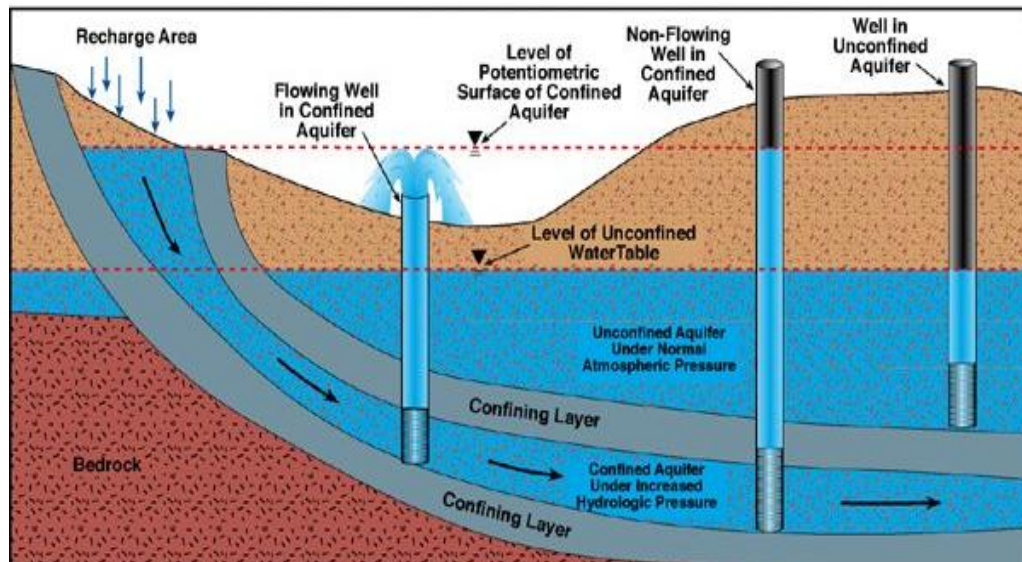
Η εκμετάλλευση των υπόγειων υδροφορέων προϋποθέτει την ύπαρξη κορεσμένων γεωλογικών σχηματισμών που χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές υδροπερατότητας καθώς και υψηλή ποιότητα του υπό άντληση νερού. Η εκμετάλλευση των υδροφορέων επιτυγχάνεται μέσω της ανόρυξης των υδρογεωτρήσεων, των οποίων τα στάδια αναφέρονται διεξοδικά σε επόμενο κεφάλαιο.

Οι υδροφορείς γενικά διακρίνονται σε δυο βασικές κατηγορίες:

- ✓ Ελεύθεροι υδροφορείς.
- ✓ Περιορισμένοι ή εγκλωβισμένοι υδροφορείς.

Στους ελεύθερους υδροφορείς δεν υπάρχει υπερκείμενος αδιαπέραστος σχηματισμός. Σε αυτή την περίπτωση το νερό που διεισδύει στο έδαφος τροφοδοτεί άμεσα και αενάως τους υδροφορείς (Κελεσίδης, 2012). Αξίζει να σημειωθεί ότι στους ελεύθερους υδροφορείς η φρεατίς στάθμη βρίσκεται στο ίδιο ύψος με την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα.

Αντίθετα στους υπό πίεση υδροφορείς το νερό βρίσκεται ανάμεσα σε δυο αδιαπέραστους σχηματισμούς. Έτσι με την ανόρυξη της υδρογεώτρησης η φρεάτιος στάθμη σχηματίζεται υψηλότερα από την στάθμη του ταμιευτήρα (Εικόνα 1.1).



Εικόνα 1.1 : Απεικόνιση αρτεσιανής γεώτρησης, γεώτρησης σε υπό πίεση υδροφορέα και γεώτρησης σε ελεύθερο υδροφορέα (πηγή: boards.straightdope.com).

Μεγάλο ενδιαφέρον, όσον αφορά την εκμετάλλευση των υδροφορέων παρουσιάζουν οι υδραυλικές τους παραμέτρους. Αυτές είναι οι ακόλουθες:

- Υδροπερατότητα ή υδραυλική αγωγιμότητα.
- Μεταβιβαστικότητα.
- Αποθηκευτικότητα.

1.2. Υδραυλικές παράμετροι υδροφόρων στρωμάτων

1.2.1. Υδροπερατότητα ή υδραυλική αγωγιμότητα (k)

Η υδροπερατότητα των σχηματισμών ή υδραυλική αγωγιμότητα (k) δείχνει την ποσότητα του νερού που θα διέλθει από μοναδιαία διατομή κάτω από υδραυλική κλίση ίση με 1. Όπως αναφέρει ο Driscoll (1987), η τιμή της υδροπερατότητας εξαρτάται από το σχήμα και το

μέγεθος των πόρων, το ενεργό πορώδες και τις ιδιότητες του ρευστού. Συνήθεις μονάδες μέτρησης της υδροπερατότητας είναι: cm/sec, m/sec, m/day κλπ.

- i. Πολύ υδροπερατοί σχηματισμοί όταν $k \geq 10^{-1}$ m/s.
- ii. Υδροπερατοί σχηματισμοί όταν $10^{-6} < k < 10^{-1}$ m/s.
- iii. Λίγο υδροπερατοί σχηματισμοί όταν $10^{-9} < k < 10^{-6}$ m/s.
- iv. Πρακτικά στεγανοί σχηματισμοί όταν $k \leq 10^{-9}$ m/s.

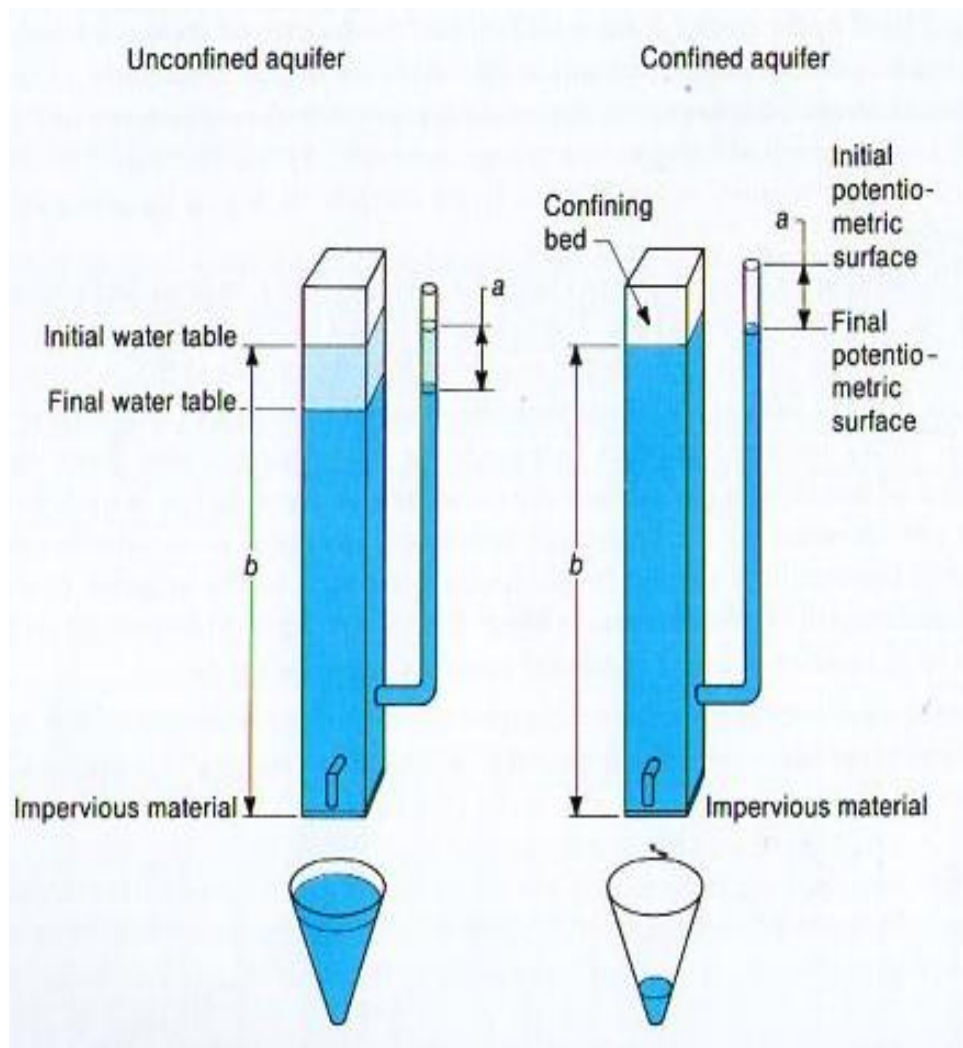
1.2.2. Μεταβιβαστικότητα (T)

Η μεταβιβαστικότητα εκφράζει την παροχευτικότητα του υδροφορέα, δηλαδή τον ρυθμό ροής του νερού από διατομή μοναδιαίων διαστάσεων όταν η υδραυλική βαθμίδα μεταβληθεί κατά μια μονάδα. Υπολογίζεται βάση της σχέσης: $T = k \cdot D$, όπου k = υδροπερατότητα και D = πάχος υδροφορέα. Η μεταβιβαστικότητα έχει μονάδες μέτρησης m^2/h .

1.2.3. Αποθηκευτικότητα (S)

Η αποθηκευτικότητα του υδροφορέα εκφράζει τον όγκο του νερού που μπορεί να ληφθεί από ένα κύβο υδροφόρου στρώματος μοναδιαίων διαστάσεων για πτώση στάθμης 1 m (Driscoll, 1987).

Στους ελεύθερους υδροφορείς η αποθηκευτικότητα ισούται με το ενεργό πορώδες των σχηματισμών σε αντίθεση με τους υπό πίεση υδροφορείς. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι, ότι με την άντληση η πτώση της πιεζομετρικής επιφάνειας επιφέρει αλλαγή στις πιέσεις που επικρατούν εντός του υδροφορέα. Έτσι το νερό διαστέλλεται (ανάλογα με την μεταβολή της πίεσης ή την πτώση της στάθμης) και ο υδροφορέας συμπιέζεται λόγω της ύπαρξης των υπερκειμένων (Σούλιος, 2007).



Σχήμα 1.1 : Απελευθέρωση νερού σε α) ζλεύθερο και β) υπό πίεση υδροφόρο ορίζοντα (πηγή: Driscoll, 1987).

Κεφάλαιο 2ο – Τεχνικές διάτρησης πετρωμάτων για την ανόρυξη υδρογεωτρήσεων

2.1. Εισαγωγή στις τεχνικές διάτρησης

Η θραύση των πετρωμάτων μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες τεχνικές. Γενικά για την επιλογή της κατάλληλης τεχνικής συνεκτιμώνται οι εξής παράγοντες:

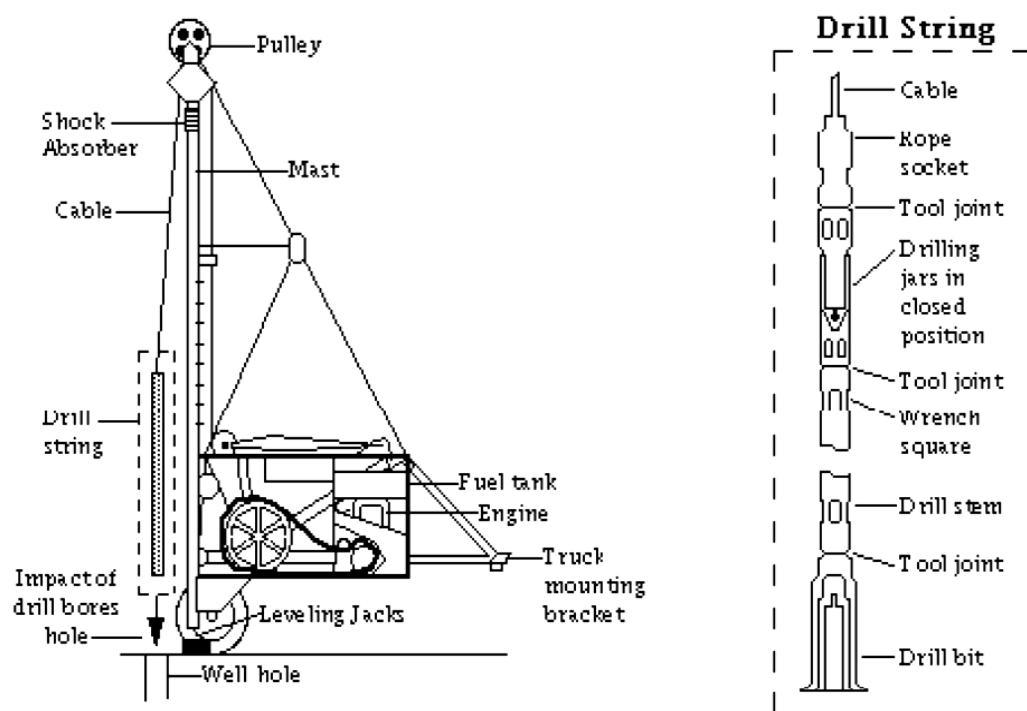
1. Είδος πετρωμάτων.
2. Διάμετρος και βάθος οπής.
3. Ρυθμός διάτρησης τεχνικής.
4. Κόστος λειτουργίας.

2.1.1. Κρουστική μέθοδος διάτρησης με συρματόσχοινο

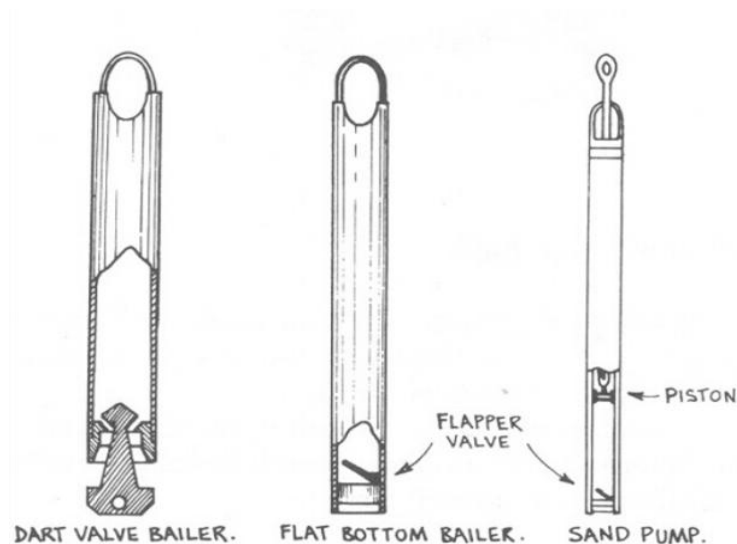
Η κρουστική μέθοδος με συρματόσχοινο είναι από τις παλαιότερες τεχνικές διάτρησης. Η αρχή λειτουργίας της εν λόγω μεθόδου βασίζεται στην ελεύθερη πτώση κοπτικού άκρου (μήκους 1-3 m και βάρους 1500 kg) πάνω στο πέτρωμα (Φυτίκας, 1998).

Όταν ο χειριστής του γεωτρύπανου αντιληφθεί μεγάλη συγκέντρωση τριμμάτων στον πυθμένα του φρέατος προβαίνει στις αναγκαίες ενέργειες απομάκρυνσής τους. Η απομάκρυνση γίνεται χρησιμοποιώντας ειδικό εξοπλισμό (κάδος τριμμάτων). Στο Σχήμα 2.2 παρουσιάζονται τρεις διαφορετικοί τύποι κάδου. Στην περίπτωση που απαντηθούν ασταθείς σχηματισμοί, απαιτείται η επένδυση της γεώτρησης με περιφραγματικούς σωλήνες για την αποφυγή καταπτώσεων των τοιχωμάτων της γεώτρησης.

Cable Tool Drilling



Σχήμα 2.1 : Κρουστική μέθοδος διάτρησης με συρματόσχοινο και λεπτομέρεια κοπτικού άκρου (πηγή: Κελεσίδης, 2012).



Σχήμα 2.2 : Εξοπλισμός απομάκρυνσης τριμμάτων (κάδοι), πηγή: www.petroleumhistory.org.

Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου συμπεριλαμβάνονται το φθινό κόστος του εξοπλισμού και η ευκολία στην χρήση και μεταφορά του σε απομακρυσμένες και δυσπρόσιτες περιοχές. Επιπλέον ο μηχανισμός του κρουστικού γεωτρυπάνου καταναλώνει ελάχιστα καύσιμα σε σχέση με τις τεχνικές που ακολουθούν και γενικά είναι εύκολος στη συντήρηση.

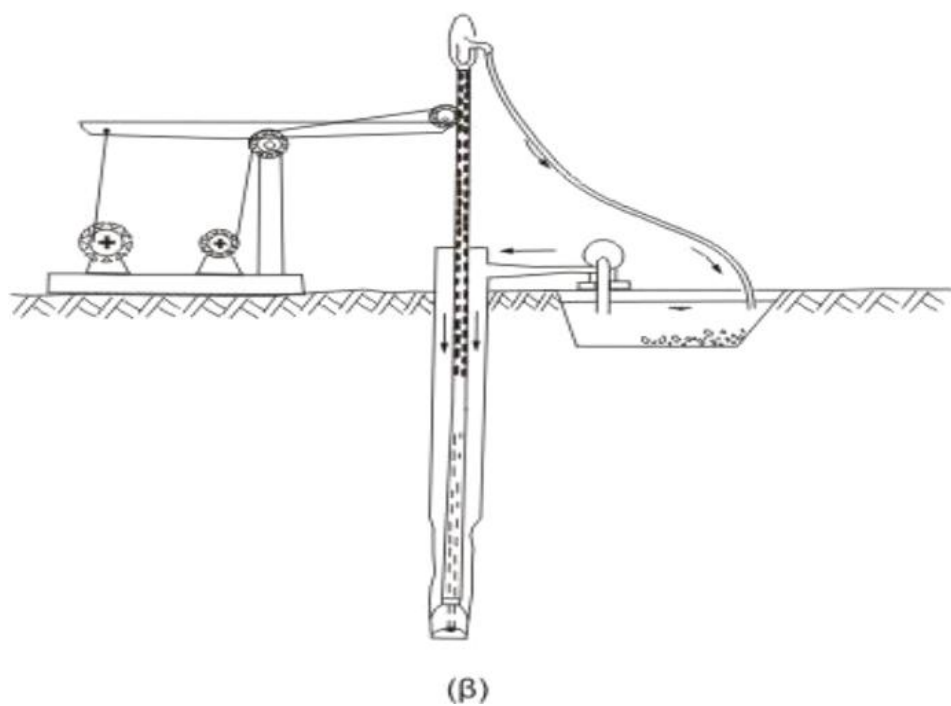
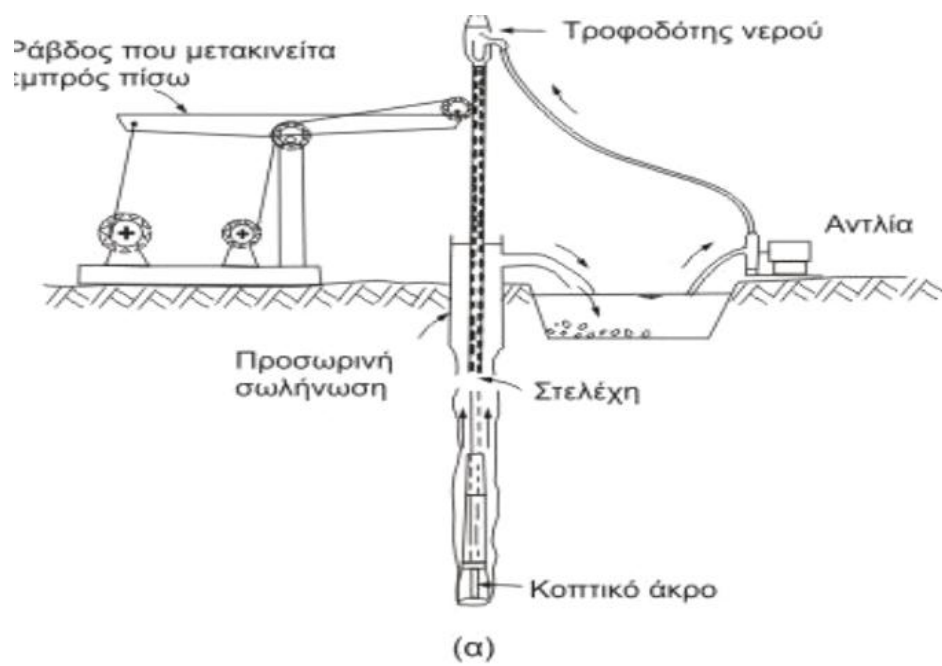
Στα μειονεκτήματα της μεθόδου περιλαμβάνονται οι έντονοι ήχοι που παράγονται από την κρούση, οι πολύ αργοί ρυθμοί προχώρησης και ο περιορισμός όσον αφορά το βάθος (100 m) και τη διάμετρο του φρέατος.

Όπως αναφέρει η American Ground Water Trust (<http://www.agwt.org/>), υπάρχουν εκατομμύρια γεωτρήσεις νερού παγκοσμίως που ανορύχθηκαν επιτυχώς με τη συγκεκριμένη μέθοδο, πράγμα που την καθιστά αρκετά αξιόπιστη.

2.1.2. Κρουστική μέθοδος διάτρησης με στελέχη και κυκλοφορία πολφού

Παραλλαγή της παραπάνω μεθόδου αποτελεί η κρουστική διάτρηση, όπου το συρματόσχοινο αντικαθίσταται από κοίλα στελέχη. Και σε αυτήν την περίπτωση η θραύση των πετρωμάτων πραγματοποιείται με αλληπάλληλες κρούσεις του κοπτικού με ταυτόχρονη κυκλοφορία γεωτρητικού ρευστού, το οποίο διέρχεται διαμέσου των στελεχών, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.3 (Σούλιος, 2008).

Πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελούν οι υψηλότερες ταχύτητες διάτρησης σε σύγκριση με την κρουστική με συρματόσχοινο, δεδομένου ότι το βάρος των στελεχών συνεισφέρει στην ταχύτερη θραύση των πετρωμάτων. Στα μειονεκτήματα της μεθόδου συμπεριλαμβάνονται η κακή δειγματοληψία και η αδυναμία εντοπισμού υδροφορέων μικρής δυναμικότητας.



Σχήμα 2.3 : Κρουστική μέθοδος με στελέχη και κυκλοφορία ρευστού
(πηγή: Καλλέργης, 1999).

2.1.3. Περιστροφική μέθοδος διάτρησης

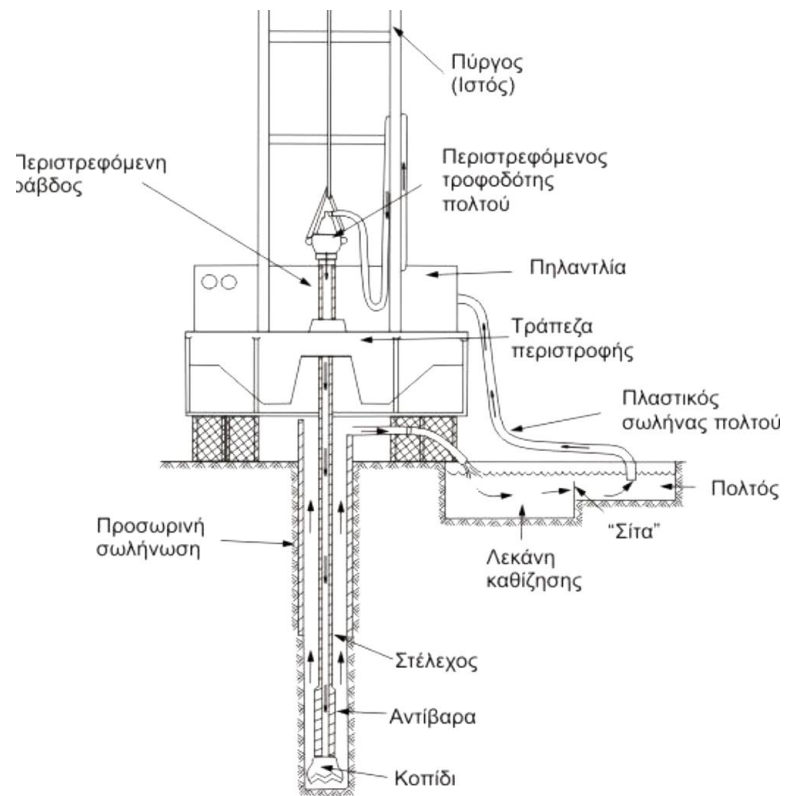
Η περιστροφική μέθοδος αποτελεί την πιο διαδεδομένη τεχνική για την ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων σε όλο τον κόσμο. Αυτό συμβαίνει λόγω των υψηλών αποδόσεων των σύγχρονων περιστροφικών γεωτρυπάνων σε συνδυασμό με το σχετικά χαμηλό κόστος αγοράς και λειτουργίας τους.

Η αρχή λειτουργίας των περιστροφικών γεωτρυπάνων βασίζεται στην εφαρμογή κατακόρυφης δύναμης (Weight on Bit - WOB) και στην συνεχή περιστροφή της στήλης (Rotation per Minute - RPM) ενόσω πραγματοποιείται κυκλοφορία του γεωτρητικού ρευστού (Κελεσίδης, 2012). Η περιστροφική μέθοδος χρησιμοποιεί και τους τρεις τύπους γεωτρητικών ρευστών, όπως αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο.

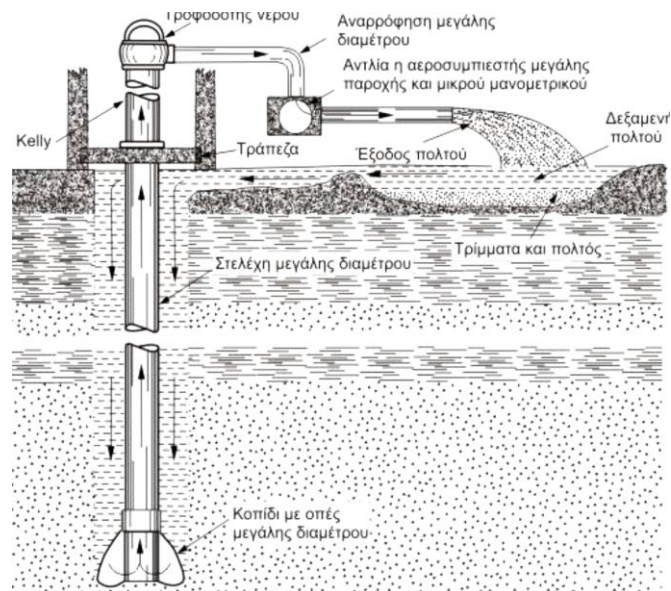
2.1.3.1. Περιστροφική με θετική και ανάστροφη κυκλοφορία πολφού

Κατά την θετική κυκλοφορία, ο πολφός αντλείται από τον λάκκο αναρρόφησης και κατευθύνεται στο σύστημα των σωληνώσεων του γεωτρυπάνου. Έπειτα εισέρχεται στον περιστρεπτό τροφοδότη (swivel), ο οποίος είναι συνδεδεμένος με το στέλεχος kelly. Το kelly συνδέεται με το ανώτερο διατρητικό στέλεχος, και έτσι ο πολφός διοχετεύεται στο εσωτερικό της διατρητικής στήλης (Σχήμα 2.4). Όταν ο πολφός φθάσει στο κοπτικό, εξέρχεται υπό υψηλή πίεση από τα ακροφύσια. Αφού συμπαρασύρει τα τρίμματα, ανέρχεται στην επιφάνεια μέσω του χώρου που ορίζουν τα στελέχη και τα τοιχώματα του φρέατος.

Από την άλλη, η ανάστροφη κυκλοφορία πολφού περιγράφει την αντίθετη με την προαναφερθείσα πορεία του ρευστού στη γεώτρηση. Σύμφωνα με τον Shuter and Teasdale (1989) αναπτύχθηκε αρχικά για την διάτρηση γεωλογικών στρωμάτων όπου υπήρχε αυξημένος κίνδυνος καταπτώσεων (Σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.4 : Θετική κυκλοφορία πολτού (πηγή: Culver, 1991).



Σχήμα 2.5 : Ανάστροφη κυκλοφορία πολτού (πηγή: Culver, 1991).

Τα πλεονεκτήματα της θετικής κυκλοφορίας πολφού είναι:

1. Γρήγοροι ρυθμοί διάτρησης.
2. Σταθερότητα των μη συνεκτικών σχηματισμών λόγω της υδροστατικής πίεσης που ασκείται σε αυτούς.
3. Αποτροπή διαφυγής γεωτρητικού ρευστού ή εισροής ρευστών στους γύρω σχηματισμούς λόγω της δημιουργίας υμενίου, όταν γίνει χρήση πολφού μπετονίτη.

Τα μειονεκτήματα της θετικής κυκλοφορίας πολφού είναι:

1. Γρήγορη διάβρωση των σχηματισμών που αποτελούν τα τοιχώματα της γεώτρησης (πχ: άμμοι, ιζηματογενή), εξαιτίας της υψηλής ταχύτητας του πολφού κατά την άνοδο.
2. Δημιουργία κρούστα μπετονίτη με μεγαλύτερο ρυθμό.

2.1.3.2. Περιτροφική με θετική και ανάστροφη κυκλοφορία αέρα

Η περιστροφική διάτρηση με θετική κυκλοφορία αέρα έχει κοινά στοιχεία με την περιστροφική με πολφό όσον αφορά τη λειτουργία και τον εξοπλισμό. Για την παραγωγή πεπιεσμένου αέρα χρησιμοποιείται αεροσυμπιεστής. Ο πεπιεσμένος αέρας διοχετεύεται στην διατρητική στήλη και εξέρχεται από τα ακροφύσια του κοπτικού, απομακρύνοντας τα τρίμματα από το μέτωπο της διάτρησης.

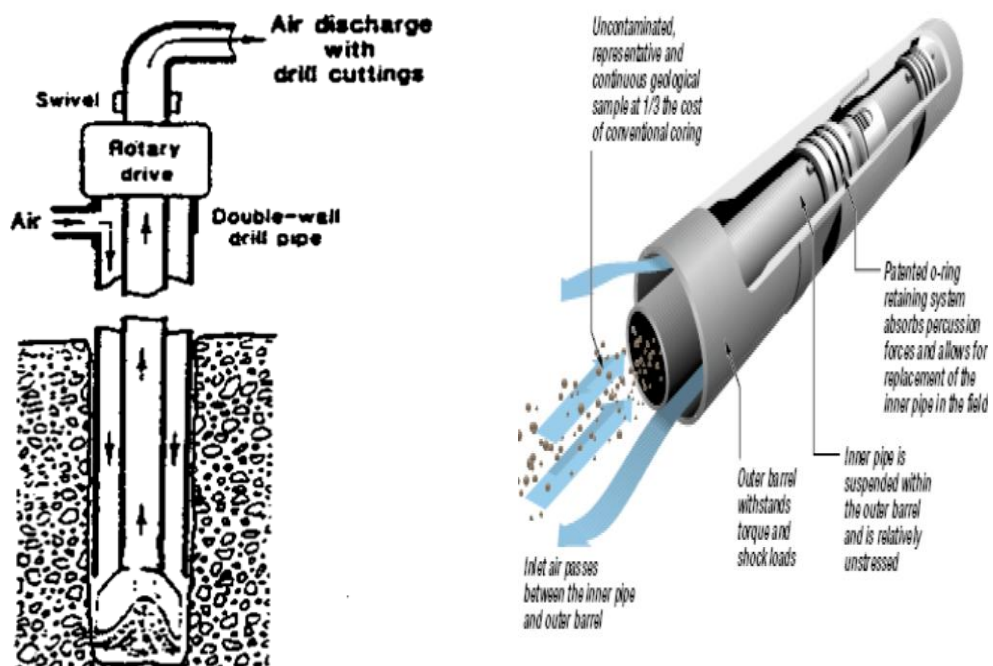


Εικόνα 2.1 : Διάτρηση με χρήση αέρα ως γεωτρητικό ρευστό (πηγή: Διαλέξεις μαθήματος “Αβαθείς και Ειδικές Γεωτρήσεις”, Κελεσίδης, 2012).

Η χρήση αέρα με θετική κυκλοφορία έχει τους εξής περιορισμούς:

1. Περιορισμός εφαρμογής της μεθόδου αποκλειστικά σε πετροποιημένα εδάφη ή βραχώδεις σχηματισμούς.
2. Όταν το μέγεθος των τριμμάτων είναι σχετικά μεγάλο, δεν είναι δυνατή η απομάκρυνσή τους από το μέτωπο της διάτρησης.
3. Πρόκληση σύννεφου σκόνης στην επιφάνεια του εδάφους.

Στην ανάστροφη κυκλοφορία αέρα γίνεται χρήση διατρητικών στελεχών διπλών τοιχωμάτων (Σχήμα 2.6). Για την διοχέτευση του ρευστού από τον εξωτερικό στον εσωτερικό σωλήνα, υπάρχει στον πυθμένα ειδικός κατανεμητής αέρα. Ο κατανεμητής παράλληλα παίζει το ρόλο σταθεροποιητή της στήλης για την αποφυγή αποκλίσεων από την κατακορυφότητα.



Σχήμα 2.6 : Διάτρηση με ανάστροφη κυκλοφορία πολφού (αριστερά) και διατρητικό στέλεχος διπλού σωλήνα ανάστροφης κυκλοφορίας αέρα της εταιρείας FOREMOST (δεξιά),
πηγή: Culver, 1991, foremost.com.

Στα πλεονεκτήματα της ανάστροφης κυκλοφορίας αέρα με χρήση διπλών τοιχωμάτων περιλαμβάνονται:

1. Δυνατότητα διάτρησης σε χαλαρούς και ασταθείς σχηματισμούς ή σκληρούς, ρηγματωμένους σχηματισμούς.
2. Απαιτούνται μικρότερες ποσότητες αέρα για την απομάκρυνση των τριμμάτων.

2.1.3.3. Περιστροφική με αφρό

Για την βελτίωση της αποτελεσματικότητας της διάτρησης και την αποφυγή δημιουργίας σκόνης μπορεί να χρησιμοποιηθεί αφρός ως γεωτρητικό ρευστό. Ο αφρός αποτελείται από νερό, αέρα και αφριστικές ουσίες. Επιθυμητή ταχύτητα ανόδου του αφρού θεωρείται 1 m/min (Κελεσίδης, 2012).

Τα πλεονεκτήματα της περιστροφικής με αφρό είναι:

1. Αποφυγή δημιουργίας σκόνης.
2. Απαίτηση μικρής ποσότητας νερού για την παρασκευή του αφρού.
3. Δεν φθείρεται ο διατρητικός εξοπλισμός, όπως στις περιπτώσεις του πολφού ή του αέρα.

Τα μειονεκτήματα της περιστροφικής μεθόδου με χρήση αφρού είναι:

1. Αδυναμία επαναχρησιμοποίησης του αφρού.
2. Προβλήματα απόρριψης του στο περιβάλλον, όταν δεν είναι βιοδιασπώμενος.



Εικόνα 2.2 : Διάτρηση με χρήση αφρού (πηγή: Κελεσίδης, 2012).

2.1.4. Μέθοδος ελικοειδούς διάτρησης συμπαγούς στελέχους

Σύμφωνα την ΕΛΟΤ (23-12-2009) με την μέθοδο της ελικοειδούς διάτρησης χρησιμοποιούνται ειδικά γεωτρήπανα με στελέχη που φέρουν στην εξωτερική τους πλευρά ελικοειδές σπείρωμα (Εικόνα 2.4). Τα στελέχη είναι μήκους 5 ft (1,5 m) και διαμέτρου 6 – 14 in (15,2 – 35,6 cm). Η συγκεκριμένη τεχνική εφαρμόζεται αποκλειστικά σε εδαφικούς, μη συνεκτικούς σχηματισμούς. Για την αποφυγή των καταπτώσεων, το φρέαρ επενδύεται με περιφραγματικούς σωλήνες κατά την ανόρυξη. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται επίσης συχνά για την ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων.



Εικόνα 2.3 : Γεωτρύπανο ελικοειδούς διάτρησης (Solid stem auger drilling),
πηγή: www.augerdrilling.com, Κελεσίδης, 2012.

2.1.5. Περιστροφική μέθοδος με κάδο

Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόζεται αποκλειστικά σε μαλακούς σχηματισμούς (πχ: εδάφη). Χρησιμοποιείται κούλος κάδος μεγάλης διαμέτρου έως 36 in (91 cm), όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.4. Ο κάδος εκτελεί περιστροφική κίνηση και αφού γεμίσει, ανασύρεται στην επιφάνεια και αδειάζει το περιεχόμενό του (Driscoll, 1987). Η εν λόγω μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί για την διάνοιξη υδρογεωτρήσεων βάθους έως και 76,2 m (250 ft).



Εικόνα 2.4: Διάτρηση με την περιστροφική μέθοδο με κάδο (πηγή:
thompsonbrothersdrilling.com, www.foxloomisinc.com).

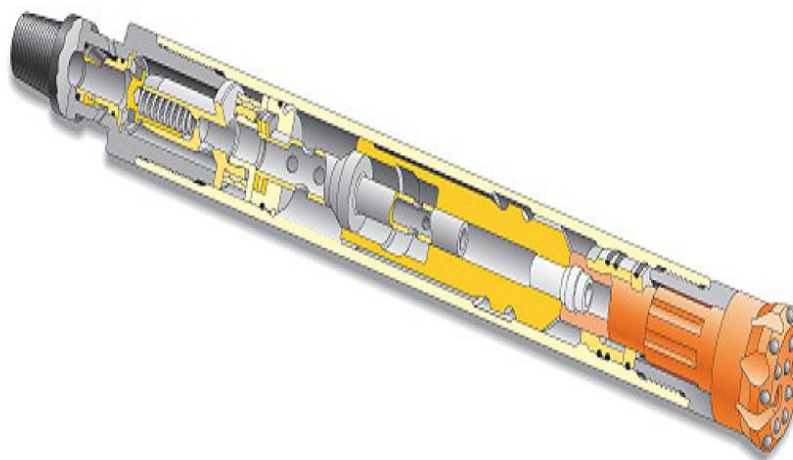
2.1.6. Κρουστικοπεριστροφική διάτρηση

Η κρουστικοπεριστροφική διάτρηση προσφέρει τα πλεονεκτήματα τόσο της περιστροφικής, όσο και της κρουστικής διάτρησης αποδίδοντας ακόμη υψηλότερους ρυθμούς διάτρησης σε σχέση με τις προαναφερθείσες τεχνικές (Corcoran, 2009).

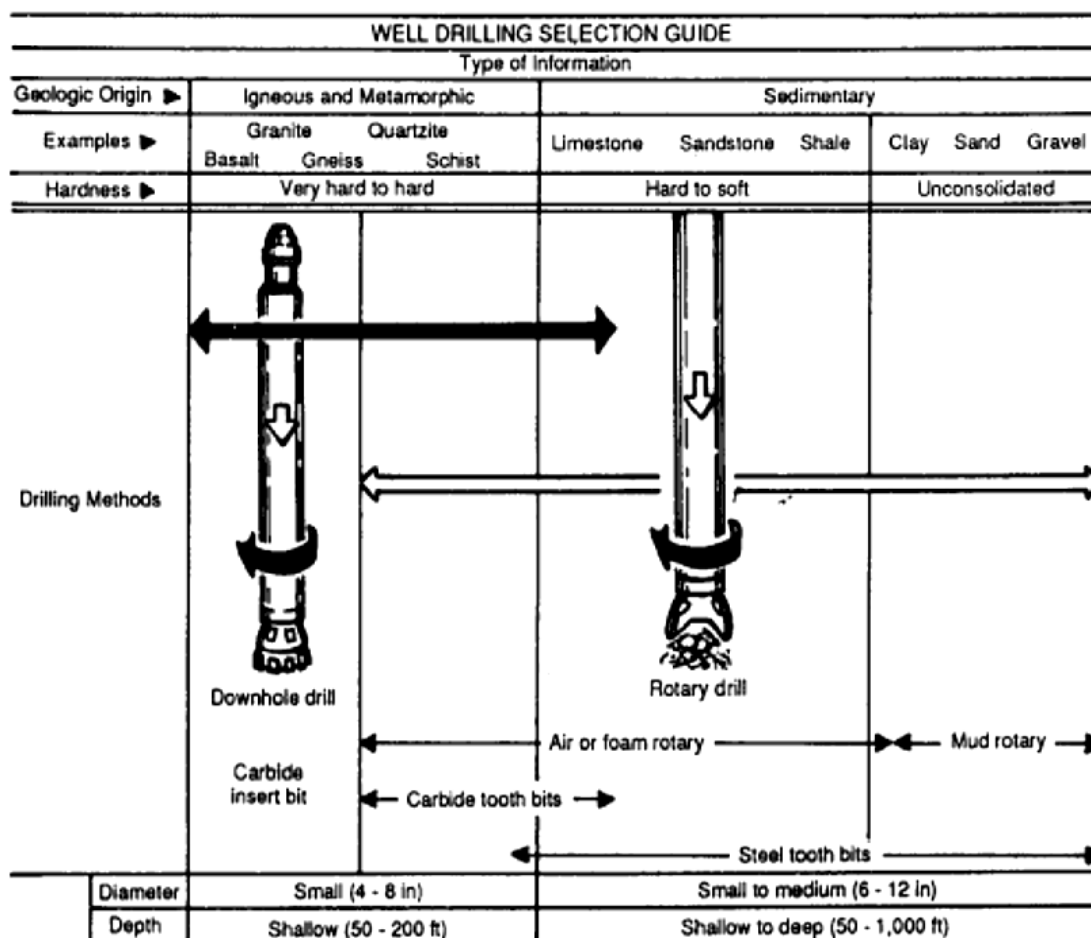
Σε αυτήν την κατηγορία κατατάσσονται η επιφανειακή (THD) και η υπεδάφια αερόσφυρα (DTH). Η διαφορά τους έγκειται στη θέση του μηχανισμού κρούσης στη στήλη. Και οι δυο τύποι σφύρας χρησιμοποιούνται όταν πρόκειται να διατρηθεί βραχώδες υλικό. Οι σφύρες διακρίνονται περαιτέρω σε πνευματικές και υδραυλικές, αναλόγως του ρευστού που χρησιμοποιείται για την κίνηση του εμβόλου, το οποίο χρησιμεύει και στην απομάκρυνση των τριμμάτων από το φρέαρ (Εξαδάκτυλος, 2007). Στην ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων χρησιμοποιείται κυρίως η αερόσφυρα πυθμένα.

Σύμφωνα με τον Χριστογιάννη (2010), τα χαρακτηριστικά της χρήσης αερόσφυρα πυθμένα συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Υψηλότερη ταχύτητα διάτρησης (50-100% γρηγορότερη από την περιστροφική με πολφό).
- Μέγιστο βάθος διάτρησης (70 m) και διάμετρος οπής 4 – 8 in (20 cm).
- Μικρές αποκλίσεις από την ευθυγραμμία.
- Δεν προκαλείται σημαντική φθορά στα διατρητικά στελέχη και το κοπτικό.
- Μειωμένα επίπεδα θορύβου.



Σχήμα 2.7 : Μηχανισμός αερόσφυρας (πηγή: Εξαδάκτυλος, 2007).



Σχήμα 2.8 : Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου διάτρησης ανάλογα με τους σχηματισμούς (πηγή: Ingersoll Rand, όπως αναφέρεται από Driscoll, 1987).

2.2. Εξέλιξη των τεχνικών διάτρησης

Παραπάνω περιγράφηκαν ορισμένες από τις συμβατικές τεχνικές διάτρησης που χρησιμοποιούνται σήμερα στην ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων. Ωστόσο κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών αναπτύχθηκαν και άλλες νεότερες τεχνικές. Αυτές οι τεχνικές επιτυγχάνουν ακόμη υψηλότερες ταχύτητες προχώρησης. Παρ' όλα αυτά λόγω του υψηλού κόστους αγοράς του εξοπλισμού και λειτουργίας τους, η εφαρμογή τους περιορίζεται στην ανόρυξη βαθύτερων γεωτρήσεων (πχ: υδρογονανθράκων, γεωθερμίας κ.ά.), στις οποίες επενδύονται και μεγαλύτερα χρηματικά ποσά.

Η ανάγκη για εξεύρεση νέων τεχνικών διάτρησης αποσκοπεί στην:

- i. Εξοικονόμηση ενέργειας.
- ii. Αύξηση ρυθμού διάτρησης.
- iii. Ασφάλεια και αξιοπιστία για τους εργαζομένους και για τον εξοπλισμό.
- iv. Δυνατότητα διάτρησης σε δύσκολες γεωλογικές συνθήκες.
- v. Ανταγωνιστικότητα μεταξύ των εταιρειών.

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά σε μια από τις πιο γνωστές, νέες τεχνικές διάτρησης, αυτήν της ηχητικής διάτρησης. Οι υπόλοιπες μέθοδοι είτε βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο είτε κρίνεται ασύμφορο να χρησιμοποιηθούν στις γεωτρήσεις μικρού βάθους, όπως οι υδρογεωτρήσεις (πχ: ηλεκτρική διάτρηση, στροβιλοδιάτρηση, διάτρηση με μικροκύματα κ.ά.).

Η ηχητική διάτρηση αρχικά σχεδιάστηκε για την διάνοιξη γεωτρήσεων περιβαλλοντικής έρευνας (Barrow, 1994) κυρίως λόγω του υψηλού ποσοστού πυρηνοληψίας που επιτυγχάνει. Παρ' όλα αυτά η ηχητική διάτρηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στην ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων με την προϋπόθεση ότι στην περιοχή ενδιαφέροντος υπάρχουν χαμηλής συνοχής εδαφικοί σχηματισμοί (πχ: άργιλος, άμμος, χαλίκια κ.ά.).

Η ηχητική διάτρηση χρησιμοποιεί ειδικό γεωτρύπανο με κεφαλή για την παραγωγή υψηλής συχνότητας δονήσεων πάνω στη στήλη. Η συχνότητα της ταλάντωσης προσαρμόζεται ανάλογα με τις μηχανικές αντοχές των υπό διάτρηση σχηματισμών.

Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι κατά την εφαρμογή της μεθόδου δεν χρησιμοποιούνται γεωτρητικά ρευστά, συνεπώς δεν υπάρχει κίνδυνος περιβαλλοντικής επιβάρυνσης. Γενικά με την συγκεκριμένη μέθοδο παρατηρούνται μικρές αποκλίσεις από την κατακορυφότητα (<1 %), μειώνοντας τον κίνδυνο παρουσίασης προβλημάτων που σχετίζονται με την τοποθέτηση της σωλήνωσης, του χαλικόφιλτρου και την εισαγωγή / εξαγωγή της αντλίας.



Εικόνα 2.5 : Ηχητική διάτρηση, (πηγή: www.mateco.com).

Τα χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι:

1. Πολύ γρήγοροι ρυθμοί διάτρησης (μέση ταχύτητα 5 m/h, 15 ft/h), δηλαδή περίπου δυο φορές πιο γρήγορη από την περιστροφική.
2. Δεν απαιτείται η χρήση γεωτρητικού ρευστού.
3. Σχετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι:

1. Αυξημένο κόστος αγοράς του ηχητικού γεωτρύπανου.
2. Περιορισμός στο βάθος (μέγιστο βάθος που έχει επιτευχθεί με ηχητικό γεωτρύπανο είναι τα 210 m ή 700 ft).
3. Με την αύξηση του βάθους ο ρυθμός προχώρησης μειώνεται σημαντικά.

2.3. Εισαγωγή στα γεωτρητικά ρευστά

Κατά τη ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων με εφαρμογή οποιασδήποτε από τις παραπάνω τεχνικές διάτρησης είναι απαραίτητη η συμμετοχή των γεωτρητικών ρευστών. Τα γεωτρητικά ρευστά είναι ο πολφός, ο αέρας και ο αφρός. Διοχετεύονται στην οπή της γεώτρησης μέσω των αντλιών ή των αεροσυμπιεστών.

Τα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία γίνεται η επιλογή γεωτρητικού ρευστού είναι:

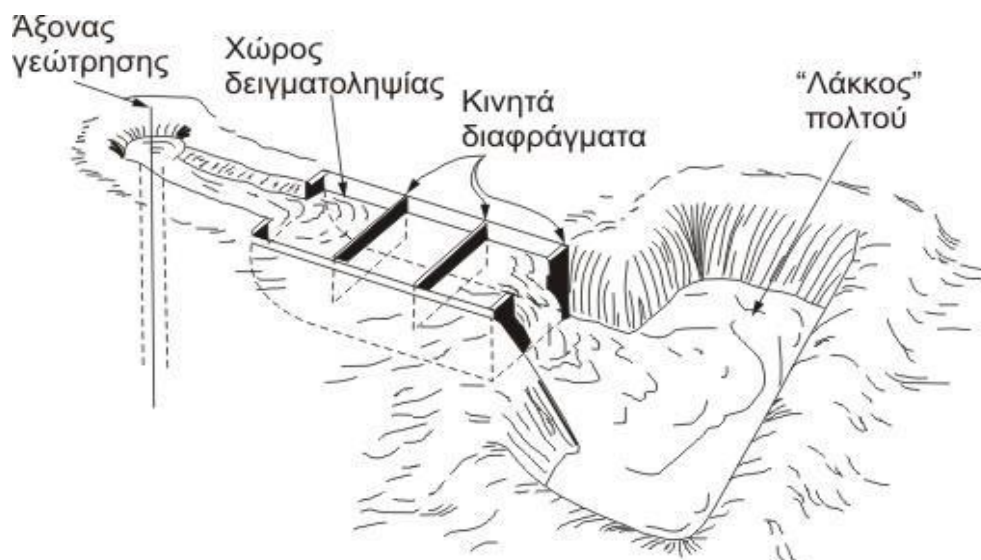
- Περαιτότητα των εδαφών.
- Κατάσταση της βραχομάζας (ύπαρξη ρηγμάτων, εγκοίλων κ.ά.).
- Ευστάθεια των τοιχωμάτων του φρέατος.
- Διαθεσιμότητα νερού.
- Σκοπός της άντλησης.
- Οικολογικοί, περιβαλλοντικοί και νομοθετικοί περιορισμοί.

2.3.1. Πολφός

Ο πολφός αποτελείται από τη υγρή φάση (νερό ή πετρέλαιο) και τη στερεή φάση (κολλοειδή), δηλαδή αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου $< 0,5 \mu$ (πχ: μπετονίτης, ατταπουλγίτης). Η παρουσία των κολλοειδών στον πολφό συμβάλλει στην βελτίωση των ρεολογικών του ιδιοτήτων (ιξώδες). Τελευταία χρησιμοποιούνται οργανικά πολυμερή αντί του πολφού, τα οποία απαιτούν πολύ μικρότερη ποσότητα για την παρασεκυή του πολφού (Βαφειάδης, 1998).

Οι βασικές λειτουργίες του πολφού είναι να απομακρύνει τα προϊόντα θραύσης, πιο γρήγορα και από μεγαλύτερο βάθος. Επίσης συντελεί στην εξισορρόπηση των γεωπιέσεων με την πίεση στο εσωτερικό του φρέατος και εξυπηρετεί στην ψύξη και λίπανση του κοπτικού άκρου αλλά και στην άσκηση υδροστατικής πίεσης στα υπό διάτρηση πετρώματα.

Παρασκευάζεται στην επιφάνεια του εδάφους σε ορύγματα (λάκκους). Στους λάκκους είναι δυνατό να ελεγχθεί ο όγκος και η αραιώση του χρησιμοποιούμενου πολφού υποδεικνύοντας την ύπαρξη υδροφόρου στρώματος.



Σχήμα 2.9: Λάκκοι πολφού (πηγή: Καλλέργη, 1999)

2.3.2. Αέρας

Η χρήση αέρα προτιμάται σε περιπτώσεις που υπάρχουν σπηλαιώσεις (καρστ) ή πυκνό δίκτυο ρωγμών στα πετρώματα, όπου η χρήση πολφού θα ήταν αδύνατη εξαιτίας των απωλειών.

Ο αέρας παρέχει το πλεονέκτημα της ταχείας απομάκρυνσης των τριμμάτων σε αντίθεση με τον πολφό. Η απομάκρυνση των τριμμάτων στηρίζεται αποκλειστικά στην αδράνεια τους, σε αντίθεση με τον πολφό, όπου η απομάκρυνση των προϊόντων θραύσης οφείλεται κατά βάση στην πυκνότητα και στο ιξώδες του πολφού.

Γενικά, όσο μεγαλώνει η διάμετρος της γεώτρησης, τόσο μεγαλύτερη πρέπει να είναι και η παροχή του αέρα, με συνέπεια να απαιτούνται μεγαλύτερης δυναμικότητας αεροσυμπιεστές (μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας) αυξάνοντας έτσι το κόστος της ανόρυξης.



Εικόνα 2.6 : Παρουσίαση αεροσυμπιεστή (πηγή: www.atlascopco.co.uk).

2.3.3. Αφρός

Στο ρεύμα αέρα συχνά προστίθενται διάφορες αφριστικές ουσίες μαζί με μικρή ποσότητα νερού, ώστε να δημιουργηθεί αφρός. Ο αφρός συντελεί στην αποτελεσματικότερη απομάκρυνση μεγαλύτερου όγκου τριμμάτων από το φρέαρ, αυξάνοντας το ρυθμό της διάτρησης. Επίσης, ο αφρός λειτουργεί ως καταστολέας σκόνης με αποτέλεσμα τις ευνοϊκότερες συνθήκες εργασίας.

Εκτιμάται ότι μόλις το 5% του συνολικού κόστους ανόρυξης προορίζεται για την παρασκευή και χρήση των γεωτρητικών ρευστών, γεγονός που οδηγεί στην πρόκληση προβλημάτων κατά την ανόρυξη (Κελεσίδης και Πότση, 2009). Με την σωστή επιλογή του τύπου αλλά και των ιδιοτήτων των γεωτρητικών ρευστών (πυκνότητα, ιξώδες, παροχή κλπ.) δεν μπορεί παρά να επωφεληθεί κανείς.

Κεφάλαιο 3ο -Το γεωτρύπανο στην περιστροφική διάτρηση

3.1. Είδη γεωτρυπάνου

Το γεωτρύπανο χρησιμοποιείται για την ανόρυξη των γεωτρήσεων, συνεπώς και των υδρογεωτρήσεων. Μπορεί να αναπτύσσεται σε κατακόρυφη διεύθυνση με την συνεχή προσθήκη διατρητικών στελεχών μέχρι την επίτευξη του επιθυμητού βάθους.

Γενικά για τη διάνοιξη αβαθών γεωτρήσεων (πχ: υδρογεωτρήσεις) χρησιμοποιούνται γεωτρύπανα με ισχύ από 50 - 150 HP, ενώ για τη διάνοιξη βαθύτερων γεωτρήσεων (πχ: υδρογονανθράκων) η υποδύναμη μπορεί να φτάσει τα 2000 HP ή παραπάνω.

Ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς τους υπάρχουν οι εξής κατηγορίες υδρογεωτρυπάνων:

1. Τροχοφόρα αυτοκινούμενα.
2. Ερπυστριοφόρα αυτοκινούμενα.
3. Τροχοφόρα ρυμουλκούμενα.
4. Συρόμενα επί ελκήθρου.



Εικόνα 3.1 : Παρουσίαση υδρογεωτρυπάνου ενσωματωμένο σε φορτηγό

(πηγή: <http://www.splashwelldrilling.ca/>).



Εικόνα 3.2 : Ευέλικτα υδρογεωτρύπανα (πηγή: www.geotriseis-skoura.gr).

Στην πράξη για την ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων χρησιμοποιούνται κυρίως δύο τύποι γεωτρυπάνων, τα περιστροφικά και τα κρουστικά. Τα περιστροφικά έχουν το πλεονέκτημα ότι αποδίδουν υψηλές ταχύτητες διάτρησης σε μεγάλο εύρος σκληρότητας πετρωμάτων (από μεσαίας μέχρι υψηλής σκληρότητας) και έχουν ικανότητα δημιουργίας μεγάλης διαμέτρου οπής. Αντίθετα, τα κρουστικά αποδίδουν καλύτερα σε βραχώδεις σχηματισμούς παρά σε προσχωσιγενή ιζήματα και μαλακά εδάφη και έχουν περιορισμένη διάμετρο (Κάπος, 1994).

Σχετικά με τα περιστροφικά γεωτρύπανα και τον τρόπο περιστροφής της διατρητικής στήλης, υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες:

α) Μηχανικά γεωτρύπανα.

β) Υδραυλικά γεωτρύπανα.

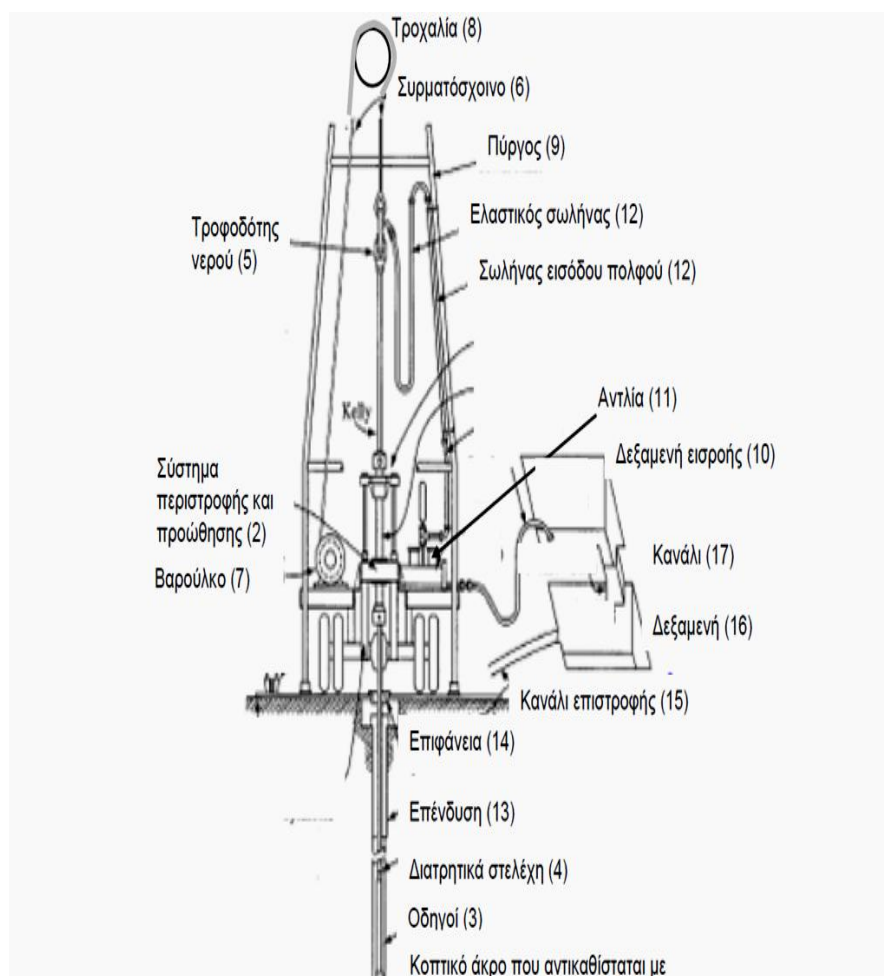
Στην ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων τα υδραυλικά γεωτρύπανα κερδίζουν συνεχώς έδαφος έναντι των μηχανικών γεωτρυπάνων. Τα υδραυλικά γεωτρύπανα σε σχέση με τα μηχανικά παρουσιάζουν τις εξής διαφορές:

- ✓ Επιτυγχάνουν υψηλότερες ταχύτητες διάτρησης συγκριτικά με τα μηχανικού τύπου γεωτρύπανα.
- ✓ Απαιτούν καταρτισμένο προσωπικό.
- ✓ Είναι ακριβότερα.

3.2. Τα μέρη του μηχανικού, περιστροφικού γεωτρυπάνου

Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1, τα μέρη του κλασικού μηχανικού, περιστροφικού γεωτρυπάνου είναι τα ακόλουθα:

1. Πύργος.
2. Σύστημα περιστροφής και προώθησης της στήλης.
3. Σύστημα ανέλκυσης και καθέλκυσης της στήλης.
4. Διατρητική στήλη με τα παρελκόμενα της (στελέχη, κολάρο, σταθεροποιητές κ.ά.).
5. Κοπτικό άκρο.
6. Σωλήνας πολφού και πλαστικός σωλήνας διοχέτευσης του γεωτρητικού ρευστού στη στήλη.
7. Περιστρεπτός τροφοδότης.
8. Πηλάντλια και αεροσυμπιεστής.



Σχήμα 3.1 : Τυπικό μηχανικό, περιστροφικό υδρογεωτρήσιμο (πηγή: Κελεσιδης, 2012).

3.2.1. Πύργος

Ο πύργος του υδρογεωτρυπάνου βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους και συντελεί στην αιώρηση της διατρητικής στήλης στο φρέαρ. Η δυναμικότητα του γεωτρυπάνου καθορίζει το ύψος του πύργου και την αντοχή του. Ο πύργος μπορεί να είναι και ενσωματωμένος στο γεωτρύπανο ή να είναι μεμονωμένος.

3.2.2. Κινητήρας

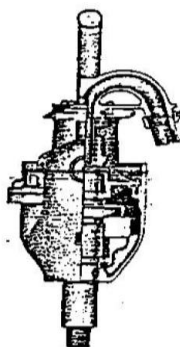
Τα κοινά υδρογεωτρύπανα διαθέτουν κινητήρα diesel. Ο κινητήρας παράγει την απαιτούμενη ενέργεια για την περιστροφή της στήλης.

3.2.3. Πηλαντλία και αεροσυμπιεστής

Η πηλαντλία χρησιμοποιείται για την άντληση του πολφού από τον λάκκο αναρρόφησης (όρυγμα για την παρασκευή του πολφού) και την διοχέτευσή του στο εσωτερικό της γεώτρησης. Αντίθετα όταν το γεωτρητικό ρευστό είναι αέρας ή αφρός απαιτείται η χρήση αεροσυμπιεστή.

3.2.4. Περιστρεπτός τροφοδότης νερού ή πολφού

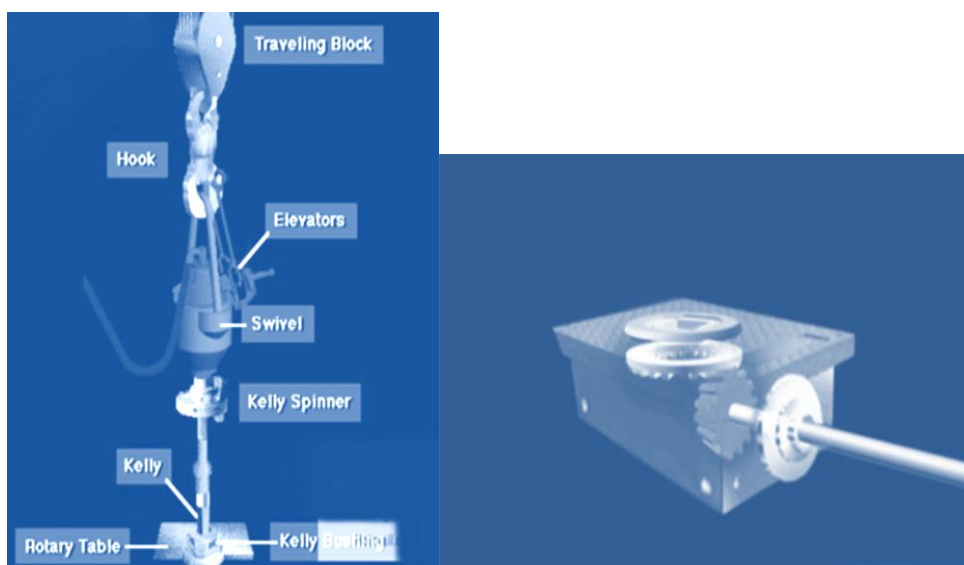
Ο περιστρεπτός τροφοδότης νερού ή πολφού βρίσκεται στο ανώτερο σημείο της διατρητικής στήλης και συνδέεται με το στέλεχος Kelly το οποίο προσαρμόζεται με τη σειρά του στο ανώτερο διατρητικό στέλεχος (Σχήμα 3.2, Σχήμα 3.3). Χρησιμοποιείται για την διοχέτευση του γεωτρητικού ρευστού στη γεώτρηση. Ο τροφοδότης αποτελείται από δυο τμήματα. Το ανώτερο τμήμα που παραμένει ακίνητο και συνδέεται με σωλήνα απ' όπου διέρχεται το ρευστό υψηλής πίεσης (9 - 12 atm) και το κατώτερο τμήμα που περιστρέφεται σε πλήρη συγχρονισμό με τη στήλη (Κάπος, 1994).



Σχήμα 3.2 : Περιστρεπτός τροφοδότης νερού ή πολφού (πηγή: Γεωργακόπουλος, 1994).

3.2.5. Στέλεχος kelly και περιστροφική τράπεζα

Πρόκειται για ένα κοίλο, τριγωνικής ή τετραγωνικής διατομής στέλεχος από χάλυβα, το οποίο μεσολαβεί για την μετάδοση της περιστροφικής κίνησης στη στήλη στα μηχανικά γεωτρήπανα (Σχήμα 3.3). Για την περιστροφή του kelly εφαρμόζεται ροπή μέσω του τριβέα της περιστροφικής τράπεζας. Το kelly ταυτόχρονα μπορεί και ολισθαίνει προς τα κάτω, ωθώντας τη στήλη σε μεγαλύτερο βάθος.



Σχήμα 3.3 : Παρουσίαση ανώτερης συνδεσμολογίας γεωτρητικής στήλης (αριστερά) και λεπτομέρεια μηχανισμού περιστροφικής τράπεζας (δεξιά), πηγή: you tube, “Oil & Gas Kelly & Rotary Table”.

3.2.6. Διατρητική στήλη

Η διατρητική στήλη αποτελείται από ένα σύνολο κοίλων σωληνοειδών σωλήνων, καθώς και άλλων εξαρτημάτων (πχ: κολάρο, σταθεροποιητές και αποξεστήρες, κοπτικό άκρο), τα οποία αναφέρονται στη συνέχεια. Τα παραπάνω εξαρτήματα στο σύνολο τους συνδέουν την επιφάνεια του εδάφους με το υπό διάτρηση πέτρωμα και η σωστή επιλογή αυτών συμβάλλει τα μέγιστα στην αποτελεσματική θράυση του πετρώματος.

Σύμφωνα με την Σταματάκη (2007), η διατρητική στήλη χρησιμεύει:

1. Στην μετάδοση της ενέργειας που προορίζεται για την θράυση των πετρωμάτων.
2. Στην διοχέτευση του γεωτρητικού ρευστού στο φρέαρ.
3. Στην εγκατάσταση ειδικών οργάνων μέτρησης των γεωτρητικών παραμέτρων επί της στήλης (Measurements while Drilling, MWD).

Τη διατρητική στήλη την αποτελούν στο μεγαλύτερο μέρος της τα διατρητικά στελέχη. Τα διατρητικά στελέχη είναι χαλυβδοσωλήνες με αρσενικό και θηλυκό σπείρωμα στα άκρα τους, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους ενώ βρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους με περιστροφή.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.4 παρατηρείται αύξηση του πάχους των διατρητικών στελεχών στα άκρα τους. Αυτό συμβαίνει, διότι σε εκείνα τα σημεία συσσωρεύονται υψηλότερες τάσεις που αναπτύσσονται κατά την περιστροφή της στήλης προκειμένου να αποφευχθεί τυχόν αστοχία (Φυτίκας, 1998).

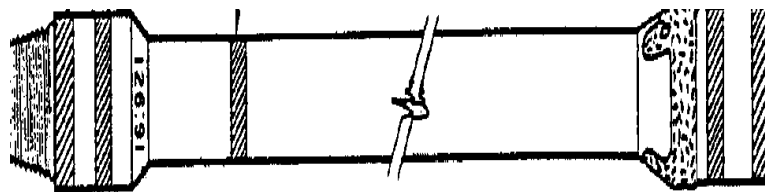
Η επιλογή των διατρητικών στελεχών γίνεται βάσει των παρακάτω κριτηρίων:

- ✓ Αντοχή σε εφελκυσμό.
- ✓ Αντοχή σε θλίψη.
- ✓ Αντοχή σε κρούση.
- ✓ Αντοχή σε στρέψη.
- ✓ Αντοχή σε διάρρηξη.

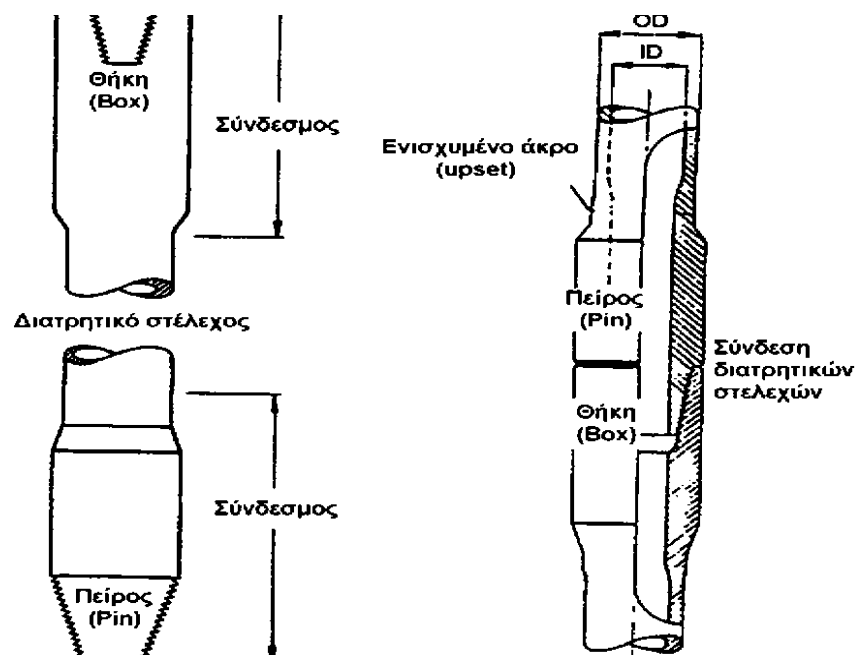
Η διατρητική στήλη εξαιτίας του βάρους των στελεχών και της κατώτερης συνδεσμολογίας βρίσκεται συνεχώς σε εφελκυσμό, ως εκ τούτου τείνει να αυξήσει το μήκος της (επιμήκυνση). Η αντοχή των στελεχών σε εφελκυσμό προκύπτει από το όριο ελαστικότητας του υλικού κατασκευής τους. Το όριο ελαστικότητας εκφράζει το σημείο εκείνο πέραν του οποίου ο χαλυβδοσωλήνας υφίσταται μόνιμη παραμόρφωση. Η μόνιμη παραμόρφωση είναι ένας παράγοντας που μειώνει την αντοχή του στελέχους και μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία με ό,τι αυτό συνεπάγεται.

Η διατρητική στήλη μπορεί ακόμη να αστοχήσει σε θλίψη, η οποία σχετίζεται με την εφαρμογή υπερβολικά μεγάλου αξονικού φορτίου (Σταματάκη, 2007).

Η ροπή στρέψης είναι αποτέλεσμα της επαφής του κοπτικού με το πέτρωμα. Προκειμένου να μην εμφανιστεί αστοχία, πρέπει η τιμή της ροπής στρέψης να είναι μικρότερη από την μέγιστη τιμή της επιτρεπόμενη ροπής των διατρητικών στελεχών.



Σχήμα 3.4 : Μορφή διατρητικού στελέχους (πηγή: Σταματάκη, 2007, τροποποιημένο).



Σχήμα 3.5 : Σύνδεση διατρητικών στελεχών (πηγή: Σταματάκη, 2007, τροποποιημένο).

Αναφέρεται ότι πάνω από το 50% των προβλημάτων που εμφανίζονται κατά την ανόρυξη των γεωτρήσεων σχετίζονται με την κακή συνδεσμολογία των διατρητικών στελεχών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μη ικανοποιητική περιστροφή του συστήματος στήλης – κοπτικού, την απόκλιση από την κατακορυφότητα και την πιθανή διάσπαση της στήλης.

Η σύνθεση της διατρητικής στήλης γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο:

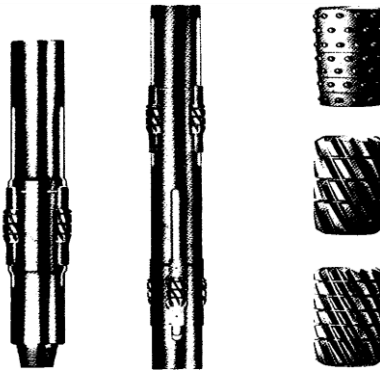
- Αρχικά, επιλέγεται το κατάλληλο γεωτρώπανο και το κοπτικό άκρο (είδος, διάμετρος, τύπος) που θα χρησιμοποιηθούν.
- Το κοπτικό άκρο συνδέεται με τον περικοπτήρα, τον σταθεροποιητή και το κολάρο και όλα αυτά ενώνονται με το πρώτο κατά σειρά διατρητικό στέλεχος. Το σύστημα παίρνει κατακόρυφη θέση.
- Αρχίζει η περιστροφή ενώ η στήλη προωθείται στο έδαφος.
- Όταν το κοπτικό διανύσει απόσταση περίπου ίση με ένα διατρητικό στέλεχος σταματά η περιστροφή και αποσυνδέεται ο περιστρεπτός τροφοδότης από την στήλη.
- Το σύστημα βαρούλκο - τροχαλία αναλαμβάνει τη μεταφορά του νέου στελέχους και το φέρνει σε επαφή με την υπόλοιπη διατρητική στήλη.
- Η διατρητική στήλη που βρίσκεται ήδη στη γεώτρηση, συγκρατείται με ποδόφρενο καθ' όλη τη διάρκεια της προσθήκης νέου στελέχους.
- Με την περιστροφή της τράπεζας το νέο στέλεχος βιδώνεται στη στήλη.
- Συνδέεται ο περιστρεπτός τροφοδότης και αρχίζει η παροχή γεωτρητικού ρευστού.
- Ελευθερώνεται το ποδόφρενο.
- Παράλληλα με την προώθηση της διατρητικής στήλης ξεκινά η περιστροφή της μέσω της περιστροφικής τράπεζας.

3.2.6.1. Κολάρα και σταθεροποιητές

Τα κολάρα και οι σταθεροποιητές βρίσκονται στο κατώτερο τμήμα της διατρητικής στήλης και αποσκοπούν στον καλύτερο έλεγχο της τροχιάς του κοπτικού, παρέχοντας ακαμψία στο σύστημα. Παράλληλα ασκούν επιπρόσθετο βάρος το οποίο συμβάλλει στην αποδοτικότερη θραύση των πετρωμάτων.

3.2.6.2. Περικοπτήρας ή αποξεστήρας

Ο περικοπτήρας ή αλλιώς αποξεστήρας τοποθετείται ακριβώς πάνω από το κοπτικό. Χρησιμεύει στη διάνοιξη σταθερής διαμέτρου οπής. Το μήκος των περικοπτήρων ποικίλλει από 3 έως 6,1 m (10 – 20 ft). Η διάμετρος τους πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη διάμετρο του κοπτικού, ώστε να εξασφαλίζεται η συνεχής επαφή με τα τοιχώματα του φρέατος. Στην επιφάνεια τους φέρουν οπλισμό από διαμάντια. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.3 υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι περικοπτήρων ανάλογα με τον τύπο των πετρωμάτων που απαντώνται.



Εικόνα 3.3 : Διάφοροι τύποι αποξεστήρων (πηγή: Σταματάκη, 2007).

3.2.6.3. Κοπτικό άκρο

Το κοπτικό άκρο βρίσκεται στο κάτω άκρο της διατρητικής στήλης και εξυπηρετεί στην θραύση των πετρωμάτων. Τα κοπτικά άκρα που χρησιμοποιούνται στην ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων είναι τυφλά (δεν διαθέτουν άνοιγμα στο κέντρο) και διατίθενται σε συγκεκριμένες διαμέτρους (πχ: 7 ^{5/8}, 10 ^{5/8}, 11 ^{5/8}, 12,5, 13,5, 15,6, 17,5, 19,5, 22 in).

Υπάρχουν διάφοροι τύποι κοπτικών άκρων. Ο τύπος του κοπτικού οργάνου που θα επιλεγεί κάθε φορά εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το είδος των πετρωμάτων και την τεχνική διάτρησης που θα εφαρμοστεί. Συνήθεις τύποι κοπτικών άκρων για περιστροφικά γεωτρήματα είναι:

- Τρίκωνα οδοντωτά.
- Τρίκωνα χαλύβδινα.
- Κοπτικά τριβής.
- Κοπτικά σφύρας.

Για μαλακά πετρώματα ενδείκνυται η χρήση των κοπτικών τριβής, ενώ για σκληρότερους σχηματισμούς επιλέγεται το κοπτικό με περιστρεφόμενους κώνους ή η σφύρα.

Τα τρίκωνα περιστροφικά διακρίνονται σε τρίκωνα οδοντωτά χαλύβδινα και σε τρίκωνα με ένθετα καρβίδια βολφραμίου (Εικόνα 3.4). Το καρβίδιο του βολφραμίου αποτελεί ένα υλικό τρεις φορές πιο σκληρό από τον χάλυβα με υψηλό σημείο τήξης 2870 °C, το οποίο παρατείνει την φθορά του εξαιτίας των θερμοκρασιών που αναπτύσσονται κατά τη διάτρηση.



Εικόνα 3.4 : Τρίκωνο περιστροφικό κοπτικό άκρο με ένθετα βολφραμίου (δεξιά) και χαλύβδινα δόντια (αριστερά) του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωτρήσεων στο Πολυτεχνείο Κρήτης.



Εικόνα 3.5 : Κοπτικό άκρο τριβής (πηγή: Βουδούρης και Μαρίνος, 2010).

Και οι δυο παραπάνω τύποι κοπτικών άκρων φέρουν στην επιφάνειά τους ακροφύσια μέσω των οποίων διέρχεται το γεωτρητικό ρευστό υπό πίεση (αέρα, νερό, πολφός) για την απομάκρυνση των τριμμάτων από τη γεώτρηση και την ψύξη του κοπτικού (Σταματάκη, 2007).

Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες, ο αριθμός, το μέγεθος και η διάταξη των ακροφυσίων στο κοπτικό συμβάλλουν στη διαδικασία κοπής των πετρωμάτων και στην διαμόρφωση του ρυθμού διάτρησης, όπως αναλύεται και στο κεφάλαιο “Γεωτρητικές παράμετροι”.

Κεφάλαιο 4^ο - Γεωτρητικές παράμετροι

4.1. Εισαγωγή στις γεωτρητικές παραμέτρους

Υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω μείωση του κόστους και του χρόνου ανόρυξης των υδρογεωτρήσεων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την κατάλληλη ρύθμιση των γεωτρητικών παραμέτρων, ώστε να επιτυγχάνεται κάθε φορά η βέλτιστη τιμή του ρυθμού προχώρησης με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Επιπροσθέτως η μελέτη των γεωτρητικών παραμέτρων είναι μείζονος σημασίας, γιατί από αυτές εξαρτάται ο χρόνος ολοκλήρωσης των εργασιών ανόρυξης, η ευστάθεια του έργου κ.ά. (Thuro, 1996; Bilim, 2011). Στο παρόν κεφάλαιο θα εξεταστούν ποιές είναι αυτές οι γεωτρητικές παράμετροι και πώς αυτές διαμορφώνουν την ταχύτητα διάτρησης.

Ως γεωτρητικοί παράμετροι αναφέρονται τα μεγέθη εκείνα που υπεισέρχονται στη διαδικασία κοπής των πετρωμάτων και συμβάλλουν στην διαμόρφωση του ρυθμού διάτρησης. Σύμφωνα με τους Kelessidis and Dalamarinis (2009) οι γεωτρητικές παράμετροι είναι:

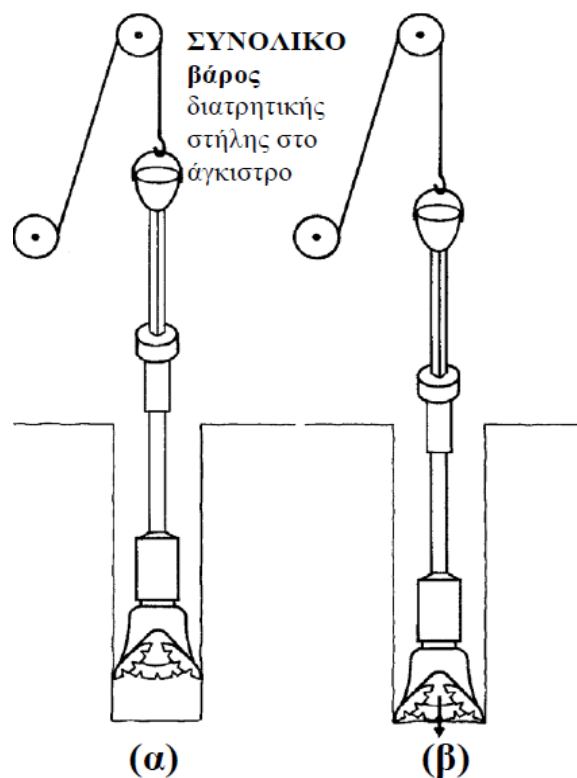
1. Βάρος επί του κοπτικού (Weight On Bit, WOB).
2. Ταχύτητα περιστροφής της στήλης (Rotations Per Minute, RPM).
3. Ταχύτητα του γεωτρητικού ρευστού στο φρεαρ.
4. Κοπτικό άκρο.

4.1.1. Επίδραση του εφαρμοζόμενου βάρους στο κοπτικό

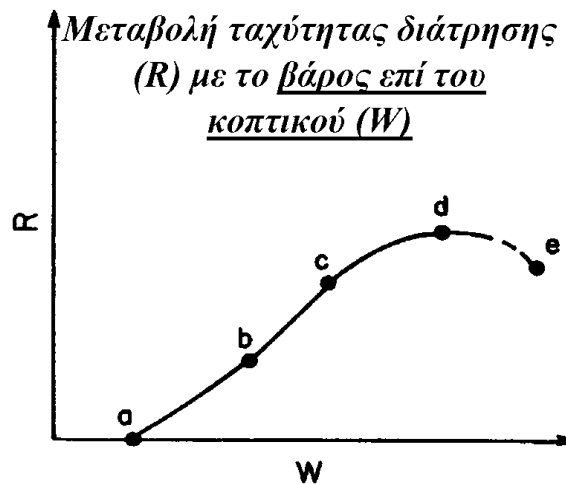
Το βάρος αφενός προκαλεί την ρωγμάτωση της εκτιθέμενης επιφάνειας του πετρώματος, αφετέρου μέσω αυτού ασκείται ροπή στο πέτρωμα η οποία είναι σημαντική για τη διεύθυνση του κοπτικού και κατ' επέκταση τη θραύση των σχηματισμών (Κελεσιδής, 2012).

Στα μηχανικού τύπου περιστροφικά γεωτρήσιμα, το βάρος που εφαρμόζεται στο κοπτικό άκρο προκύπτει από το βάρος των επιμέρους μονάδων της διατρητικής στήλης (κοπτικό άκρο, κολάρο, διατρητικά στελέχη κλπ.). Με την αύξηση του βάθους διάτρησης και την πρόσθεση περισσότερων στελεχών στην στήλη, το συνολικό βάρος αυξάνεται οδηγώντας έτσι σε υψηλότερους ρυθμούς προχώρησης.

Παρ' όλα αυτά, η υπερβολική πίεση στο κοπτικό επιφέρει μειωμένες ταχύτητες προχώρησης, πρόωρη φθορά του κοπτικού και των στελεχών, παραγωγή μεγάλου όγκου τριμμάτων και σημαντικές αποκλίσεις από την κατακορυφότητα (Βουδούρης και Μαρίνος, 2010). Για τους παραπάνω λόγους το βάρος πρέπει να μειώνεται ανυψώνοντας τη διατρητική στήλη μέσω του συστήματος ανέλκυσης που έχει περιγραφεί νωρίτερα (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1 : (α) Αναρτημένο βάρος διατρητικής στήλης και (β) βάρος επί του κοπτικού, πηγή: Σταματάκη, 2007.



Διάγραμμα 4.1 : Σχέση βάρους επί του κοπτικού και ταχύτητας διάτρησης
(πηγή: Σταματάκη, 2007).

Όπως φαίνεται από το Διάγραμμα 4.1 (βάρους (W) – ρυθμού διάνοιξης (R)), η διείσδυση του κοπτικού στο πέτρωμα, ξεκινά αφού πρώτα εφαρμοστεί ορισμένη τιμή βάρους στον υπό διάτρηση γεωλογικό σχηματισμό, η οποία εξαρτάται από τις μηχανικές του ιδιότητες, το είδος του κοπτικού κ.ά. (Σταματάκη, 2007). Συνεχιζόμενη αύξηση του βάρους προκαλεί αύξηση του ρυθμού διάτρησης μέχρι την επίτευξη μιας μέγιστης τιμής μετά την οποία ο ρυθμός διάτρησης παρουσιάζει μείωση. Αυτή η μείωση οφείλεται στην δημιουργία μεγάλου όγκου τριμμάτων, τα οποία είναι αδύνατο να απομακρυνθούν με την κυκλοφορία του γεωτρητικού ρευστού και προκαλούν αδυναμία περιστροφής του κοπτικού (Κελεσίδης, 2012).

Η ροπή προκαλείται από την επιβολή βάρους στο πέτρωμα σε συνδυασμό με την περιστροφή της στήλης. Η τιμή της ροπής εξαρτάται από τον συντελεστή τριβής του πετρώματος (Black et al., 2008). Η ροπή συνδέεται με το βάρους στο κοπτικό (W) και τον συντελεστή τριβής (μ) βάσει της παρακάτω σχέσης:

$$\tau = \frac{\mu \cdot W \cdot D}{36} \quad (4.1)$$

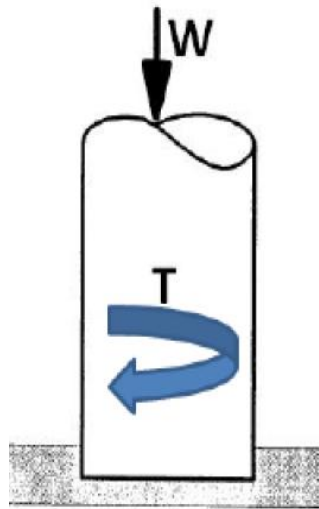
Όπου:

τ = ροπή (lb · in)

μ = συντελεστής τριβής

W= βάρους στο κοπτικό (lb)

D= διάμετρος κοπτικού (in)

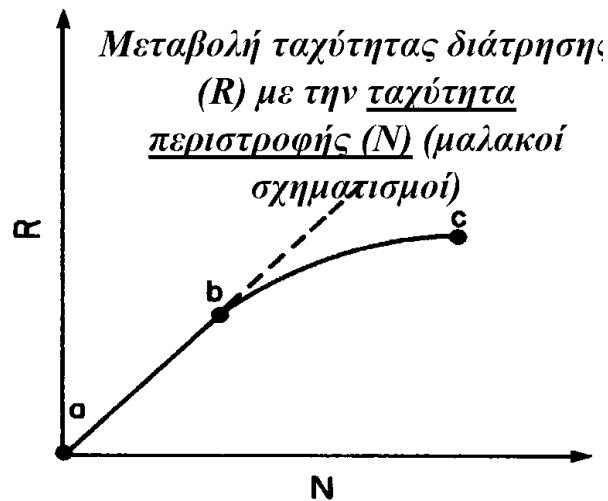


Σχήμα 4.2 : Η δύναμη του βάρους σε συνδυασμό με την περιστροφή της στήλης προκαλεί ροπή στο πέτρωμα (πηγή: Κελεσίδης, 2012).

3.1.2. Επίδραση της ταχύτητας περιστροφής της στήλης

Στο Διάγραμμα 4.2 παρουσιάζεται η σχέση της ταχύτητας περιστροφής της στήλης (N) συναρτήσει του ρυθμού διάνοιξης (R). Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, αρχικά η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής της στήλης επιφέρει αύξηση του ρυθμού διάνοιξης. Ωστόσο, σε πολύ υψηλές στροφές η περαιτέρω αύξηση της τιμής της ταχύτητας περιστροφής δεν συμβάλλει ανάλογα στην αύξηση του ρυθμού διάνοιξης. Η παύση αυτή οφείλεται στην παρουσία μεγάλης ποσότητας τριμμάτων στον πυθμένα του φρέατος, τα οποία απορροφούν μέρος της ενέργειας και δεν επιτρέπουν την προχώρηση της στήλης σε μεγαλύτερο βάθος (Κελεσίδης, 2012).

Σε γενικές γραμμές προτείνεται η αύξηση του βάρους να συνοδεύεται από αύξηση της ταχύτητας περιστροφής. Παρ' όλα αυτά, οι γεωτρυπανιστές οφείλουν να πειραματιστούν στις εκάστοτε συνθήκες πετρώματος και εξοπλισμού, ώστε να επιτύχουν τον κατάλληλο συνδυασμό των παραμέτρων αυτών προς επίτευξη της βέλτιστης ταχύτητας προχώρησης.



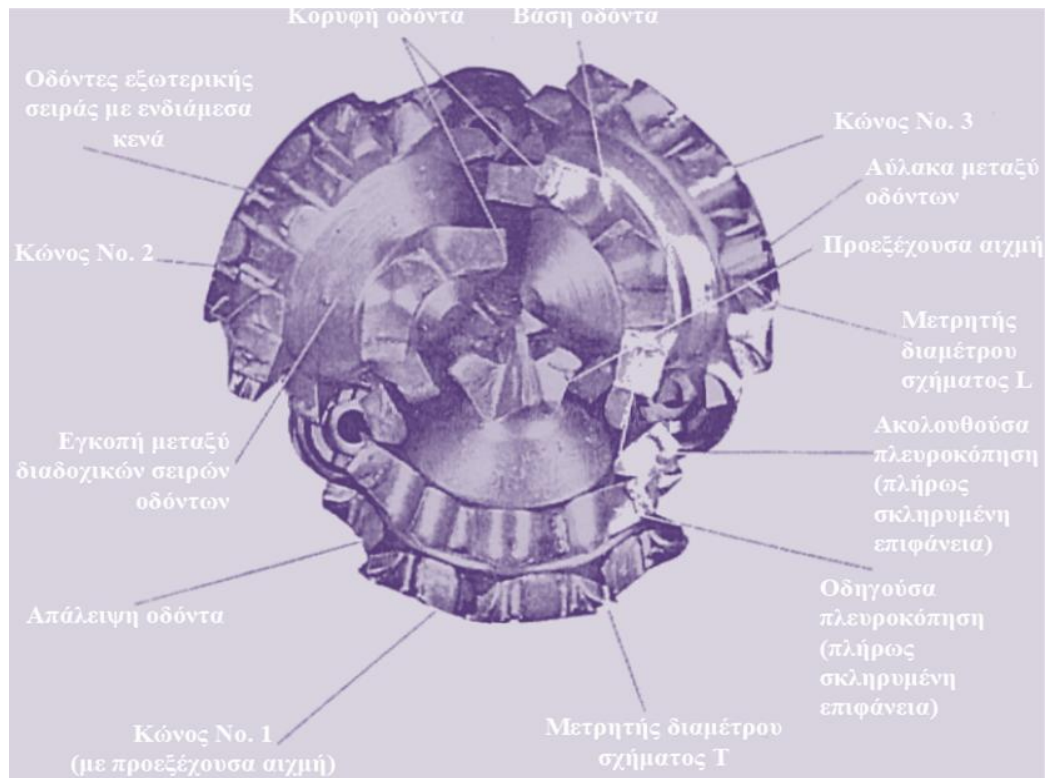
Διάγραμμα 4.2 : Επίδραση της ταχύτητας περιστροφής (N) στον ρυθμό διάτρησης (R),
(πηγή: Σταματάκη, 2007).

4.1.3. Επίδραση του κοπτικού άκρου

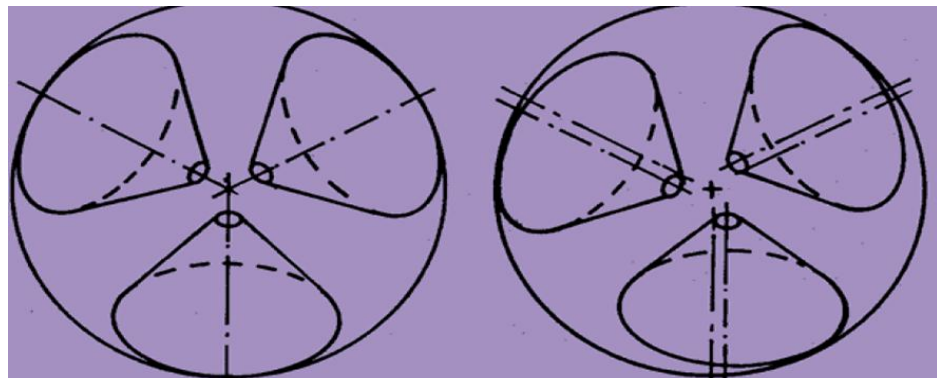
Ο τύπος, η γεωμετρία του κοπτικού, η ποιότητα του υλικού κατασκευής του σπλισμού και τέλος ο αριθμός και η θέση των ακροφυσίων καθορίζουν την ταχύτητα προχώρησης του κοπτικού (Thuro, 1996).

Στα χαρακτηριστικά του τρίκωνου περιστροφικού άκρου περιλαμβάνονται:

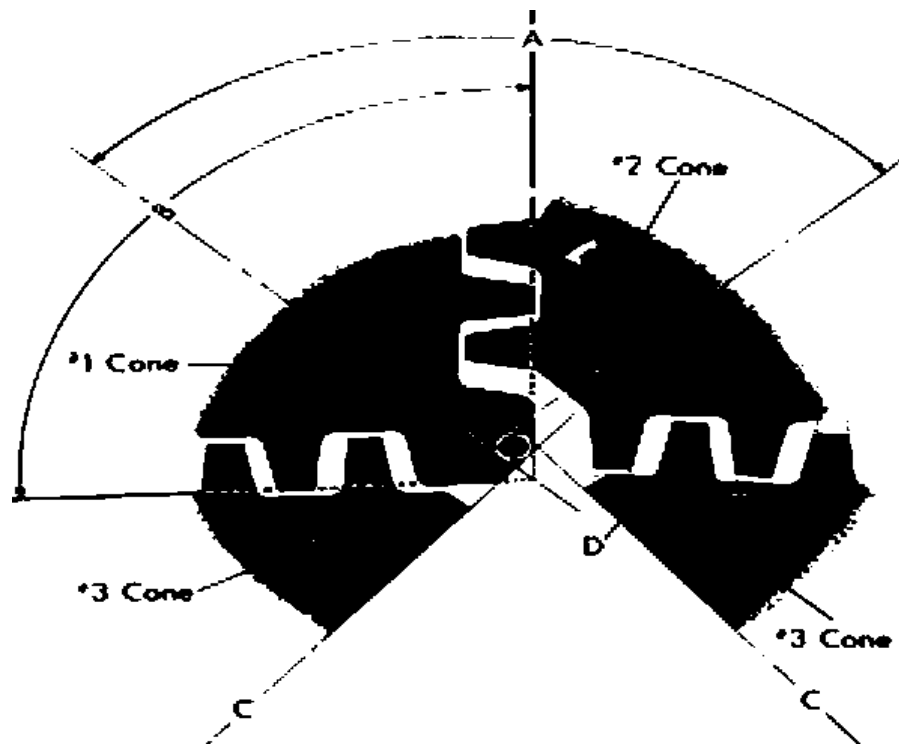
1. Ο τύπος (χαλύβδινα δόντια, ένθετα καρβιδίου, κοπτικό τριβής κ.ά.).
2. Η εκκεντρότητα των κώνων.
3. Ο αριθμός, το μέγεθος, η απόσταση και το σχήμα των δοντιών ή ενθέτων.
4. Το υλικό κατασκευής των δοντιών ή ενθέτων.
5. Ο αριθμός, το μέγεθος και η θέση των ακροφυσίων.



Εικόνα 4.1 : Λεπτομέρεια του εμπρόσθιου τμήματος του τρίκωνου περιστροφικού άκρου (πηγή: Zediker, 2012, τροποποιημένο).



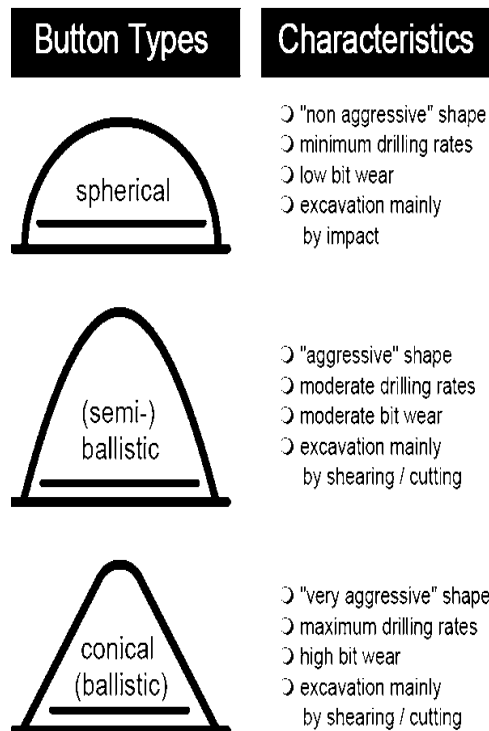
Σχήμα 4.3 : Εκκεντρότητα των κώνων σε τρίκωνο κοπτικό άκρο, (πηγή: Σταματάκη, 2007, τροποποιημένο).



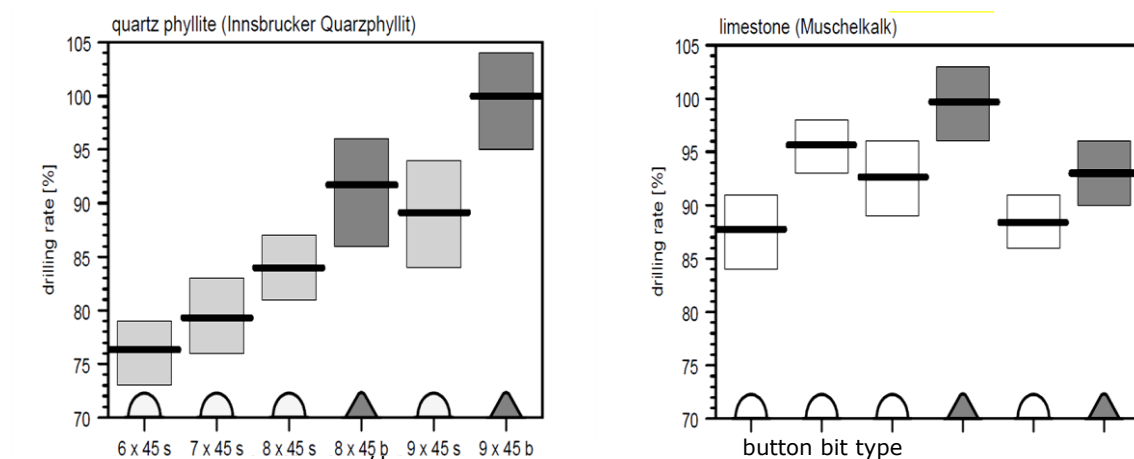
Σχήμα 4.4 : Απόσταση και αλληλεμπλοκή κόνων σε τρίκωνο περιστροφικό άκρο
(πηγή: Σταματάκη, 2007).



Εικόνα 4.2 : Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοπτικού άκρου τριβής (πηγή: Zediker, 2012).



Σχήμα 4.5 : Τύποι κουμπιών σε αερόσφυρες, πηγή: Thuro (1996).



Διάγραμμα 4.3 : Απόδοση κοπτικού σε φυλλίτη (αριστερά) και ασβεστόλιθο (δεξιά) για διαφορετικής γεωμετρίας κουμπιά αερόσφυρας (πηγή: Thuro, 1996).

Γίνονται συνεχώς έρευνες σχετικά με την βελτιστοποίηση των κοπτικών άκρων. Η σύνθεση νέων βελτιωμένων κραμάτων που θα χρησιμοποιηθούν ως υλικά κατασκευής και η βελτιωμένη γεωμετρία των κοπτικών, προσφέρουν την δυνατότητα λειτουργίας κάτω από δύσκολες συνθήκες (υψηλές θερμοκρασίες, ταχύτητα πολφού κ.ά.) παρέχοντας παράλληλα υψηλότερες ταχύτητες διάτρησης.

Φυσικό επακόλουθο της συνεχούς χρήσης του κοπτικού άκρου είναι η φθορά του. Η φθορά συνήθως εκδηλώνεται με την αλλοίωση της γεωμετρίας του κοπτικού, την αποκόλληση τμήματος ή τέλος με την εμφάνιση ρωγμών εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών. Η κατάσταση στην οποία βρίσκεται το κοπτικό έχει άμεση επίπτωση στον ρυθμό διάτρησης, όσο και στην κατανάλωση ενέργειας.

Βασικοί παράγοντες φθοράς των πετρωμάτων είναι οι εξής:

1. Βάρος στο κοπτικό.
2. Ταχύτητα περιστροφής.
3. Ποιότητα υλικών κατασκευής του κοπτικού άκρου.
4. Σκληρότητα πετρωμάτων.
5. Τύπος γεωτρητικού ρευστού.
6. Φθοροποιός ικανότητα πετρωμάτων.

4.1.4. Επίδραση γεωτρητικού ρευστού

Έχει παρατηρηθεί ότι ο ρυθμός απομάκρυνσης των τριμμάτων από τον πυθμένα της γεώτρησης συνδέεται με την ταχύτητα προχώρησης του κοπτικού. Αυτό αποδίδεται στην απορρόφηση ενέργειας από τα τρίμματα, τα οποία δεν επιτρέπουν την περαιτέρω προχώρηση του κοπτικού σε μεγαλύτερο βάθος, όταν δεν επιτυγχάνεται άμεση απομάκρυνση των τριμμάτων.

Ανάλογα με το γεωτρητικό ρευστό που θα χρησιμοποιηθεί μεταβάλλεται ο ρυθμός απομάκρυνσης των τριμμάτων. Παρακάτω θα εξεταστεί η περίπτωση του πολφού δεδομένου ότι αποτελεί την πιο συνηθισμένη περίπτωση γεωτρητικού ρευστού στις υδρογεωτρήσεις και οι ιδιότητες αυτού παρουσιάζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

Στην περίπτωση του πολφού ο ρυθμός απομάκρυνσης του θρυμματισμένου υλικού εξαρτάται από την ταχύτητα του κατά την άνοδο, το ιξώδες του και την ταχύτητα καθίζησης των τριμμάτων (Σταματάκη, 2007).

Η ταχύτητα ρευστού στον δακτύλιο δίνεται από την σχέση:

$$v_r = \frac{Q}{A} \quad (4.2)$$

Όπου:

v_r = ταχύτητα ρευστού στο δακτύλιο (m/min)

Q = παροχή (m^3/h)

A = εμβαδό διατομής μεταξύ διατρητικών στελεχών και τοιχωμάτων φρέατος (m^2)

Επίσης η ταχύτητα καθίζησης των τριμμάτων υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση:

$$v_k = \frac{175 \cdot d_\sigma \cdot (\rho_\sigma - \rho_\lambda)^{0,667}}{(\rho_\lambda^{0,333} - \mu_e^{0,333})} \quad (4.3)$$

Όπου:

v_k = ταχύτητα καθίζησης τριμμάτων (ft/min)

d_σ = διάμετρος τριμμάτων (in)

ρ_σ = πυκνότητα τριμμάτων (lb/gal)

ρ_λ = πυκνότητα ρευστού (lb/gal)

μ_e = ιξώδες ρευστού (cP)

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι για να γίνεται αποτελεσματική απομάκρυνση των τριμμάτων η v_r (ταχύτητα γεωτρητικού ρευστού) πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την v_k (ταχύτητα καθίζησης τριμμάτων). Εκτιμάται ότι μια μέση ταχύτητα πολφού 53 m/min είναι ικανοποιητική για την απομάκρυνση των τριμμάτων στην ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων (Βαφειάδης, 1998).

Όσον αφορά στις ιδιότητες του πολφού (πχ: ιξώδες, πυκνότητα), αυτές εξαρτώνται από τις εκάστοτε συνθήκες διάτρησης. Για παράδειγμα, πολφός με χαμηλό ιξώδες χρησιμοποιείται σε μη ρωγματομένα πετρώματα. Αντίθετα σε εδάφη με μεγάλο πορώδες ή σχηματισμούς με

έντονο βαθμό ρωγμάτωσης, απαιτείται η χρήση πολφού υψηλού ιξώδους. Σε κάθε περίπτωση οι ιδιότητες του πολφού πρέπει να ελέγχονται συστηματικά, ώστε να διατηρούνται ίδιες καθ' όλη τη διάρκεια των εργασιών της ανόρυξης.

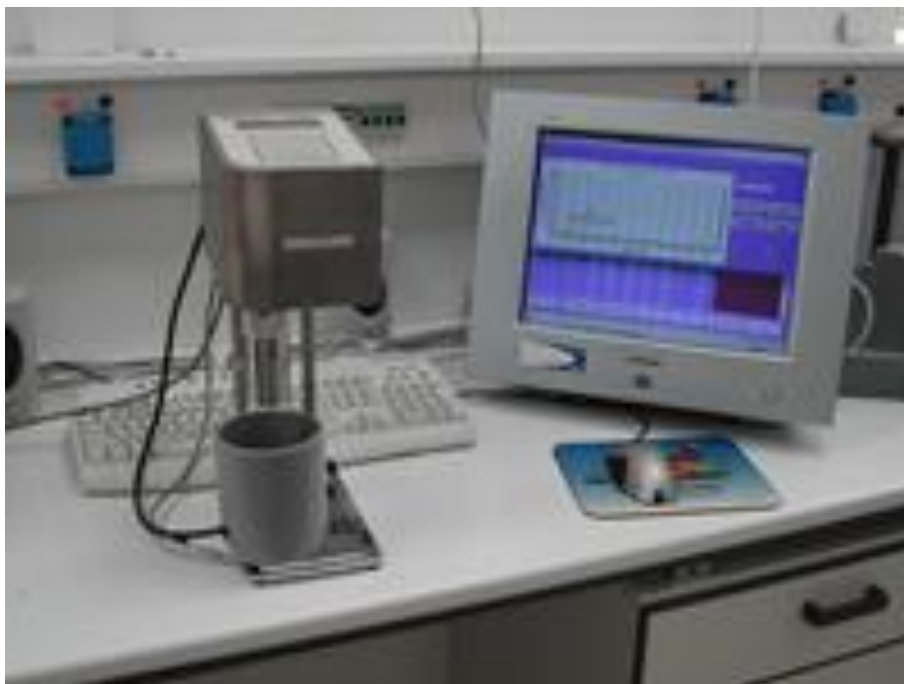
4.1.5. Όργανα επί τόπου μέτρησης των ιδιοτήτων του πολφού

Το API (American Petroleum Institute) προτείνει τα παρακάτω όργανα μέτρησης των ιδιοτήτων του πολφού.

1. Ζυγός πολφού. Πρόκειται για ένα ζυγό, ο οποίος φέρει ένα δοχείο μέσα στο οποίο τοποθετείται το δείγμα. Το σημείο που θα ισορροπήσει ο ζυγός υποδεικνύει την πυκνότητα του πολφού (Εικόνα 4.3). Εκτός του ζυγού για την μέτρηση της πυκνότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και πυκνόμετρο.
2. Περιστροφικό ιξωδόμετρο. Υπολογίζει με μεγάλη ακρίβεια το ιξώδες του πολφού (Εικόνα 4.4). Δείγμα του πολφού τοποθετείται μεταξύ ενός περιστρεφόμενου και ενός ακίνητου στοιχείου και υποβάλλεται σε διατμητικές τάσεις. Τα σύγχρονα ιξωδόμετρα είναι διαφόρων περιστροφικών ταχυτήτων (πχ: 300,600 rpm).
3. Όργανα μέτρησης των χημικών ιδιοτήτων του πολφού. Περιλαμβάνει σερ οργάνων τα οποία παρέχουν τη δυνατότητα προσδιορισμού των συγκεντρώσεων διαφόρων στοιχείων στον πολφό.
4. Φιλτροπρέσσα. Υπολογίζει το ρυθμό διήθησης του πολφού μέσω του χρησιμοποιούμενου φίλτρου.



Εικόνα 4.3: Ζυγός μέτρησης πυκνότητας πολφού του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωτρήσεων και Ρευστομηχανικής στο Πολυτεχνείο Κρήτης (αριστερά). Χωνί Marsh (δεξιά), πηγή: προσωπικό αρχείο, www.matest.com.

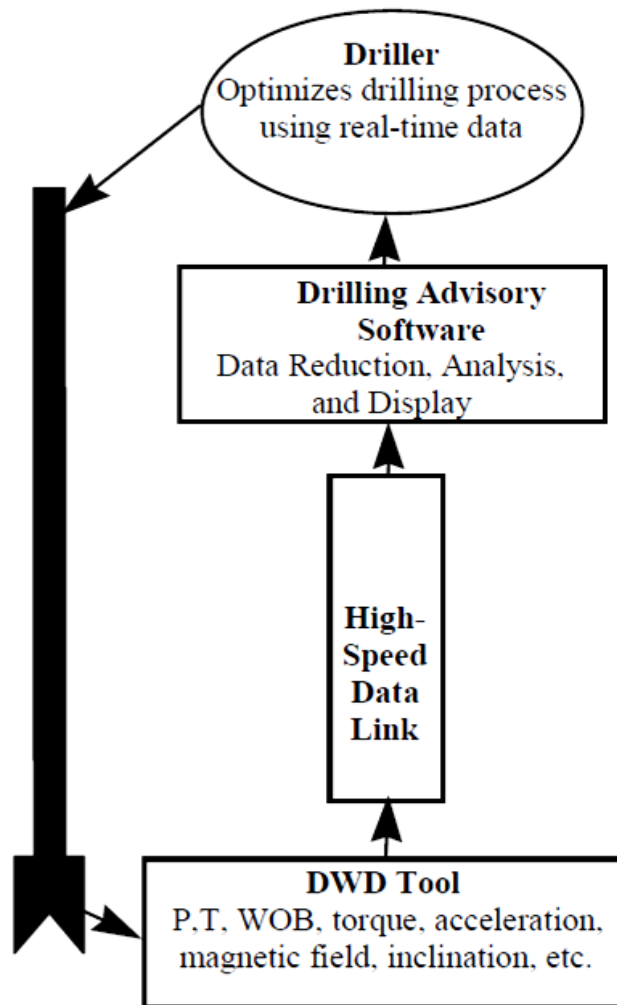


Εικόνα 4.4: Συσκευή μέτρησης του ιξώδους (viscometer) του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωτρήσεων και Ρευστομηχανικής στο Πολυτεχνείο Κρήτης (πηγή: προσωπικό αρχείο).

4.2. Συστήματα καταγραφής των γεωτρητικών παραμέτρων

Τα συστήματα (Measurements While Drilling, MWD) και (Diagnostics While Drilling, DWD) αποτελούν συστήματα παρακολούθησης τόσο των συνθηκών του πυθμένα της γεώτρησης, όσο και των γεωτρητικών παραμέτρων (Σχήμα 4.6).

Συγκεκριμένα, συλλέγονται δεδομένα με χρήση ειδικών αισθητήρων που είναι προσαρτημένοι επί της διατρητικής στήλης στο πυθμένα της γεώτρησης και έπειτα αποστέλλονται στο καταγραφικό που βρίσκεται στην επιφάνεια (Mansure, 2000). Ο γεωτρυπανιστής παρακολουθεί την εξέλιξη της διάτρησης και επεμβαίνει σε πραγματικό χρόνο τροποποιώντας κατάλληλα τις γεωτρητικές παραμέτρους.



Σχήμα 4.6 : Αναπαράσταση συστήματος Diagnostics While Drilling (πηγή: Mansure, 2000).

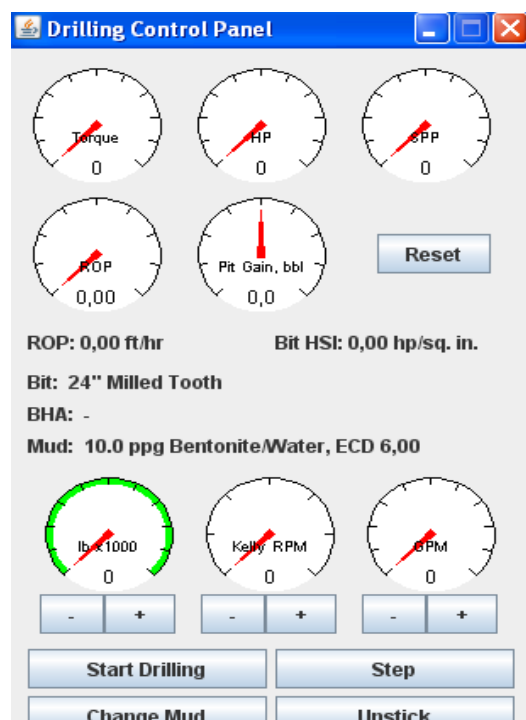
Όπως αναφέρει ο Mansure (2000), τα συστήματα MWD και DWD συντελούν στην:

- ✓ Παρακολούθηση και έλεγχο όλων των γεωτρητικών παραμέτρων της διάτρησης (WOB, ROP, RPM, ροπή κ.ά.).
- ✓ Επιμήκυνση του χρόνου ζωής του κοπτικού άκρου και των διατρητικών στελεχών.
- ✓ Άμεση γνώση των συνθηκών του πυθμένα (πχ: θερμοκρασία).
- ✓ Άμεση γνώση των εναλλαγών των γεωλογικών σχηματισμών.
- ✓ Εύκολη ανίχνευση εισόδου – εξόδου ρευστών στο φρέαρ.

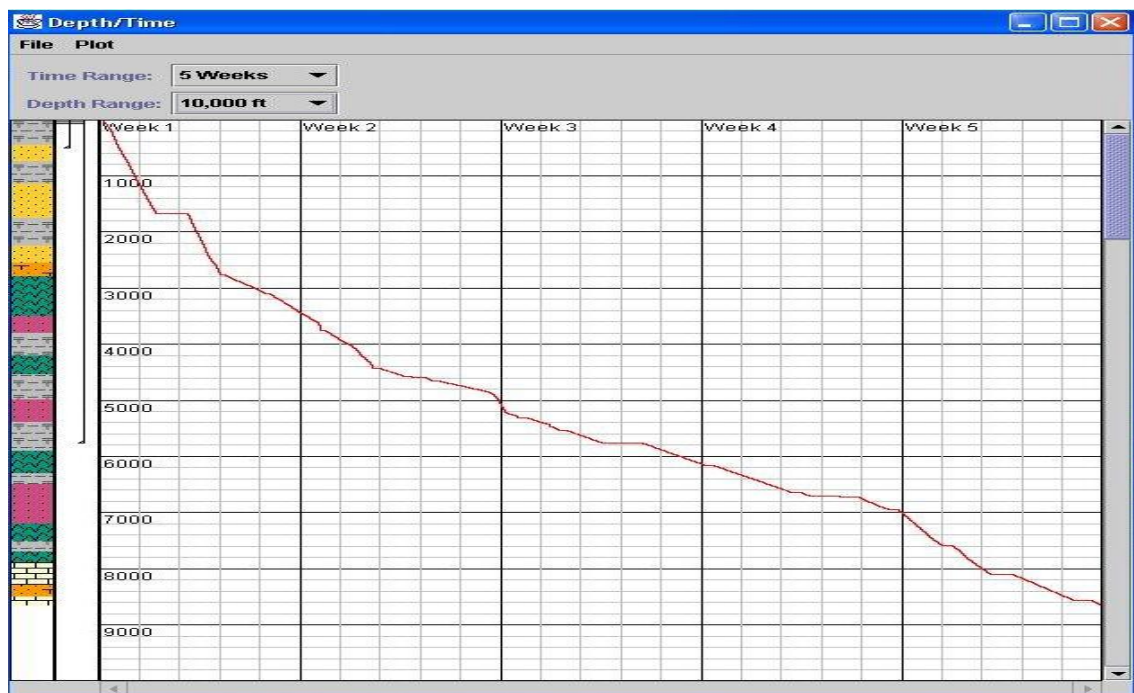
4.3. Βελτιστοποίηση της διατρητικής διαδικασίας μέσω προγραμμάτων εξομοίωσης

Η βελτιστοποίηση της κατασκευής των γεωτρήσεων αφορά στην οικονομικότερη, ταχύτερη και ασφαλέστερη διάνοιξη τους μέσω της ορθότερης επιλογής των γεωτρητικών παραμέτρων. Μπορεί δε να επιτευχθεί με χρήση συστημάτων παρακολούθησης MWD αλλά και μέσω της ανάπτυξης και χρήσης λογισμικών εφαρμογών εξομοίωσης /- βελτιστοποίησης (Mannon, 2001, Sadkowski et al. 2009).

Σχετικά με τα προγράμματα εξομοίωσης της διατρητικής διαδικασίας, αυτά είναι πολυάριθμα. Οι εξομοιωτές δέχονται πραγματικά δεδομένα γεωτρήσεων (πχ: είδος και πάχος των γεωλογικών σχηματισμών, είδος του κοπτικού άκρου, αντοχή των πετρωμάτων σε μονοαξονική θλίψη (UCS) κ.ά.) και υπολογίζουν το ρυθμό διάτρησης (Kelessidis and Dalamarinis, 2009). Με αυτόν τον τρόπο προσφέρεται η δυνατότητα στον χρήστη, να αλλάξει μια ή περισσότερες εκ των γεωτρητικών παραμέτρων και να παρακολουθήσει την εξέλιξη της διάτρησης. Αυτό είναι σημαντικό γιατί τα αποτελέσματα μπορεί να χρησιμοποιηθούν στην βελτιστοποίηση της ανόρυξης μελλοντικών υδρογεωτρήσεων στην ευρύτερη περιοχή, όπου εκτιμάται ότι θα απαντηθούν τα ίδια πετρώματα.



Εικόνα 4.5: Ρυθμίσεις γεωτρητικών παραμέτρων με χρήση του προγράμματος εξομοίωσης Payzone (πηγή: Κελεσιδής, 2012).



Εικόνα 4.6: Αποτελέσματα εξομοιωτή Rayzone (πηγή: Κελεσίδης, 2012).

4.4. Συμπεράσματα

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, η χρήση ειδικών συστημάτων καταμέτρησης και καταγραφής των γεωτρητικών παραμέτρων (MWD) και (DWD) και η εφαρμογή εξομοιωτών διάτρησης, συμβάλλουν στην παρακολούθηση και αλλαγή των γεωτρητικών παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο με σκοπό την επίτευξη της βέλτιστης ταχύτητας διάτρησης (Thuro, 1996).

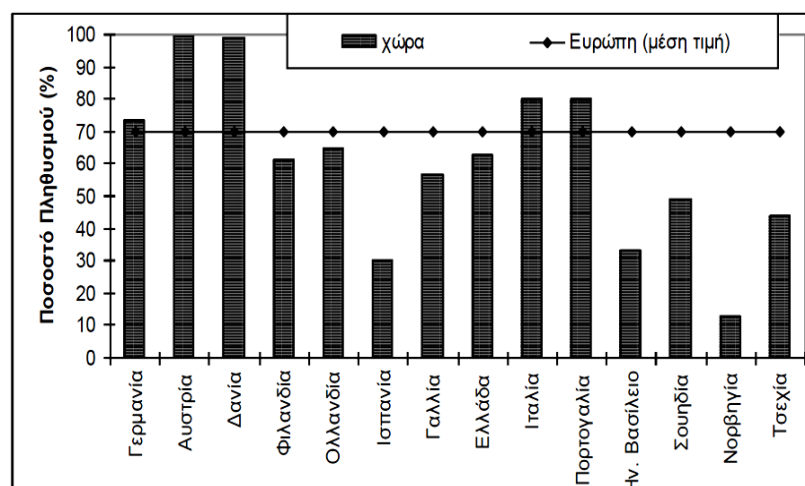
Κεφάλαιο 5ο – Υδρογεωτρήσεις

5.1. Κατασκευή υδρογεωτρήσεων

Οι υδρογεωτρήσεις αποτελούν τεχνικά έργα, τα οποία επιτρέπουν την ανεύρεση και εκμετάλλευση του υπόγειου νερού (Εικόνα 5.1). Ανήκουν στην κατηγορία των αβαθών γεωτρήσεων, δεδομένου ότι το βάθος τους δεν ξεπερνά τα 600 - 650 m. Η διάμετρος τους ποικίλλει μεταξύ 0,30 - 0,60 m.



Εικόνα 5.1 : Υδρογεώτρηση (πηγή: www.anatolh.com).



Διάγραμμα 5.1: Ποσοστό πληθυσμού σε διάφορες χώρες που καλύπτει τις υδατικές του ανάγκες μέσω των υδρογεωτρήσεων (πηγή: Martinez Naverette et al., 2007).

Όπως προκύπτει από το Διάγραμμα 5.1, στην Ελλάδα περίπου το 60% του πληθυσμού καλύπτει τις ανάγκες του από την εκμετάλλευση του υπόγειου νερού μέσω των υδρογεωτρήσεων, ενώ ο αντίστοιχος μέσος όρος των χωρών της Ευρώπης ανέρχεται στο 70%.

Η κατασκευή οποιασδήποτε υδρογεώτρησης αποτελείται από δύο στάδια:

- α) Ανόρυξη της ερευνητικής υδρογεώτρησης.
- β) Ανόρυξη παραγωγικής υδρογεώτρησης.

5.2. Ερευνητική υδρογεώτρηση

Η ερευνητική υδρογεώτρηση έχει σχετικά μικρή διάμετρο ($9^{5/8}$ in) και το βάθος τους εξαρτάται από τη θέση και τον αριθμό των υδροφόρων στρωμάτων. Στόχος των ερευνητικών γεωτρήσεων είναι η διασταύρωση των δεδομένων που προέκυψαν από την μελέτη που συνέταξε ο υδρογεωλόγος, καθώς και ο προσδιορισμός της λιθοστρωματογραφίας της περιοχής.

Σύμφωνα με τον Κάπο (1994), η ανόρυξη της ερευνητικής γεώτρησης έπεται:

1. Της εφαρμογής γεωφυσικής έρευνας στην επιφάνεια του εδάφους και στο εσωτερικό της γεώτρησης.
2. Της μελέτης χαρτών (πιεζομετρικών, χημικής σύστασης νερού, υδρογεωλογικών).
3. Της εξέτασης γεωτρητικών τομών κοντινών υδρογεωτρήσεων ή άλλων γεωτρήσεων.

5.2.1. Εφαρμογή γεωφυσικών μεθόδων στην επιφάνεια του εδάφους

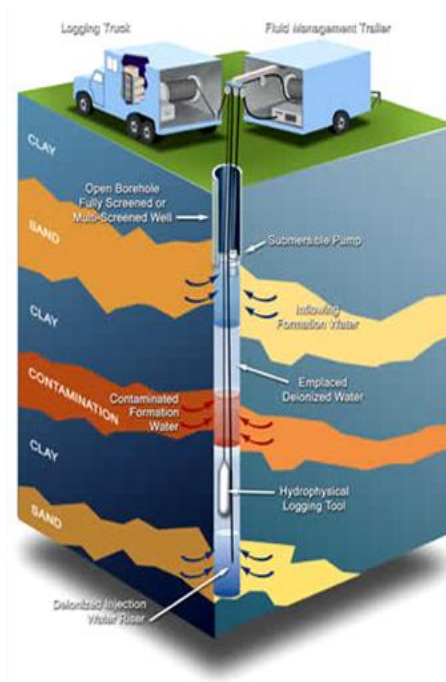
Η γεωφυσική έρευνα πραγματοποιείται στην επιφάνεια του εδάφους με σκοπό τη διερεύνηση του υπεδάφους, γρήγορα, οικονομικά και σε μεγάλη έκταση. Σύμφωνα με τον Βαφείδη (2002), οι γεωφυσικές μέθοδοι αποσκοπούν στον προσδιορισμό της στρωματογραφίας του πάχους και της κλίσης των στρωμάτων, της ύπαρξης ρηγμάτων ή εγκοίλων, αλλά και των ιδιοτήτων των γεωλογικών σχηματισμών (πορώδες, περιεκτικότητα σε αργίλους, θερμοκρασία κ.ά.).

Γενικά για τον καθορισμό του σημείου διάνοιξης των υδρογεωτρήσεων εφαρμόζονται σεισμικές, βαρυτομετρικές και ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι (Driscoll, 1987). Σημαντικό είναι να γίνει συνδυασμός των αποτελεσμάτων των παραπάνω γεωφυσικών μεθόδων για μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις.

5.2.2. Εφαρμογή διασκοπήσεων

Οι διασκοπήσεις υδρογεωτρήσεων πραγματοποιούνται στο εσωτερικό του φρέατος και όταν υπάρχει ακόμη πολφός με σκοπό τη λήψη χρήσιμων πληροφοριών σχετικά με τους υπό διάτρηση σχηματισμούς. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η επιλογή των κατάλληλων υδροφορέων, αλλά και η τοποθέτηση των φιλτροσωλήνων στο κατάλληλο βάθος (Βαφειάδης, 1998). Ακόμη μέσω των διασκοπήσεων πιστοποιείται νομικά, ότι η υδρογεώτρηση είναι κατασκευασμένη σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζονται από την κείμενη νομοθεσία, ώστε να μπορεί να εκδοθεί η άδεια λειτουργίας της.

Οι διασκοπήσεις πραγματοποιούνται με ειδικά όργανα τις λεγόμενες οβίδες μέτρησης. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία οβίδων ανάλογα με την λειτουργία και το είδος των πληροφοριών που συλλέγουν (Κελεσίδης, 2012). Οι οβίδες τοποθετούνται στο κάτω άκρο της γεωτρητικής στήλης ή αναρτώνται από συρματόσχοινο και καταγράφουν τις αντίστοιχες πληροφορίες, οι οποίες στη συνέχεια αποστέλλονται στο καταγραφικό επιφανείας προς ανάλυση (Σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1 : Εφαρμογή διασκοπήσεων σε γεώτρηση (πηγή: www.geo.auth.gr).

Σύμφωνα με τον Βαφειάδη (1998), υπάρχουν τρεις κατηγορίες μεθόδων διασκοπήσεων:

1. Ηλεκτρικές
2. Ακτινοβολίας
3. Ακουστικές

5.2.2.1. Διασκόπηση ηλεκτρικής αντίστασης

Η αντίσταση που προβάλλουν τα πετρώματα εξαρτάται από το πορώδες, την παρουσία νερού στο εσωτερικό τους, τη συγκέντρωση αλάτων κ.ά. Η διαγραφή της ηλεκτρικής αντίστασης εκμεταλλεύεται τις ιδιότητες αυτές των γεωλογικών σχηματισμών και εντοπίζει πιθανά υδροφόρα στρώματα, τη διαπερατότητά τους, την επιφάνεια μεταξύ των γεωλογικών σχηματισμών, την αλατότητα του νερού κ.ά. (Εικόνα 5.2 και Διάγραμμα 5.2).



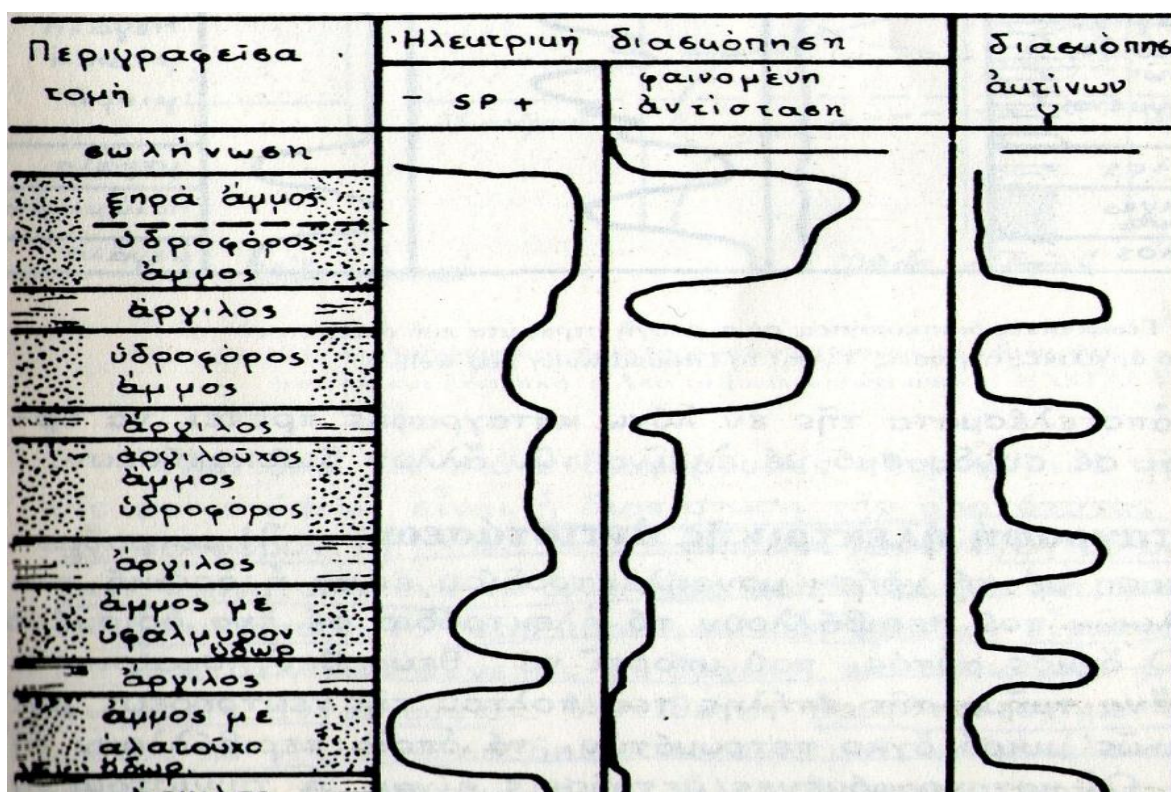
Εικόνα 5.2 : Εξοπλισμός διαγραφής ηλεκτρικής αντίστασης (πηγή: Σουπιός, 2011).

5.2.2.2. Διασκόπηση ακτινοβολίας γ

Η αρχή λειτουργίας της διαγραφής ακτινοβολίας γ στηρίζεται στη μέτρηση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ραδιενεργά στοιχεία, όπως το Κάλιο (^{40}K), το Ουράνιο (^{238}U), το Θόριο (^{232}Th) που περιέχονται στους γεωλογικούς σχηματισμούς κλπ. Η ανίχνευση πραγματοποιείται από απεριθμητή κρούσεων, ο οποίος έχει την ικανότητα να ενεργοποιείται με την ακτινοβολία γ. Αργιλικόι σχηματισμοί εκπέμπουν υψηλότερη ακτινοβολία γ, έναντι ανθρακικών πετρωμάτων.

5.2.2.3. Διασκόπηση δυναμικού

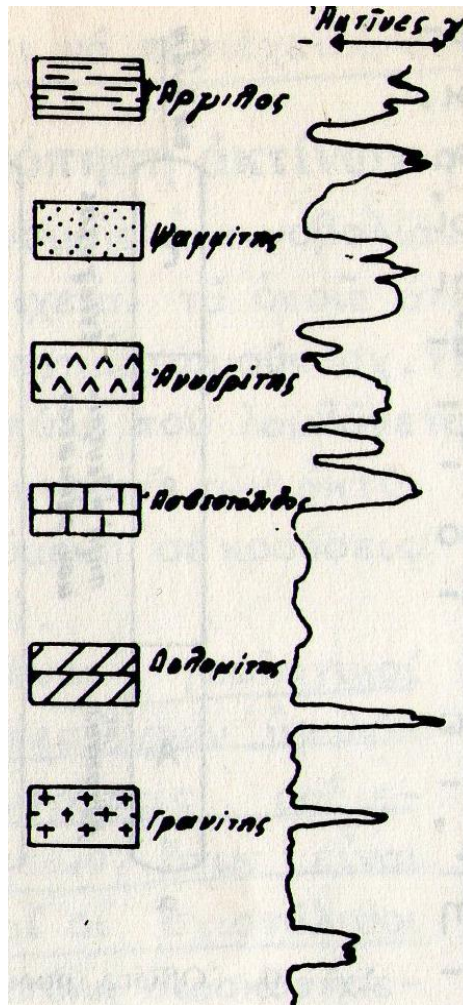
Η καμπύλη του φυσικού δυναμικού (SP) δείχνει διαφορές δυναμικού μεταξύ ηλεκτροδίου στην επιφάνεια του εδάφους και ενός άλλου στο εσωτερικό της γεώτρησης. Θετικές τιμές δυναμικού καταγράφονται όταν σημειώνεται εισροή ρευστού από τους περιβάλλοντες σχηματισμούς στο φρέαρ και αντίστροφα.



Διάγραμμα 5.2 : Μετρήσεις καταγραφικού οργάνου με εφαρμογή διασκόπησης δυναμικού (SP), ηλεκτρικής αντίστασης και ακτίνων γ, πηγή: Βαφειάδης, 1998.

5.2.2.4. Διασκόπηση νετρονίων

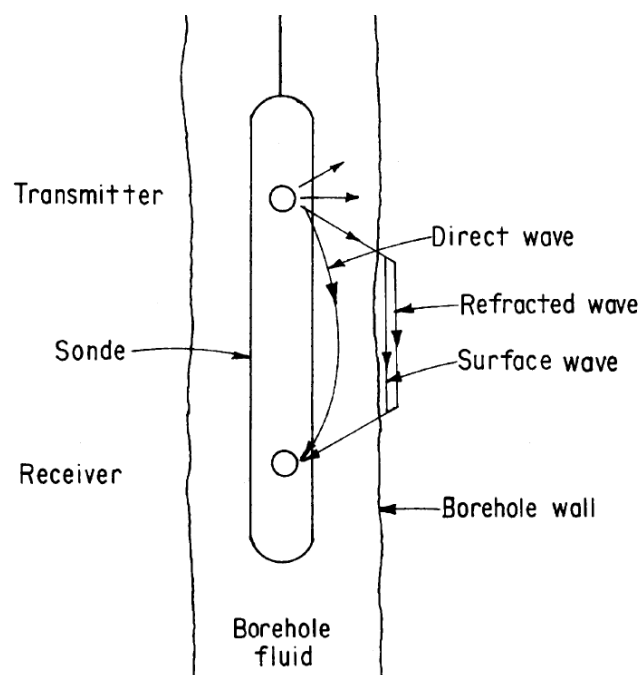
Η συγκεκριμένη μέθοδος στηρίζεται στην εκπομπή νετρονίων από ραδιενεργή πηγή, τα οποία προσκρούουν σε μόρια υδρογόνου (H_2) και απορροφώνται από αυτά εκπέμποντας παράλληλα ακτίνες γ (Διάγραμμα 5.3). Έτσι, σε σχηματισμούς με μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό, παρατηρείται μεγαλύτερη απορρόφηση νετρονίων. Η διαγραφή νετρονίων συνεπώς εξυπηρετεί στην ανίχνευση υδροφόρων στρωμάτων (Βαφειάδης, 1998).



Διάγραμμα 5.3. : Μετρήσεις καταγραφικού οργάνου με εφαρμογή διασκόπησης νετρονίων, (πηγή: Βαφειάδης, 1998).

5.2.2.5. Ηχητική διασκόπηση

Πραγματοποιούνται μετρήσεις ταχύτητας των υπερήχων (Σχήμα 5.2). Ο χρόνος που απαιτείται για την διέλευση των υπερήχων από σχηματισμούς του υπεδάφους είναι συνάρτηση των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων τους. Η εφαρμογή της ακουστικής διαγραφίας είναι σημαντική, γιατί μέσω αυτής προκύπτουν πληροφορίες σχετικά με το πορώδες και την κατάσταση της βραχομάζας (ύπαρξη ρηγμάτων, εγκοίλων κλπ.).



Σχήμα 5.2 : Ηχητική διαγραφία (πηγή: Κελεσίδης, 2012).

5.2.2.6. Διασκόπηση θερμοκρασίας

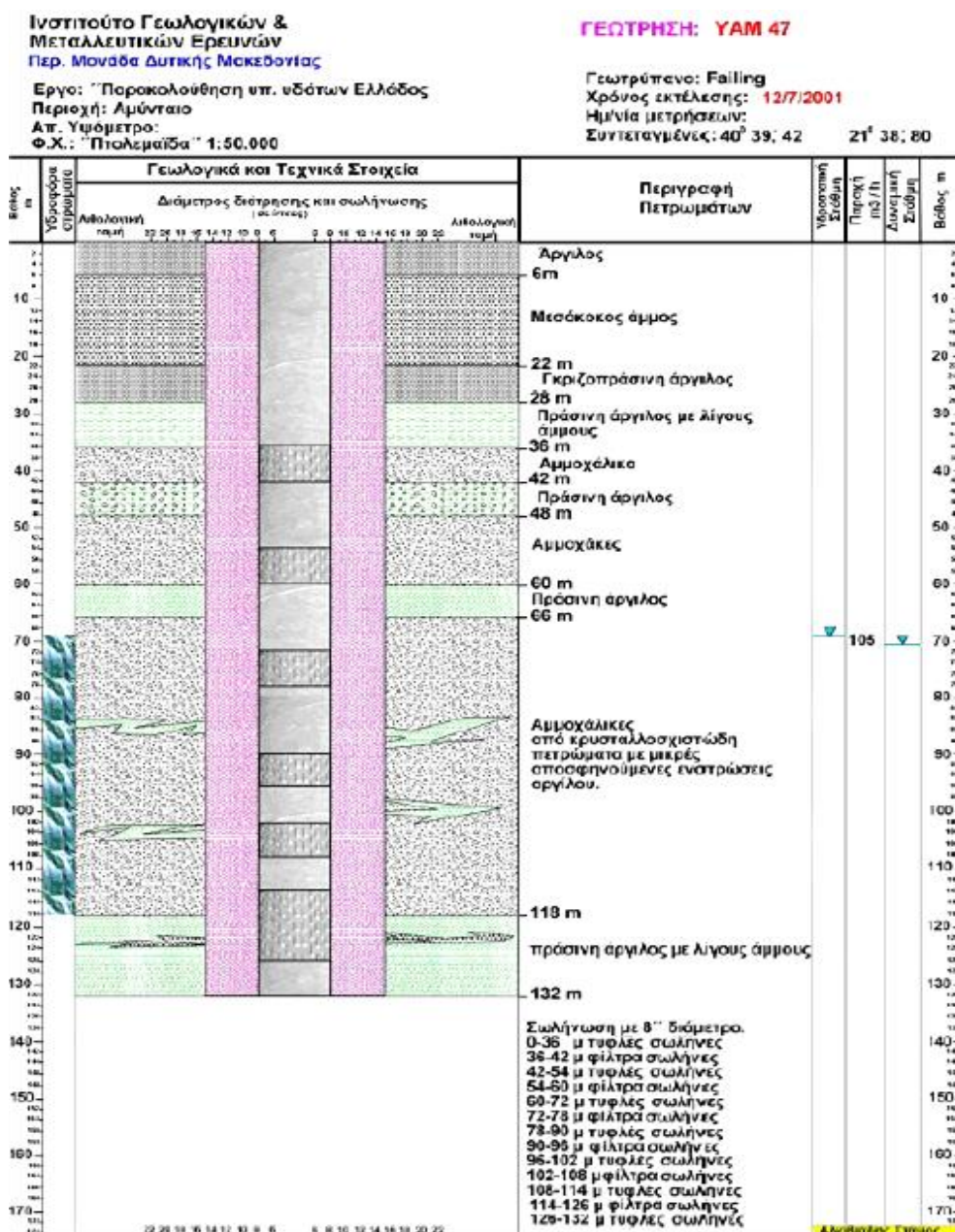
Η θερμοκρασία στο υπέδαφος αυξάνεται με την αύξηση του βάθους. Αποκλίσεις από τον κανόνα αυτόν υποδεικνύουν την ύπαρξη υδροφόρων στρωμάτων. Η οβίδα φέρει θερμόμετρο καταγράφει τη διακύμανση των θερμοκρασιών συναρτήσει του βάθους.

5.2.3. Μελέτη χαρτών

Στα πλαίσια της έρευνας του υπεδάφους για την αναζήτηση πιθανών υδροφόρων στρωμάτων περιλαμβάνεται και η μελέτη χαρτών. Οι γεωλογικοί, υδρογεωλογικοί, πιεζομετρικοί, τοπογραφικοί και λοιποί χάρτες συντελούν στην γεωλογική χαρτογράφηση ή παρέχουν πληροφορίες για το είδος των γεωλογικών στρωμάτων, την κατανομή τους στο χώρο, την ύπαρξη ρηγμάτων στην περιοχή, την κίνηση του νερού στο υπέδαφος, την στάθμη του υπόγειου νερού, την ποιότητά του, τον τρόπο πρόσβασης του γεωτρυπάνου στην επιθυμητή θέση διάνοιξης κ.ά.

5.2.4. Γεωτρητικές τομές

Γειτονικές υδρογεωτρήσεις μπορούν να δώσουν επίσης στοιχεία σχετικά με τα βάθος των υδροφόρων στρωμάτων (Driscoll, 1987). Ωστόσο οι γεωτρητικές τομές δεν δίνουν παρά γραμμική πληροφορία για τους σχηματισμούς (είδος και πάχος στρωμάτων), οπότε υπάρχει πάντα η γεωλογική αβεβαιότητα λόγω της απόστασης που χωρίζει τις δύο γεωτρήσεις (Σχήμα 5.2).



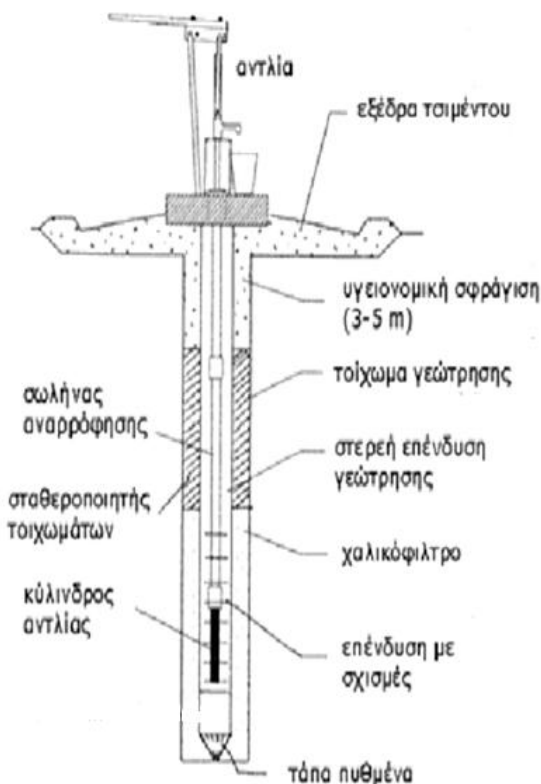
Σχήμα 5.3 : Παράδειγμα γεωτρητικής τομής σε υδρογεώτρηση, όπου παρουσιάζονται πληροφορίες σχετικά με τα στρώματα και τον υδροφόρο ορίζοντα (πηγή: ΙΓΜΕ).

5.3. Παραγωγική υδρογεώτρηση

Η παραγωγική υδρογεώτρηση προκύπτει μετά τη διεύρυνση της διαμέτρου της ερευνητικής και την διεκπεραίωση ορισμένων εργασιών (εργασίες συμπλήρωσης), όπως αναφέρονται παρακάτω.

Η διάμετρος των παραγωγικών υδρογεωτρήσεων είναι συνήθως 8,5 , 11 ½ , 12 ¼ , 15 ½, 17,5 in. Γενικά η διάμετρος της υδρογεώτρησης καθορίζει τη διάμετρο της σωλήνωσης και τη διάμετρο της αντλίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι αύξηση της διαμέτρου δεν συνεπάγεται αντίστοιχη αύξηση της παροχής (Βαφειάδης, 1998).

Από την άλλη, αύξηση της διαμέτρου της παραγωγικής υδρογεώτρησης συνεπάγεται και μεγαλύτερο κόστος κατασκευής. Αυτό οφείλεται στη χρήση μεγαλύτερης διαμέτρου κοπτικού άκρου, διατρητικών στελεχών, σωληνώσεων και όγκου χαλικοφίλτρου. Επιπροσθέτως όσο αυξάνεται η διάμετρος του φρέατος, τόσο μεγαλύτερες είναι οι πιθανότητες κατάρρευσης των τοιχωμάτων.



Σχήμα 5.4 : Τελική μορφή υδρογεώτρησης και τα επιμέρους στοιχεία της
(πηγή: Κελεσίδης, 2012).

5.3.1. Εργασίες συμπλήρωσης των παραγωγικών υδρογεωτρήσεων

Οι εργασίες συμπλήρωσης των παραγωγικών υδρογεωτρήσεων είναι οι εξής:

1. Απόπλυση.
2. Σωλήνωση - εγκατάσταση πιεζομέτρου.
3. Χαλίκωση.
4. Ανάπτυξη.
5. Δοκιμαστικές αντλήσεις.
6. Τοποθέτησης αντλίας.
7. Δημιουργία τσιμεντένιας βάσης στην επιφάνεια του εδάφους.

5.3.1.1. Απόπλυση υδρογεώτρησης

Το στάδιο της απόπλυσης περιγράφει τον καθαρισμό της υδρογεώτρησης με καθαρό νερό. Αυτό εξυπηρετεί στην απομάκρυνση ποσότητας μπετονίτη που έχει επικαθίσει στα τοιχώματα του φρέατος και των τριμμάτων από τον πυθμένα.

5.3.1.2. Σωλήνωση υδρογεώτρησης

Ακολούθως της απόπλυσης πραγματοποιείται η σωλήνωση της υδρογεώτρησης. Σύμφωνα με τον Σούλιο (2008), η σωλήνωση εξυπηρετεί τους παρακάτω σκοπούς:

1. Παρέχει σταθερότητα στη γεώτρηση από τις καταπτώσεις.
2. Επιτρέπει τον καθαρισμό του αντλούμενου νερού.
3. Στο εσωτερικό της σωλήνωσης εγκαθίσταται η αντλία.

Η σωλήνωση των υδρογεωτρήσεων διακρίνεται σε δύο είδη:

- Φιλτροσωλήνες.
- Τυφλοί σωλήνες.

Η βασική διαφορά μεταξύ των δυο ειδών είναι, ότι οι μεν φιλτροσωλήνες διαθέτουν ανοίγματα στην επιφάνεια τους μέσω των οποίων πραγματοποιείται η διέλευση του νερού, ενώ οι τυφλοί σωλήνες είναι αδιαπέραστοι (Εικόνα 5.3).

Οι σωληνώσεις διατίθενται στο εμπόριο σε συγκεκριμένες διαμέτρους (2, 2,5 , 3 , 3,5 , 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16 in), πάχη (2 mm - 5 mm) και μήκη 6 m. Η διάμετρος της σωλήνωσης εξαρτάται από την διάμετρο της γεώτρησης. Όπως ορίζει το ΦΕΚ 292/2003, τα εύρη των διαμέτρων είναι:

- ✓ Για τελική διάμετρο γεώτρησης 12,25 in (311 mm) τοποθετείται σωλήνωση διαμέτρου 8 in (203mm).
- ✓ Για τελική διάμετρο γεώτρησης 15,5 in (394 mm) τοποθετείται σωλήνωση διαμέτρου 10,75 in (273mm).
- ✓ Για τελική διάμετρο γεώτρησης 17,5 in (445 mm) τοποθετείται σωλήνωση διαμέτρου 12 in (305mm).

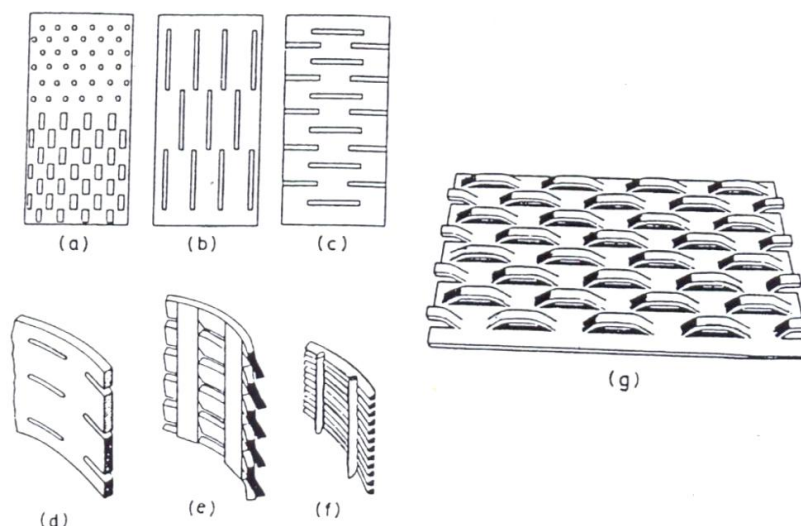
Το πάχος τοιχωμάτων των τυφλών σωλήνων και φιλτροσωλήνων πρέπει να είναι 4 mm για διάμετρο $6^{5/8}$ και 5 mm για διαμέτρους $8^{5/8}$, $10^{3/4}$, $12^{3/4}$ in ή μεγαλύτερες.

Οι σωληνώσεις είναι κατά κύριο λόγο μεταλλικές ή από πλαστικό P.V.C (Σούλιος, 2008). Οι μεταλλικοί σωλήνες πρέπει να είναι γαλβανισμένοι, ώστε να μην προκαλείται η οξείδωση τους. Η οξείδωση των σωλήνων οδηγεί στην άντληση χαμηλής ποιότητας νερού. Επίσης οι μεταλλικοί σωλήνες έχουν καλύτερες αντοχές στο χρόνο σε σύγκριση με τους πλαστικούς (Κάπος, 1994).



Εικόνα 5.3 : Τυφλοί σωλήνες και φιλτροσωλήνες, (πηγή: Βουδούρης και Μαρίνος, 2010).

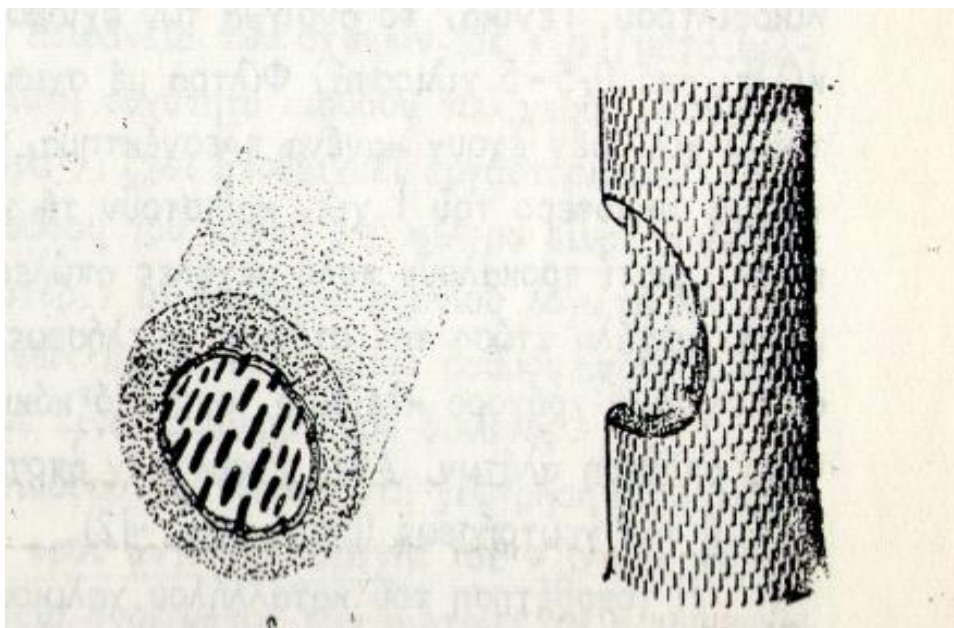
Ο τύπος των ανοιγμάτων που φέρουν οι φιλτροσωλήνες ποικίλλει (Σχήμα 5.5). Η επιλογή του σωστού τύπου ανοίγματος είναι σημαντική για την ποιότητα του νερού και την διατήρηση της σωλήνωσης και της αντλίας σε καλή κατάσταση. Καθορίζεται δε από την κοκκομετρική σύσταση του υδροφόρου στρώματος αλλά και από το πάχος του χαλικοφίλτρου (Βουδούρης και Μαρίνος, 2010).



Σχήμα 5.5 : Διαφορετικά είδη ανοίγματος σε φιλτροσωλήνες: a) Κυκλικές ή ορθογώνιες οπές, b) Κατακόρυφες οπές, c) Οριζόντιες οπές, d) Οριζόντιες οπές, e) Περισιδωτές σχισμές, f) Συνεχείς σχισμές, g) Τύπου γέφυρα (πηγή: Βουδούρης και Μαρίνος, 2010).

Για παράδειγμα, όταν υπάρχει μεγάλη περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκο υλικό, προτιμούνται οι φιλτροσωλήνες με γεφυρωτές σχισμές. Αντίθετα σε αδρόκοκκα υλικά, ρωγμώδη πετρώματα ή καρστικούς σχηματισμούς (πχ: ασβεστόλιθος), τοποθετούνται φιλτροσωλήνες με μεγάλες σχισμές. Στην περίπτωση βέβαια που υπάρχουν εναλλαγές λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων υλικών και είναι γνωστό το βάθος τους (μέσω της εφαρμογής διαγραφιών ή άλλων κοντινών γεωτρήσεων), χρησιμοποιούνται φιλτροσωλήνες που διαθέτουν κατά τμήματα τα αντίστοιχα ανοίγματα.

Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται επίσης φιλτροσωλήνες με αμμόδη μανδύα για βέλτιστα αποτελέσματα (Εικόνα 5.4). Συγκεκριμένα, τα φίλτρα περιβάλλονται από διαβαθμισμένους κόκκους άμμου που είναι συγκολλημένοι μεταξύ τους ή αποτελούν γόμωση μεταξύ δύο ομόκεντρων φιλτροσωλήνων.



Εικόνα 5.4 : Φίλτρα με αμμώδη μανδύα (πηγή: Βαφειάδης, 1998).

Οι φιλτροσωλήνες πρέπει να τοποθετούνται πάντα στο κέντρο του φρέατος ώστε να αποφευχθούν προβλήματα ανομοιομορφίας, όσον αφορά το πάχος του χαλικόφιλτρου. Αυτό επιτυγχάνεται με ειδικούς οδηγούς κέντρωσης (Εικόνα 5.5).

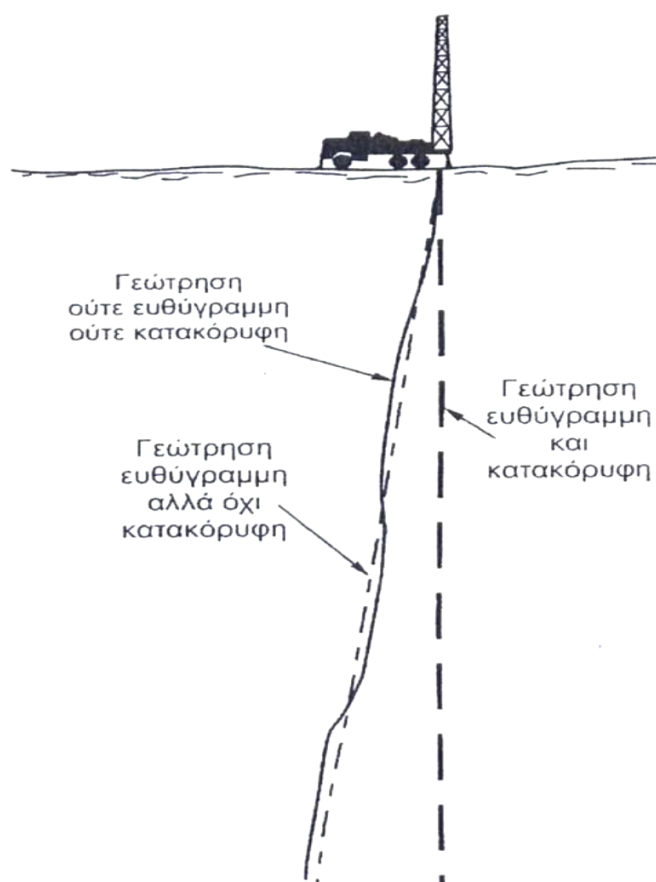


Εικόνα 5.5 : Οδηγός κέντρωσης για ορθότερη τοποθέτηση του φιλτροσωλήνα (πηγή: Driscoll, 1987).

Τέλος αναφέρεται, ότι η θέση των φιλτροσωλήνων ως προς τα υδροφόρα στρώματα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη ροή του υπόγειου νερού ώστε να μειωθούν οι απώλειες φορτίου στο ελάχιστο (Βαφειάδης, 1998).

5.3.1.3. Κατακορυφότητα και ευθυγραμμία υδρογεώτρησης

. Η κατακορυφότητα αποτελεί βασική προϋποθεση για την ομαλή λειτουργία της υδρογεώτρησης (Κάπος, 1994). Σε αντίθετη περίπτωση παρουσιάζονται σοβαρά τεχνικά προβλήματα, όπως είναι η ανομοιομορφία του πάχους του χαλικοφίλτρου, η αδυναμία εισαγωγής και εξαγωγής της αντλίας μέσα από τη σωλήνωση κ.ά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η υδρογεώτρηση να μην πληροί τις πληροί τις προϋποθέσεις κατασκευής της με συνέπεια να μην μπορεί να γίνει δεκτή από την αρμόδια Υπηρεσία.



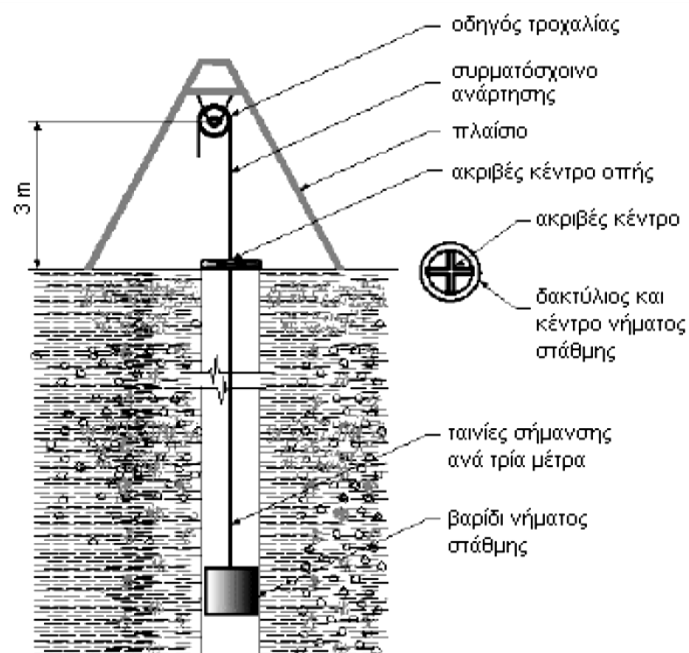
Σχήμα 5.6 : Κατακορυφότητα και ευθυγραμμία υδρογεώτρησης (πηγή: ΕΛΟΤ 23-12-2009).

Οι βασικότεροι λόγοι που προκαλούνται αποκλίσεις από την κατακορυφότητα είναι:

- i. Ύπαρξη ρηγματών με έντονη κλίση ως προς τον άξονα της γεώτρησης.
- ii. Εφαρμογή υψηλής πίεσης στο κοπτικό.
- iii. Έκκεντρη σύνδεση των διατρητικών στελεχών.

Η μέθοδος που εφαρμόζεται για τον προσδιορισμό της απόκλισης από την κατακορυφότητα χρησιμοποιεί διάταξη με βαρίδιο (Σχήμα 5.6). Το βαρίδιο αναρτάται από συρματόσχοινο, το οποίο συνδέεται στην επιφάνεια με τρίποδα. Το βαρίδιο κατεβάζεται στο φρέαρ εκτελώντας στάσεις. Σε κάθε στάση ελέγχεται η θέση του συρματόσχοινου η οποία υποδεικνύει το βαθμό της απόκλισης από την κατακορυφότητα. Άλλες μέθοδοι είναι η χρήση φωτοκαθετόμετρου, ωμόμετρου κ.ά. (Κάπος, 1994).

Μετά τον έλεγχο της κατακορυφότητας εγκαθίστανται ο πιεζομετρικός σωλήνας στη γεώτρηση μέσω του οποίου προσδιορίζεται η θέση της υδροφόρου στάθμης.



Σχήμα 5.7 : Διάταξη για τον έλεγχο της κατακορυφότητας (πηγή: ΕΛΟΤ 23-12-2009).

5.3.1.4. Χαλίκωση υδρογεώτρησης

Αφού τοποθετηθεί η σωλήνωση και το πιεζόμετρο στη γεώτρηση, αποτίθεται ποσότητα χαλικιού στο φρέαρ, ώστε να πληρωθεί ο δακτυλιοειδής χώρος μεταξύ της σωλήνωσης και των τοιχωμάτων (Εικόνα 5.6). Η χαλίκωση ξεκινά από τον πυθμένα του φρέατος και φθάνει μέχρι 5 m κάτω από το στόμιο της υδρογεώτρησης. Τα υπολειπόμενα 5 m μέχρι την επιφάνεια τσιμεντώνονται (υγειονομική σφράγιση).

Η χαλίκωση μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με θετική είτε με ανάστροφη κυκλοφορία πολφού μπετονίτη (Βαφειάδης, 1998). Στην θετική κυκλοφορία κατεβάζονται τα στελέχη μέσα στη σωλήση και προκαλείται θετική κυκλοφορία πολφού με μέγιστη παροχή. Στη συνέχεια μειώνεται η παροχή και πραγματοποιούνται ρίψεις χαλικιού περιμετρικά της σωλήνωσης. Όταν διαπιστωθεί φράξιμο από χαλίκια σε κάποιο βάθος, απαιτείται η παύση της χαλίκωσης, διοχέτευση πολφού με μέγιστη παροχή και ανασήκωμα της σωλήνωσης. Στην ανάστροφη κυκλοφορία γίνεται ανάστροφη κυκλοφορία πολφού.

Σύμφωνα με τον Βαφειάδη (1998) η χαλίκωση εξυπηρετεί:

- ✓ Αποφυγή καταπτώσεων των τοιχωμάτων.
- ✓ Συγκράτηση του λεπτόκοκκου υλικού (πχ: άμμος, άργιλος).
- ✓ Επιτρέπει την κατακόρυφη κίνηση του νερού στα φίλτρα.
- ✓ Αυξάνει την ενεργή διάμετρο της υδρογεώτρησης.

Επισημαίνεται ότι όσο αυξάνεται το πάχος του χαλικόφιλτρου τόσο αυξάνεται η διάρκεια ζωής της υδρογεώτρησης, ωστόσο πολύ μεγάλο πάχος καθιστά αδύνατη την ανάπτυξη της υδρογεώτρησης. Συνήθης τιμή για το πάχος του χαλικόφιλτρου είναι 50 - 100 cm.

Είναι σημαντικό το χαλίκι που χρησιμοποιείται να είναι συγκεκριμένων προδιαγραφών. Οι προδιαγραφές σχετίζονται με την σύσταση, την κοκκομετρία και το σχήμα των κόκκων. Σύμφωνα με τον Σούλιο (2008) αυτές οι προδιαγραφές είναι οι εξής:

1. Σύσταση.
2. Κοκκομετρία χαλικιού.
3. Σχήμα και υφή.

Η σύσταση των κόκκων πρέπει να είναι πυριτική ή χαλαζιακή. Ασβεστολιθικής σύστασης κόκκοι δεν γίνονται δεκτοί λόγω της έντονης διάλυσης που επιδεικνύουν με την διέλευση του νερού.

Το μέγεθος του χαλικιού πρέπει να είναι τέτοιο, ώστε να μην μπορεί να διέλθει λεπτόκοκκο υλικό από το εσωτερικό του, ενώ παράλληλα να επιτρέπεται η κυκλοφορία του νερού. Όπως αναφέρεται στον Αφτιά (1992), η κοκκομετρία του χαλικόφιλτρου καθορίζεται

από αυτήν του υδροφορέα μετά από δειγματοληψία. Συγκεκριμένα, προσδιορίζεται ο βαθμός ανομοιομορφίας U που ορίζεται σαν το λόγο των διαμέτρων $U = D_{60}/D_{10}$.

- ✓ Για $U < 3$ πρέπει να είναι 4πλάσια ή 5 πλάσια της D_{80} .
- ✓ Για $U = 3 - 5$ πρέπει να είναι 4πλάσια ή 5 πλάσια της D_{90} .

Σημαντικό είναι να αναφερθεί, ότι μπορούν να σχηματιστούν έως τρεις στρώσεις χαλικοῦ γύρω από τον φιλτροσωλήνα. Η εξωτερική στρώση οφείλει να ακολουθεί τις παραπάνω τιμές και κάθε εσωτερική στρώση πρέπει να είναι 4πλάσια της προηγούμενης. Η στρώση που εφάπτεται του φιλτροσωλήνα πρέπει να μην μπορεί να παρουσιάσει πρόβλημα εισχώρησής της σε αυτόν (Αφτιάς, 1992).

Όσον αφορά το σχήμα και την υφή των κόκκων, αυτό πρέπει να είναι αποστρογγυλεμένο και λείο, προκειμένου να μειωθούν οι απώλειες φορτίου.



Εικόνα 5.6 : Παρουσίαση χαλικόφιλτρου τοποθετημένο σε υδρογεώτρηση, (πηγή: Σούλιος, 2008).

5.3.1.5. Ανάπτυξη υδρογεώτρησης

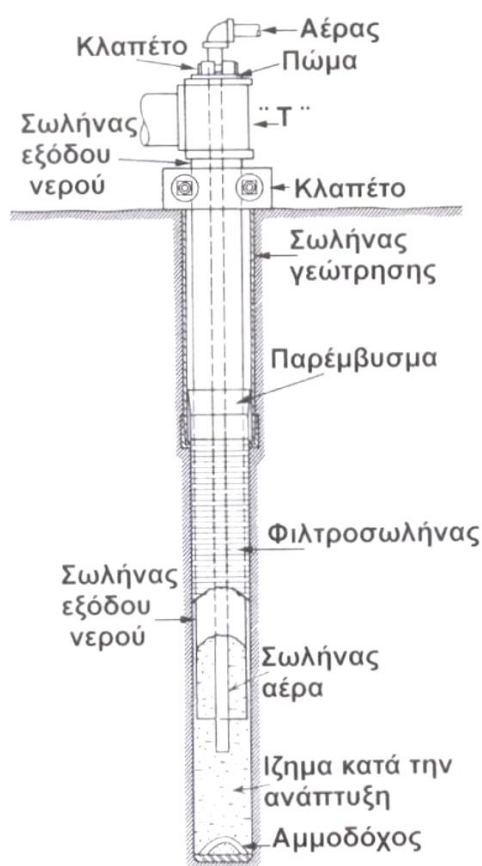
Στις περιπτώσεις που έχει χρησιμοποιηθεί πολφός μπετονίτη ως ρευστό, υπάρχει ποσότητα που είτε έχει παραμείνει προσκολλημένη στα τοιχώματα της γεώτρησης είτε έχει διεισδύσει σε κάποιο βάθος στους περιβάλλοντες σχηματισμούς. Επίσης ανάμεσα στους κόκκους του υπεδάφους είθισται να υπάρχει λεπτόκοκκο υλικό (πχ: ιλύς, άργιλος), το οποίο πρέπει να απομακρυνθεί γιατί προκαλεί απόφραξη των σωληνώσεων, φθορά της αντλίας και μείωση της ποιότητας του νερού.

Προκειμένου να βελτιωθεί η ροή του υπόγειου νερού προς το υδρομαστευτικό έργο και να επανέλθει η αρχική υδροπερατότητα των σχηματισμών, πρέπει να γίνουν ορισμένες ενέργειες (ΦΕΚ 292/12-3-2003). Το σύνολο αυτών των ενεργειών αναφέρεται με τον όρο “Ανάπτυξη Υδρογεώτρησης”.

Οι σημαντικότερες τεχνικές ανάπτυξης των υδρογεωτρήσεων σύμφωνα με τον Σούλιο (2008) είναι οι ακόλουθες:

Ανάπτυξη υδρογεώτρησης με εκτόξευση αέρα

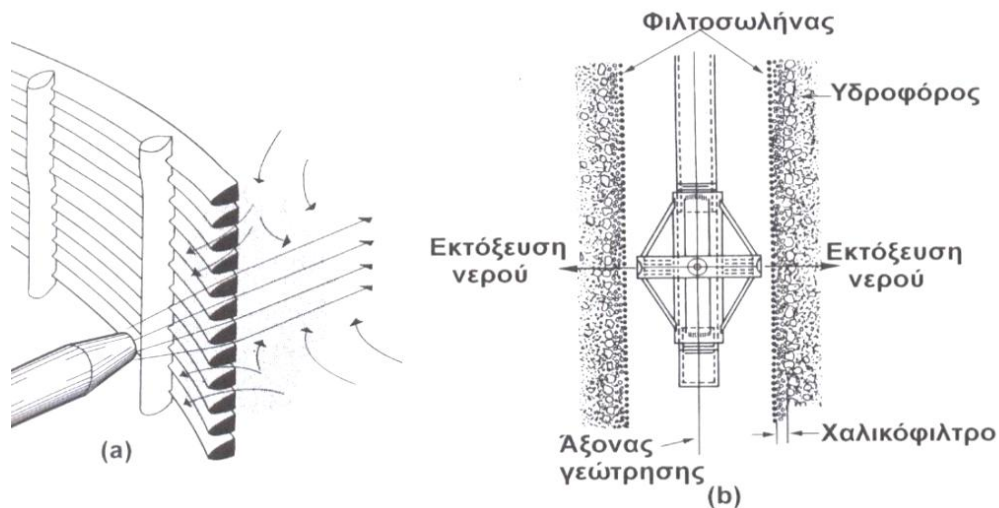
Αέρας υπό πίεση διοχετεύεται στο εσωτερικό της γεώτρησης διαμέσου των διατρητικών στελεχών και εξέρχεται από ειδική διάταξη που βρίσκεται στο κάτω μέρος της στήλης (Σχήμα 5.8).



Σχήμα 5.8 : Ανάπτυξη υδρογεώτρησης με αέρα (πηγή: Καλλέργης, 1999).

Ανάπτυξη υδρογεώτρησης με εκτόξευση νερού

Πραγματοποιείται εκτόξευση νερού υπό υψηλή πίεση προς τα τοιχώματα της γεώτρησης. Τυπικές ταχύτητες έγχυσης: 45-60 m/sec (Σχήμα 5.9).



Σχήμα 5.9 : Ανάπτυξη υδρογεώτρησης με εκτόξευση νερού (πηγή: Καλλέργης, 1999).

Ανάπτυξη υδρογεώτρησης με υπεράντληση

Πραγματοποιείται άντληση υψηλής παροχής προκειμένου να απομακρυνθεί το λεπτόκοκκο υλικό από το χαλικό φίλτρο και τους φιλτροσωλήνες.

Ανάπτυξη υδρογεώτρησης με κλιμακωτή άντληση

Κατά τη μέθοδο αυτή γίνεται άντληση σε βαθμίδες. Αρχικά η άντληση γίνεται με χαμηλές παροχές και στη συνέχεια αυξάνεται.

Ανάπτυξη υδρογεώτρησης με απότομη έναρξη και παύσης της άντλησης

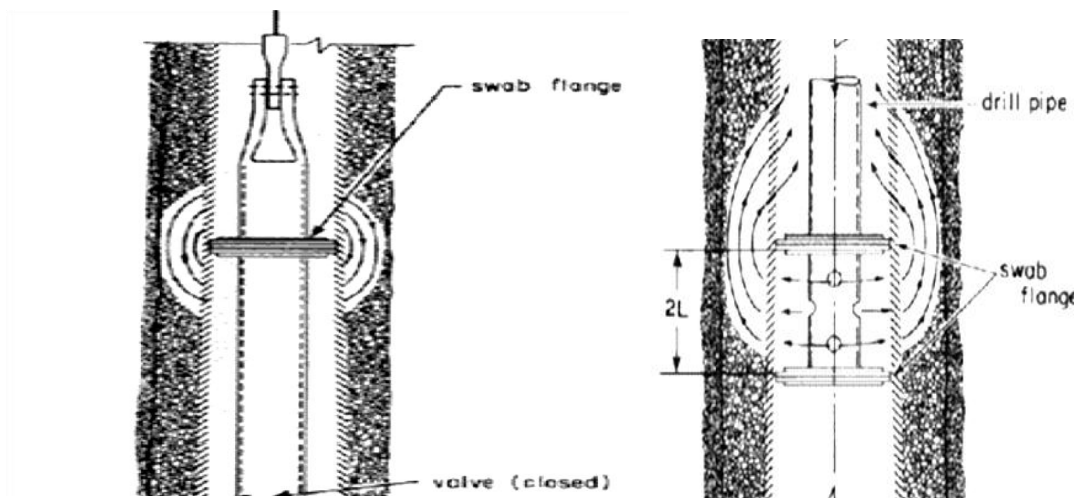
Πραγματοποιείται απότομη άντληση (10-30 min) και ακολουθεί η παύση της για 5-15 min.

Ανάπτυξη υδρογεώτρησης με εναλλαγές άντλησης – εισπίεσης ρευστού

Με την εναλλαγή άντλησης - εισπίεσης γίνεται αναδιάταξη των εδαφικών κόκκων για καλύτερη διέλευση του νερού προς την υδρογεώτρηση.

Ανάπτυξη υδρογεώτρησης με εμβολισμό

Γίνεται χρήση εμβόλου, το οποίο εκτελεί παλινδρομική κίνηση εντός της σωληνωμένης γεώτρησης. Η κίνηση του εμβόλου προκαλεί αιφνίδια αλλαγή των πιέσεων και της διεύθυνσης του νερού στο φρέαρ (Σχήμα 5.10).



Σχήμα 5.10 : Ανάπτυξη υδρογεώτρησης με μονό και διπλό έμβολο (πηγή: Κελεσίδης, 2012).

Ανάπτυξη υδρογεώτρησης με υδραυλικό κατακερματισμό

Χρησιμοποιούνται παρεμβύσματα, τα οποία απομονώνουν κάθε φορά διαφορετικό τμήμα της γεώτρησης. Το ανώτερο παρέμβυσμα διαπερνάται από ένα σωλήνα μέσω του οποίου διέρχεται νερό. Το νερό εγκλωβίζεται μεταξύ των δυο παρεμβυσμάτων και με αυτόν τον τρόπο προκαλείται ρηγμάτωση των γεωλογικών σχηματισμών.

Ανάπτυξη υδρογεώτρησης με χημικά

Η προσθήκη χημικών ουσιών, όπως είναι το εξαμεταφωσφορικό άλας, συντελεί στην κροκίδωση (συσσωμάτωση) του μπετονίτη και στην καθίζηση αυτού στον πυθμένα του φρέατος. Επίσης σε ανθρακικούς σχηματισμούς (ασβεστόλιθος, μάρμαρα, δολομίτης κ.ά.) μπορεί να γίνει χρήση υδροχλωρικού οξέος για την διεύρυνση των ρωγμών.

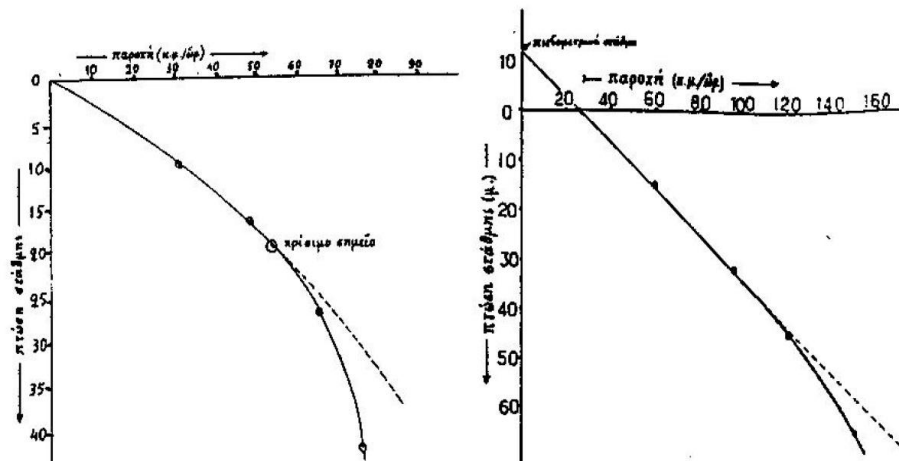
5.3.1.6. Δοκιμαστικές αντλήσεις

Όπως αναφέρει ο Βαφειάδης (1998), οι δοκιμαστικές αντλήση αποσκοπούν αφενός στον προσδιορισμό της ικανότητας της υδρογεώτρησης να αντλεί νερό (κρίσιμη παροχή, ωφέλιμη παροχή, ειδική δυναμικότητα κλπ.) και αφετέρου στον υπολογισμό των υδραυλικών παραμέτρων των υδροφόρων στρωμάτων (T , k , S).

Πριν την κανονική δοκιμαστική άντληση πραγματοποιείται η προάντληση. Η προάντληση διαρκεί 6 – 8 h και ξεκινά με μικρή παροχή, η οποία αυξάνεται σταδιακά. Κατά την προάντληση διαπιστώνεται αν η ανάπτυξη της υδρογεώτρησης πραγματοποιήθηκε επιτυχώς. Επίσης παρακολουθείται η σωστή λειτουργία του πιεζομετρικού σωλήνα και των υπόλοιπων οργάνων, διαπιστώνεται αν η αντλία δύναται να αντλήσει με τη μέγιστη παροχή και γενικά συντάσσεται το πρόγραμμα της κανονικής δοκιμαστικής άντλησης.

Στην κανονική δοκιμαστική άντληση περιλαμβάνονται η άντληση κατά βαθμίδες και η άντληση σταθερής παροχής. Στην πρώτη περίπτωση ενδιαφέρει η λήψη δεδομένων πτώσης στάθμης συναρτήσει της παροχής ($\delta-Q$) και η χάραξη της χαρακτηριστικής καμπύλης της υδρογεώτρησης, απ' όπου θα προκύψει η κρίσιμη παροχή και η παροχή εκμετάλλευσης. Διάρκει 8 – 16 h και στο χρονικό αυτό διάστημα πραγματοποιούνται 3 – 4 βαθμίδες με παροχές $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ της μεγαλύτερης παροχής της προάντλησης. Η κάθε βαθμίδα ακολουθεί την άλλη όταν ολοκληρωθεί η επαναφορά της στάθμης.

Η άντληση σταθερής παροχής αποβλέπει στον σχεδιασμό της ευθείας πτώσης στάθμης συναρτήσει του λογαρίθμου του χρόνου ($\delta-\log t$). Από την ευθεία (ή τις ευθείες) μπορεί να υπολογιστούν ακολούθως τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα (T, k, S) και υπολογίζεται η πτώση στάθμης για αντλήσεις μεγάλης διάρκειας.



Διάγραμμα 5.4 : Χαρακτηριστικές καμπύλες πτώσης στάθμης σε αρτεσιανή γεώτρηση και γεώτρηση σε υπό πίεση υδροφόρο στρώμα (πηγή: Βαφειάδης, 1998).

5.3.1.7. Αντλίες υδρογεωτρήσεων

Μετά τις δοκιμαστικές αντλήσεις και αφού έχουν καθοριστεί οι υδραυλικές παράμετροι του υπό άντληση υδροφόρου στρώματος επιλέγεται η αντλία που θα χρησιμοποιηθεί. Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στα χαρακτηριστικά της αντλίας ώστε να ανταποκρίνονται απόλυτα στην απόδοση του υδροφόρου στρώματος.



Εικόνα 5.7 : Επιφανειακή και υποβρύχια αντλία, πηγή: www.toolhouse.gr.

5.3.1.8. Κατασκευή τσιμεντένιας βάσης

Τα στάδια κατασκευής των υδρογεωτρήσεων τελειώνουν με την κατασκευή τσιμεντένιας βάσης προστασίας. Η βάση αποτελείται από μια πλάκα σκυροδέματος, διαστάσεων 1x1x0,4 m. Σε περίπτωση που η υδρογεώτρηση δεν γίνει αποδεκτή ή δεν χρησιμοποιηθεί, ο υπεύθυνος μηχανικός οφείλει να την σφραγίσει ή να την καταστρέψει (ΦΕΚ 292/2003).

Κεφάλαιο 6ο - Συνήθη προβλήματα κατά την ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων

6.1. Συνήθη προβλήματα κατά την ανόρυξη

Κατά την ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων είναι πιθανό να προκύψουν διάφορα προβλήματα. Αυτά τα προβλήματα μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο την ομαλή ανόρυξη της υδρογεώτρησης ή ακόμη και την ίδια τη ζωή των εργαζομένων. Η ανάλυση των αιτιών που προκάλεσαν τα προβλήματα που παρουσιάζονται, βοηθά στην λήψη μέτρων αποφυγής ή στην ανάπτυξη στρατηγικών επίλυσής τους.

Τα πιο συνήθη προβλήματα που παρουσιάζονται στις υδρογεωτρήσεις είναι:

1. Κατάρρευση των τοιχωμάτων της γεώτρησης.
2. Απώλεια γεωτρητικού ρευστού στους γύρω σχηματισμούς.
3. Εκφόρτιση και απομόνωση υδροφόρων στρωμάτων.
4. Αστοχία διατρητικών στελεχών.
5. Έκκεντρη σύνδεση διατρητικών στελεχών.
6. Έκρηξη στην υδρογεώτρηση λόγω της ύπαρξης βιοαερίου.
7. Αποκλίσεις από την κατακορυφότητα.
8. Άντληση νερού υψηλής περιεκτικότητας σε άμμο.
9. Βλάβη στο γεωτρύπανο, στην αντλία ή στον αεροσυμπιεστή.
10. Ατυχήματα από αμέλεια των εργαζομένων.
11. Γήρανση υδρογεώτρησης.
12. Λοιπά προβλήματα.

6.1.1. Κατάρρευση των τοιχωμάτων της γεώτρησης

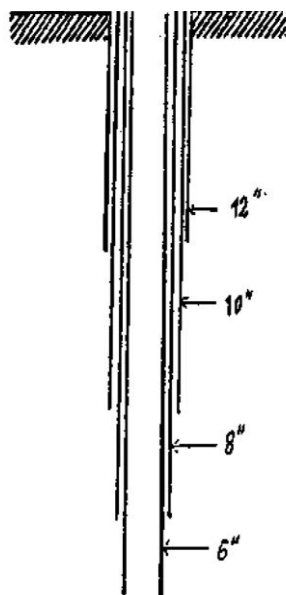
Η κατάρρευση των τοιχωμάτων της γεώτρησης οφείλεται κυρίως στην αστάθεια των σχηματισμών του υπεδάφους και γίνεται συνήθως αντιληπτή από την αύξηση της πίεσης της πηλαντλίας ή και την μεταβολή του ρυθμού διάτρησης.

Οι καταπτώσεις μπορεί να προκαλέσουν τον εγκλωβισμό της διατρητικής στήλης με συνέπεια την ανικανότητα ανάκτησης της στην επιφάνεια. Όταν διαπιστωθεί το πρόβλημα πρέπει να διακοπεί η διάτρηση, να ανασυρθεί για λίγα εκατοστά η διατρητική στήλη με ταυτόχρονη αργή περιστροφή της και να πραγματοποιηθεί κυκλοφορία πολφού με υψηλή παροχή.

Για την αποφυγή των καταπτώσεων προτείνεται:

- ✓ Η χρήση πολφού με υψηλό ιξώδες.
- ✓ Η τοποθέτηση περιφραγματικού σωλήνα.

Η περιφραγματική σωλήνωση διαφέρει από την σωλήνωση των υδρογεωτρήσεων. Αποσκοπεί στην συγκράτηση των σαθρών στρωμάτων και στην εξισορρόπηση των πιέσεων λόγω της διόγκωσης των σχηματισμών. Συνήθως εγχύεται τσιμεντοπολφός για την καλύτερη συγκράτηση της σε ορισμένη θέση. Έπειτα από την τοποθέτηση του περιφραγματικού σωλήνα επιλέγεται κοπτικό με την αμέσως μικρότερη διάμετρο (Σχήμα 6.1).



Σχήμα 6.1 : Σωλήνωση σε μη συμπαγείς σχηματισμούς (πηγή: Βαφειάδη όπως αναφέρεται στον Φυτίκα, 1998).

6.1.2. Απώλεια γεωτρητικού ρευστού στους περιβάλλοντες σχηματισμούς

Πολλές φορές οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται κατά την ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων διαθέτουν πυκνό δίκτυο ασυνεχειών (ρήγματα, έγκουλα, καρστ κ.ά.) ή υψηλό πορώδες (πχ: άμμοι, χαλίκια, κροκάλες). Κατά τη διάτρηση των στρωμάτων αυτών τα γεωτρητικά ρευστά είναι πιθανό να διαφύγουν με συνέπεια να μην επιτυγχάνεται η απομάκρυνση των τριμμάτων από τον πυθμένα, να καταναλώνεται άσκοπα ενέργεια, ενώ παράλληλα η προχώρηση του κοπτικού καθίσταται αδύνατη. Όπως αναφέρει ο Κελεσίδης (2012), οι απώλειες του πολφού δεν πρέπει να ξεπερνούν το $0,5 - 1 \text{ m}^3$ ανά οκτάωρο.

Η μείωση των απωλειών του πολφού μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη μπετονίτη στον πολφό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία κρούστας στα τοιχώματα εμποδίζοντας τις διαρροές του πολφού στους γύρω σχηματισμούς. Ακόμη ο μπετονίτης διεισδύει στις ρωγμές και τους κόκκους και προκαλεί περαιτέρω μείωση των διαρροών.

Όταν οι ρωγμές είναι αρκετά μεγάλες και η προηγούμενη μέθοδος αποτύχει, τότε πραγματοποιείται η τσιμέντωση της γεώτρησης (cementing) και επαναδιάτρηση. Η διαδικασία της τσιμέντωσης περιλαμβάνει την έγχυση τσιμέντου στο βάθος του φρέατος που έχει παρατηρηθεί η απώλεια και διακρίνεται σε τρεις τύπους:

- α) Τσιμέντωση με φυσική ροή.
- β) Τσιμέντωση με εισπίεση.
- γ) Τσιμέντωση με εκτόξευση.

Ο τσιμεντοπολφός αποτελείται από νερό, τσιμέντο, αδρανή και διάφορα χημικά πρόσθετα για βελτίωση των ιδιοτήτων του (Βουδούρης και Μαρίνος, 2010). Μερικές φορές γίνεται προσθήκη επιταχυντών πήξης στο μείγμα, όπως είναι το χλωριούχο ασβέστιο (CaCl_2) ή η γύψος. Κατά κανόνα χρησιμοποιείται τσιμέντο τύπου Portland. Η αναλογία τσιμέντου – νερού είναι 20 lt νερού για κάθε 50 kg τσιμέντου. Για καλύτερα αποτελέσματα φραξίματος των ρωγμών προστίθενται άμμος, ροκανίδι, μπετονίτης κλπ.

6.1.4. Αστοχία διατρητικών στελεχών

Η αστοχία των στελεχών είναι ένα πολύ σύνηθες φαινόμενο στην ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων. Οφείλεται δε στην υπερβολική καταπόνηση εξαιτίας των δυνάμεων που αναπτύσσονται κατά τη διάτρηση. Οι κύριες αιτίες είναι οι παρακάτω:

- ✓ Μηχανικές καταπονήσεις (στρέψη, θλίψη, εφελκυσμό).
- ✓ Ελαττωματική κατασκευή.

6.1.5. Έκκεντρη σύνδεση των διατρητικών στελεχών

Η έκκεντρη σύνδεση των διατρητικών στελεχών ενέχει τον κίνδυνο απόκλισης της γεώτρησης από την κατακορυφότητα ή ακόμη και αστοχία της στήλης. Σχετικά με τη δεύτερη περίπτωση, έχουν σχεδιαστεί ειδικά εργαλεία αλίευσης με τη βοήθεια των οποίων γίνεται το “ψάρεμα” των εναπομείναντων στη γεώτρηση τμημάτων (Εικόνα 6.2).

Σύμφωνα με τον Κελεσίδη (2012) τα εργαλεία αλίευσης είναι τα ακόλουθα:

1. Αλιευτικό διατρητικών στελεχών με εξωτερικό σπείρωμα (recovery tap for rods). Πρόκειται για χαλύβδινο κυλινδρικό - κωνικό εργαλείο με εξωτερικό σπείρωμα, μήκους 20-30 cm. Το αλιευτικό βιδώνεται με περιστροφή στη διατρητική στήλη η οποία έχει ανασυρθεί στην επιφάνεια.
2. Αλιευτική καμπάνα (κώδων). Φέρει εσωτερικό σπείρωμα και χρησιμοποιείται για να καλύπτει τα τμήματα που έχουν παραμείνει στην γεώτρηση.
3. Αλιευτικά στελέχη. Είναι διατρητικά στελέχη με αριστερόστροφο σπείρωμα.
4. Αλιευτική λόγχη. Πρόκειται για μεταλλικό κυλινδρικού σχήματος εξάρτημα με βαθμιαία λέπτυνση της άκρης του για καλύτερη διεύθυνση στο τμήμα που πρόκειται να αλιεύσει.
5. Αλιευτικός μαγνήτης. Αποβλέπει στην ανάκτηση αντικειμένων με μαγνητικές ιδιότητες (πχ: κώνοι κοπτικών).
6. Κόφτης σωλήνων. Ο κόφτης σωλήνων αναλαμβάνει το έργο του κοψίματος του σωλήνα. Υπάρχουν και άλλα είδη κόφτη, όπως ειδικά εξαρτήματα που εκτοξεύουν ισχυρό οξύ ή κάνουν χρήση εκρηκτικών υλών κλπ.
7. Εργαλεία άλεσης (milling tools). Χρησιμοποιούνται για την άλεση σε μικρότερα κομμάτια των εξαρτημάτων ή τμημάτων της γεώτρησης που δεν μπόρεσαν να ανακτηθούν με άλλον τρόπο ώστε να είναι δυνατή η απομάκρυνση τους με κυκλοφορία πολφού.



Εικόνα 6.2 : Διάφοροι τύποι αλιευτικών εργαλείων (πηγή: Driscoll, 1987).

6.1.6. Έκρηξη στην υδρογεώτρηση λόγω ύπαρξης βιοαερίου

Η αιτία που μπορεί να προκληθεί έκρηξη σε μια υδρογεώτρηση είναι η ύπαρξη βιοαερίου στο υπέδαφος. Το βιοαέριο είναι προϊόν διεργασιών διάσπασης της οργανικής ύλης από μικροοργανισμούς. Από την αποσύνθεση της οργανικής ύλης παράγονται διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), μεθάνιο, υδρόθειο και θείο. Τα αέρια αυτά στο σύνολο τους αποτελούν το βιοαέριο.

Το βιοαέριο είναι δυνατό να παγιδευτεί στο υπέδαφος όταν το υπερκείμενο στρώμα εδάφους έχει μικρή περατότητα ή όταν έχει υποστεί σε μεγάλο βαθμό συμπύκνωσης. Έτσι όταν η συγκέντρωση του μεθανίου υπερβεί το κατώτερο όριο εκρηκτικότητας 15% υπάρχει κίνδυνος έκρηξης στην γεώτρηση (Καββαδάς, 2013). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εκδήλωση πυρκαγιάς με συνέπεια να προκληθεί τραυματισμός των εργαζομένων και ολική καταστροφή του γεωτρυπάνου (Εικόνα 6.3).

Σε περίπτωση που σχεδιάζεται γεώτρηση σε κάποιο σημείο και είναι γνωστή από προγενέστερες μελέτες, γειτονικές γεωτρήσεις ή ειδικές διατάξεις ανίχνευσης βιοαερίου, η ύπαρξή του στο υπέδαφος, κρίνεται αναγκαία η εγκατάσταση συστημάτων απαγωγής του.



Εικόνα 6.3 : Εκδήλωση πυρκαγιάς σε υδρογεώτρηση στον Αγ. Βασίλειο Κορίνθου (έτος 2008), πηγή: Δαλαμαρίνης, 2009.

6.1.7. Αποκλίσεις από την κατακορυφότητα

Προβλήματα όπως η δυσκολία καταβίβασης και ανέλκυσης της αντλίας και η ανομοιομορφία στο πάχος του χαλικάφιλτρου, συχνά συνδέονται με την απόκλιση της υδρογεώτρησης από την κατακορυφότητα.

6.1.8. Άντληση νερού υψηλής περιεκτικότητας σε άμμο

Άντληση θολού νερού έχει επιπτώσεις στην κατάσταση της αντλίας, προκαλεί το φαινόμενο της ιλύωσης του χαλικάφιλτρου και των φιλτροσωλήνων και μειώνει σημαντικά την απόδοση της υδρογεώτρησης. Οι συχνότερες αιτίες της άντλησης θολού νερού είναι:

1. Ύπαρξη λεπτόκοκκων ενστρώσεων ανάμεσα στους σχηματισμούς.
2. Χρήση χαλικάφιλτρου διαφορετικών ιδιοτήτων από αυτές που προβλέπονται.
3. Χρήση λάθους τύπου φιλτροσωλήνων.
4. Εκδήλωση φαινομένου ρέουσας άμμου.
5. Άλλες αιτίες.

6.1.9. Βλάβη γεωτρυπάνου ή αντλίας

Τα γεωτρύπανα είναι σχεδιασμένα να δουλεύουν πολλές ώρες. Παρ' όλα αυτά οι δύσκολες συνθήκες διάτρησης (είδος πετρωμάτων, καιρός κ.ά.) καθώς και οι εσφαλμένοι χειρισμοί από τον γεωτρυπανιστή μπορεί να προκαλέσουν την εκδήλωση κάποιας βλάβης. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται παύση των εργασιών, έλεγχος της κατάστασης του γεωτρυπάνου και ενέργειες αποκατάστασης της βλάβης.

Η αντλία των υδρογεωτρήσεων είναι ένα πολύ ευπαθές όργανο. Όταν διαπιστωθεί ότι υπολειτουργεί ή έχει υποστεί σοβαρή βλάβη, πραγματοποιείται η εξαγωγή της από την υδρογεώτρηση και γίνονται οι απαραίτητες ενέργειες επισκευής ή αντικατάστασής της με καινούργια.

Τα παραπάνω και άλλα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων μπορούν να προβλεφθούν έως ένα βαθμό ή να αντιμετωπιστούν με την κατάλληλη εκπαίδευση του προσωπικού (Hiwot, 1999).

6.1.10. Ατυχήματα από αμέλεια των εργαζομένων στην υδρογεώτρηση

Κατά τις εργασίες ανόρυξης της υδρογεώτρησης μπορούν να συμβούν διάφορα ατυχήματα που οφείλονται σε απροσεξία των εργαζομένων. Οι εργαζόμενοι οφείλουν να είναι ιδιαίτερα προσεχτικοί και να εξοπλίζονται με τον απαραίτητο εξοπλισμό, όπως ορίζει ο Κανονισμός Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών (Κ.Μ.Λ.Ε.).

6.1.11. Γήρανση υδρογεώτρησης

Με την πάροδο του χρόνου η απόδοση της γεώτρησης μειώνεται δίνοντας ολοένα και χαμηλότερες παροχές. Από οικονομική σκοπιά, δεν συμφέρει να διανοιχθεί δεύτερη υδρογεώτρηση σε κοντινή απόσταση από την πρώτη, αντίθετα προτιμάται η συντήρηση και ανανέωση της ήδη υπάρχουσας.

Συνήθη προβλήματα που εμφανίζονται στις υδρογεωτρήσεις με την πάροδο του χρόνου είναι:

- Έμφραξη των ανοιγμάτων των φιλτροσωλήνων από λεπτόκοκκο υλικό.
- Απόθεση αλάτων ή ανάπτυξη αποικιών βακτηριδίων πάνω στους φιλτροσωλήνες.
- Διάβρωση σωλήνωσης.
- Στρέβλωση σωλήνωσης.
- Ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα.

Έχουν αναπτυχτεί διάφοροι μέθοδοι συντήρησης της υδρογεώτρησης που εφαρμόζονται όταν παρουσιαστεί κάποιο από τα παραπάνω προβλήματα. Οι κυριότερες τεχνικές συντήρησης - ανανέωσης των υδρογεωτρήσεων είναι:

Εισπίεση πεπιεσμένου αέρα

Πραγματοποιείται φύσημα αέρα στα βάθη που αντιστοιχούν σε φιλτροσωλήνα ώστε να απομακρυνθεί το λεπτόκοκκο υλικό που έχει αποφράξει τις σχισμές των φιλτροσωλήνων ή που υπάρχει στο χαλικόφιλτρο.

Εισπίεση νερού

Πραγματοποιείται εισπίεση νερού στα τοιχώματα της γεώτρησης. Συνήθως στο νερό προστίθεται ποσότητα αντικροκιδωτικών για βέλτιστα αποτελέσματα.

Εμβολισμός

Η παλινδρομική κίνηση εμβόλου προκαλεί αλλαγή των πιέσεων και της διεύθυνσης ροής ξεμπλοκάροντας τους φραγμένους πόρους.

Απόξεση με μάκτρο

Η μέθοδος χρησιμοποιεί μάκτρο (είδος βούρτσας με σιδηρότριχες), το οποίο τρίβει τις σωληνώσεις εσωτερικά και απομακρύνει τα άλατα που έχουν αποτεθεί σε αυτές. Μετά την απόξεση ακολουθεί άντληση με υψηλή παροχή.

Εισαγωγή διαλυτικών υγρών στη γεώτρηση

Εισαγωγή στην γεώτρηση υδροχλωρικού οξέος ή άλλων ουσιών, όπως τα πολυφωσφορικά άλατα. Οι ουσίες αυτές έχουν την ιδιότητα να διαλύουν ή να προκαλούν θρόμβωση (κροκίδωση) και καθίζηση των αλάτων στον πυθμένα της υδρογεώτρησης.

Κεφάλαιο 7ο – Αποτελέσματα και περαιτέρω έρευνα

7.1. Συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας

Από τη βιβλιογραφική έρευνα που πραγματοποιήθηκε προέκυψε το συμπέρασμα, ότι ο ρυθμός διάτρησης εξαρτάται από πολλές παραμέτρους που σχετίζονται τόσο με το πέτρωμα, όσο και με το γεωτρύπανο, το γεωτρητικό ρευστό, το κοπτικό άκρο κ.ά. Η ρύθμιση των γεωτρητικών παραμέτρων (βάρος στο κοπτικό, ροπή, ταχύτητα περιστροφής τη στήλης, ιδιότητες των γεωτρητικών ρευστών και ταχύτητα τους στο φρέαρ, τύπος και η κατάσταση του κοπτικού άκρου κλπ.), συμβάλλουν στην αύξηση του ρυθμού διάτρησης διατηρώντας παράλληλα το κόστος της ανόρυξης σε χαμηλά επίπεδα. Συνεπώς είναι προς όφελος του πελάτη και της εταιρείας να χρησιμοποιούνται συστήματα παρακολούθησης των γεωτρητικών παραμέτρων (MWD, DWD) και στη ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων.

7.2. Περαιτέρω έρευνα

Ως περαιτέρω έρευνα προτείνεται η ανεύρεση γεωτρητικών δεδομένων από οποιαδήποτε υδρογεώτρηση (πχ: είδος πετρωμάτων, κοπτικό, ταχύτητα περιστροφής, βάρος, ροπή, ταχύτητα γεωτρητικού ρευστού) και η χρήση αυτών σε ειδικά σχεδιασμένα προγράμματα εξομοίωσης της διάτρησης (πχ: PAYZONE). Τέτοιου είδους εφαρμογές επιτρέπουν στον χρήστη τη δυνατότητα αλλαγής μιας ή περισσότερων εκ των γεωτρητικών παραμέτρων και την μετέπειτα παρακολούθηση του ρυθμού διάνοιξης (Κελεσίδης, 2010).

Τα αποτελέσματα μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την ανόρυξη μελλοντικών, κοντινών στην αρχική υδρογεωτρήσεων, όπου εκτιμάται ότι θα απαντηθεί η ίδια ακολουθία πετρωμάτων. Αυτό θα οδηγήσει στη βελτιστοποίηση της ανόρυξης των υδρογεωτρήσεων, δηλαδή μέγιστος ρυθμός διάνοιξης στο χαμηλότερο δυνατό κόστος (ενέργεια, εξοπλισμός κ.ά).

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

Αφτιάς Μ. (1992). *Υδρεύσεις*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα.

Βαφειάδης, Π. (1998). *Η τεχνική των Υδρογεωτρήσεων*. University Press, Θεσσαλονίκη.

Βαφείδης Α. (2002). *Γεωφυσική II*. Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.

Βουδούρης Κ. και Μαρίνος Β. (2010). *Υδρομαστευτικά Έργα - Τεχνικές διάτρησης - Συμπλήρωση - Ανάπτυξη υδρογεώτρησης - Δειγματοληπτικές – Γεωτεχνικές γεωτρήσεις - Μέθοδοι διαγραφιών*. Πανεπιστημιακές παραδόσεις και σημειώσεις μαθήματος Τεχνικής Γεωτρήσεων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Γεωργακόπουλος, Α. (1994). *Στοιχεία Κοιτασματολογίας Πετρελαίου*. Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Δαλαμαρίνης Π. (2009). *Υπολογιστικά Μοντέλα και Πειραματική Επαλήθευση για την Ρεολογία και την Πτώση Πίεσης Πολφών Γεώτρησης σε Σύστημα Προσομοίωσης Οριζόντιας Γεώτρησης*. Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.

Εξαδάκτυλος Γ. (2007). *Σχεδιασμός Γεωτεχνικών & Λατομικών Έργων*. Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.

Καββαδάς Μ. (2013). *Στοιχεία Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής*. Εκδόσεις Τσότρας, Αθήνα.

Καλλέργης Γ. (1999). *Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία*. Τόμος Α', ΤΕΕ, Αθήνα.

Κάπος Μιλτ. (1994). *Υπόγεια Νερά Υδροέρευνες Γεωτρήσεις*. Τεχνικές Εκδόσεις Μιλτιάδη Κάπου.

Κελεσίδης Β. Χ. (2010) *Πρόβλεψη Διατρησιμότητας Πετρωμάτων στις Γεωτρήσεις Έρευνας Ορυκτών και Υδρογονανθράκων πόσο κοντά είμαστε; Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, τεύχ. 1 Tech. Chron. Sci. J. TCG, I, No 1.*

Κελεσίδης Β. Χ. (2012). *Αβαθείς και ειδικές γεωτρήσεις*. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Κελεσίδης Β.Χ. και Πότση Γ. (2009). *Επίπτωση του θαλασσινού νερού στα ρεολογικά και διηθητικά χαρακτηριστικά υδατικών αιωρημάτων μετονίτη*. 7^ο Συνέδριο Χημικής Μηχανικής, 3 – 6 Ιουνίου 2009, Πάτρα.

Σούλιος Γ. (2007). *Γενική Υδρογεωλογία*. Α' Τόμος, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Σούλιος Γ. (2008). *Γενική Υδρογεωλογία*. Β' Τόμος, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Σουπιός Π. (2011). *Τεχνολογίες εντοπισμού υδατικών πόρων*. Πανεπιστημιακές παραδόσεις Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Χανιά.

Σταματάκη Σ. (2007). *Τεχνολογία Γεωτρήσεων*. Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μηχανικοί Μεταλλειολόγοι – Μεταλλουργοί, Αθήνα.

Φυτίκας Μιχ. (1998). *Τεχνική Γεωτρήσεων*. Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωλογίας και Φυσικής Γεωγραφίας, Θεσσαλονίκη.

Χριστογιάννης Ι. (2010). *Σχεδιασμός της εξόρυξης υπογείου μετώπου παραγωγής με την μέθοδο VCR*. Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών, Αθήνα.

Διεθνής βιβλιογραφία

Barrow J.C. (1994). *The Resonant Sonic Drilling Method: An innovative Technology for Environmental Restoration Programs*. GWMR, from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1745-6592.1994.tb00110.x/abstract>.

Bilim N. (2011). *Determination of drillability of some natural stones and their association with rock properties*. Scientific Research and Essays, Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Selçuk University, 42075, Vol. 6 (2), pp. 382-387, Konya, Turkey, from http://www.academicjournals.org/article/article1380633757_Bilim.pdf.

Corcoran P. (2009). *In the Hole (ITH) vs. Top Hammer Drilling in Underground Applications*. Presented by Peter Corcoran, Director of Sales and Marketing for Cubex Ltd, from <http://www.miningcongress.com>.

Culver G. (1991). *Drilling and Well Construction*. in "Geothermal Direct Use Engineering and Design Guidebook", Geo- Heat Center, Oregon Institute of Technology, p. 115-151, Klamath Falls, Oregon, U.S.A, from <http://geoheat.oit.edu/pdf/tp65.pdf>.

Driscoll F.G. (1987). *Groundwater & Wells*. New York: Reynolds Guyar, ISBN 0961645601.

Kelessidis V.C., Dalamarinis P. (2009). *Monitoring drilling bit parameters allows optimization of drilling rates*. Paper presented at the International Multidisciplinary Scientific Geo - Conference & Expo, Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection SGEM2009, Albena, Bulgaria.

Mannon D.C. (2001). *Reducing well cost by increasing drilling efficiency*. Paper AADE – 01 – NC – HO - 35 presented at the AADE 2001 National Drilling Conference, Houston, Texas.

Mansure A., Finger J., Prairie M., Glowka D., Livesay B. (2000). *Advanced drilling through diagnostics-while-drilling*, Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu - Tohoku, Japan, May, from <http://www.geothermal-energy.org>.

Sadkowski S.S et al. (2004). *Fracture characterization at a bedrock bioremediation site in New Hampshire*. Abstract for the NGWA/U.S. EPA Fractured Rock Conference: State of the Science and Measuring Success in Remediation, Portland, Maine.

Shuter E. and Teasdale W.E. (1989). *Techniques of water-resource investigations of the United States Geological Survey*. Chapter F1, Application of Drilling, Coring, and Sampling Techniques to Test Hole and Wells, USGS - TWRI Book 2, from <http://ce547.groups.et.byu.net/syllabus/docs/modflow.pdf>.

Thuro K. (1996). *Bohrbarkeit beim konventionellen Sprengvortrieb. Geologisch-felsmechanische Untersuchungen anhand sieben ausgewählter Tunnelprojekte*. Münchner Geologische Hefte Reihe B Angewandte Geologie B1, pp. 1-145, from <http://www.geo.tum.de/mgeo-hefte/mgh-b1.pdf>.

Zediker M.S. et al. (2012). *Foro Energy, High Power Laser for Rock Drilling*. Swiss Photonics Workshop.