

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

## Συστήματα Γεωτρήσεων: Τεχνολογικές Εφαρμογές και Εξοπλισμός



Εικόνες Γεωτρήσεων ([www.google.gr](http://www.google.gr))

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΣΑΡΑΝΤΗΣ ΚΑΛΑΚΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΡΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2015

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και αναφέρεται στον τεχνολογικό εξοπλισμό αλλά και στην μελέτη των συστημάτων γεωτρήσεων.

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου Δρ. Διονύσιο Παναγιωτάρα, για την πολύ σημαντική βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε για την πραγματοποίηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Σαράντης Καλάκος

Ιούλιος 2015

**Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή:** Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής

(Σαράντης Καλάκος)

.....

(Υπογραφή)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφερόμαστε γενικά στις γεωτρήσεις ξεκινώντας με την ιστορική αναφορά το διαχωρισμό των γεωτρήσεων και τέλος τις περιβαλλοντικές περιπτώσεις.

Στο δεύτερο κεφάλαιο συνεχίζουμε αναλύοντας τη μελέτη και τον τρόπο σχεδιασμού μιας γεώτρησης. Αναλύουμε τα ρευστά διάτρησης και το πώς λειτουργούν. Τέλος επεξεργαζόμαστε νέες τεχνολογίες γεωτρήσεων οι οποίες έχουν εξελιχθεί και τελειοποιηθεί τα τελευταία χρόνια.

Στο τρίτο κεφάλαιο μιλάμε για τον μηχανολογικό εξοπλισμό της γεώτρησης και τον αναλύουμε σε όλους τους τομείς στη συνέχεια αναφερόμαστε για τους τρόπους ολοκλήρωσης μιας γεώτρησης και τους επεξεργαζόμαστε. Ακόμα προσκομούμε την υπάρχουσα νομοθεσία και συγκεκριμένα για την περιοχή της Δυτικής Ελλάδας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο κάνουμε μια πλήρης μελέτη γεώτρησης στην περιοχή της Δυτικής Ελλάδος όπου δίνεται μια ολοκληρωμένη εικόνα τόσο για τη γεώτρηση όσο και για το κόστος.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

1.1 Ιστορική αναφορά.....	6
1.2 Γεωτρητικά συστήματα.....	6
1.2.1 Κατηγορίες γεωτρήσεων.....	7
1.2.2 Περιβαλλοντικές εκτιμήσεις.....	21

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

2.1 Εισαγωγή .....	24
2.2 Μελέτη γεωτρητικών συστημάτων .....	27
· 2.2.1 Ρευστά διάτρησης.....	37
· 2.2.2 Λειτουργίες και χαρακτηριστικά των ρευστών συστημάτων .....	38
· 2.2.3 Μηχανική επεξεργασία (καθαρισμός) επιστρεφόμενων ρευστών.....	45
2.3 Οριζόντιες και κεκλιμένες γεωτρήσεις.....	46
· 2.3.1 Γεωμετρικοί παράμετροι.....	50
· 2.3.2 Βασικοί τύποι τροχίας-καμπύλης διαδρομής.....	53
· 2.3.3 Εφαρμογές.....	54

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

3.1 Εισαγωγή.....	58
3.2 Κατηγορίες και τύποι γεωτροπάνων.....	58

3.3 Συνδεσμολογία διατρητικής στήλης.....	63
3.4 Κοπτικά άκρα .....	79
3.5 Ολοκλήρωση σωληνωμένων γεωτρήσεων .....	93
3.6 Ολοκλήρωση μη σωληνωμένων γεωτρήσεων .....	93
3.7 Χρήση διάτρητου liner.....	94
3.8 Έλεγχος εισόδου άμμου (sand control).....	95
3.9 Αύξηση διαπερατότητας με υδραυλική ρωγμάτωση ή χρήση οξέων.....	97
3.10 Επιφανειακή ολοκλήρωση.....	97
3.11 Νομοθετικό πλαίσιο γεωτρήσεων.....	98

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΗΛΕΙΑΣ**

4.1 Περιγραφή υφιστάμενης κατάστασης.....	110
4.2 Ποιότητα νερού.....	110
4.3 Λιθολογική και τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου.....	110
4.4 Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων.....	112
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	113
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	114

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

## 1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ

Στην ιστορία αναφέρεται ότι οι πρώτες γεωτρήσεις έγιναν πριν από 4000 χρόνια περίπου από τους Κινέζους και τους αρχαίους Αιγυπτίους όταν κατασκεύαζαν τις πυραμίδες. Για να ανοίγουν τρύπες στα πετρώματα χρησιμοποιούσαν ράβδους οπλισμένες στο άκρο τους με πολύτιμους λίθους, τις οποίες περιστρέφανε χειρονακτικά. Ο τρόπος αυτός διάτρησης των πετρωμάτων με πρωτόγονα εργαλεία συνεχίστηκε μέχρι τα μέσα του 19ου αιώνα, μέχρι ότου ο Ελβετός μηχανικός Lechaut συνέλαβε την ιδέα να τοποθετήσει χονδρόκοκκα βιομηχανικά διαμάντια σε ένα χαλύβδινο στεφάνι για διάνοιξη διατρημάτων. Επί της αρχής αυτής κατασκεύασε το πρώτο γεωτρύπανο το 1863. Το 1885 ο Σουηδός μηχανικός P.A. Craelius κατασκεύασε το πρώτο ελαφρό και απλό σε χειρισμό γεωτρύπανο δειγματοληψίας και στενά συνδεδεμένη με την ανάπτυξη του πετρελαιοκινητήρα, των κραμάτων, των υδραυλικών συστημάτων, των βελτιωμένων μεθόδων εμφύτευσης και στερέωσης μικρών διαμαντιών στα κοπτικά άκρα, γεγονός που μείωσε το κόστος διάτρησης, και γενικά με την ανάπτυξη της τεχνολογίας [13]. Το σύγχρονο γεωτρύπανο είναι μηχανήμα ισχυρής κατασκευής, υψηλής απόδοσης, εύχρηστο με απλούς χειρισμούς και απαιτεί περιορισμένη χειρονακτική εργασία. Διαθέτει περισσότερες από μια ταχύτητες περιστροφής και έχει την ικανότητα διάτρησης σε οποιαδήποτε κλίση σε βάθη μεγαλύτερα των 2000 μέτρων [1-13].

## 1.2 ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Σήμερα ο αριθμός των γεωτρήσεων που λειτουργούν στη χώρα δεν είναι γνωστός ούτε κατά προσέγγιση. Η εκτίμηση των αποθεμάτων των υπόγειων υδροφορέων είναι δύσκολη και γίνεται πάντα με μειωμένη ακρίβεια [13]. Δηλαδή δεν γνωρίζουμε τα αποθέματα, δεν γνωρίζουμε τις ποσότητες που αντλούνται, δεν γνωρίζουμε ούτε τα βάθη στα οποία έχουν φτάσει. Στην Κρήτη για παράδειγμα μπορεί να λειτουργούν από 7000 μέχρι 10000 γεωτρήσεις. Μόνο στην περιοχή του Τυμπακίου-Μοιρών οι νόμιμες και παράνομες γεωτρήσεις θα υπερβαίνουν τις 2000-2500. Και αυτές οι εκτιμήσεις φαίνεται να είναι συντηρητικές αν συγκριθούν με τις δεκάδες χιλιάδες γεωτρήσεις της Κύπρου. Το δικαίωμα στην άντληση παραπέμπει στο ανάλογο δικαίωμα ψαρέματος σε μια μικρή λίμνη. Αν οι ψαράδες του χωριού ψαρεύουν ανεξέλεγκτα σε λίγο δεν θα υπάρχουν ψάρια για όλους. Όμως το συμφέρον του κάθε ψαρά είναι να μαζεύει όσο πιο πολλά ψάρια μπορεί με αποτέλεσμα το όφελος να

είναι δικό του ενώ η ζημιά να είναι κοινή. Το παράδειγμα δείχνει ότι το πρόβλημα του ψαρέματος στη λίμνη ή της άντλησης από ένα υδροφορέα χρειάζεται ρύθμιση ώστε να εξασφαλίζεται η διατηρησιμότητα που τόσο πολύ [13], έχουμε υποχρέωση εμείς αλλά κυρίως ανάγκη οι επόμενες γενιές. Νέα στοιχεία για τις κλιματικές αλλαγές επισημαίνουν ότι η μέση ανύψωση της στάθμης της θάλασσας με χρονικό ορίζοντα 2100 μπορεί να φτάσει στο υπερβολικό 1 ή και 1,50m όπως υποστηρίζει η Geological Survey των ΗΠΑ (Mckie Robin: Coast flood warning at climate summit. Observer 8-3-2009) σε σχέση με το εύρος 0,20-0,60m προηγούμενων προγνώσεων. Αν αυτό επιβεβαιωθεί, σημαίνει ότι ένας μεγάλος αριθμός παράκτιων υδροφορέων θα καταστραφεί σταδιακά τις επόμενες δεκαετίες λόγω αυτής της ανύψωσης. Συνεπώς το πρόβλημα δεν είναι μόνο να περιορίσουμε το ρυθμό ανόρυξης νέων γεωτρήσεων αλλά πώς θα καταγράψουμε [13], θα ελέγξουμε και θα περιορίσουμε τις αντλήσεις από τις ήδη υπάρχουσες γεωτρήσεις. Σ' αυτή την κατάσταση όπου δεν υπάρχει ουσιαστική δράση η μόνη «ελπίδα» είναι μήπως η οικονομική κρίση και οι χαμηλές τιμές στα γεωργικά προϊόντα αναγκάσει κάποιους να μην προχωρήσουν σε ανόρυξη νέων γεωτρήσεων (που μπορεί να κοστίζει μια γεώτρηση από 30000-50000 ευρώ) ή να μην χρησιμοποιούν τις υπάρχουσες γεωτρήσεις για να αρδεύουν ελιές με τιμή λαδιού 1,80 Ευρώ το κιλό [10].

### **1.2.1 Κατηγορίες γεωτρήσεων**

Γεώτρηση ονομάζουμε μια στρογγυλή κατακόρυφη ή κεκλιμένη τρύπα, που ανοίγουμε στο στερεό φλοιό της γης με ειδικό μηχάνημα (γεωτρύπανο), και της οποίας η διάμετρος είναι πολύ μικρή σε σχέση με το μήκος της [1]. Οι γεωτρήσεις ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο κατασκευάζονται χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες.

#### **A) Ερευνητικές γεωτρήσεις**

Είναι γεωτρήσεις με μικρή σχετικά διάμετρο, οι οποίες αποσκοπούν στην έρευνα του εδάφους και του υπεδάφους, κυρίως με τη λήψη δειγμάτων, τα οποία λαμβάνονται με τη μορφή πυρήνων (καρότο) ή τριμμάτων [1]. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται οι εξής γεωτρήσεις:

**α) Κοιτασματολογικές** γεωτρήσεις που χρησιμοποιούνται για τη μεταλλευτική έρευνα και αποβλέπουν στην αναζήτηση και διερεύνηση κοιτασμάτων (εικόνα 1.1), (μεταλλευμάτων, λιγνίτη, πετρελαίου, νερού, κ.λ.π.) [1].



**Εικόνα 1.1:** Γεώτρηση στην περιοχή Βοστόκ στη Ρωσία [17].

**β) Γεωλογικές** γεωτρήσεις που αποβλέπουν στην αποσαφήνιση των γεωλογικών συνθηκών και δομής του υπεδάφους όπως το Chikyū (εικόνα 1.2) ερευνητικό πλοίο Ιαπωνικών συμφερόντων.





**Εικόνα 1.2:** Ιαπωνικό πλοίο Chikyu [24].

Με απώτερο στόχο να ανοίξει την πρώτη γεώτρηση μέχρι το μανδύα της Γης, ένα στρώμα στο οποίο κανείς δεν έχει εισχωρήσει μέχρι σήμερα, ιαπωνικό πλοίο Chikyu (εικόνα 1.2) πέτυχε νέο {8}ρεκόρ κατεβάζοντας το γεωτρύπανό του στα 2.111 μέτρα κάτω από το βυθό του ωκεανού έξω από την Ιαπωνία [24]. Το Chikyu της Ιαπωνικής Υπηρεσίας Θαλάσσιας Επιστήμης και Τεχνολογίας έχει τη δυνατότητα να φτάσει τελικά επτά χιλιόμετρα κάτω από τον πυθμένα και να φτάσει για πρώτη φορά στο μανδύα [24].

**γ) Εδαφοτεχνικές ή Γεωτεχνικές** γεωτρήσεις που αποβλέπουν στη γνώση και διερεύνηση των μηχανικών κυρίως ιδιοτήτων του εδάφους(εικόνα 1.3) και υπεδάφους (σύσταση, μορφολογία, περατότητα, στάθμη υπόγειου νερού, κ.λ.π.), προκειμένου να διαπιστωθεί η καταλληλότητά τους για κατασκευή μεγάλων [13], τεχνικών έργων όπως, κτίρια, γέφυρες, δρόμοι, σήραγγες, φράγματα, κ.λ.π. Ανάλογα με τις απαιτήσεις της έρευνας το λαμβανόμενο δείγμα μπορεί να είναι συνήθους μορφής ή αδιατάρακτο.



**Εικόνα 1.3:**Οι δυο τρύπες από το τρυπάνι του Curiosity, [25].

## **B) Παραγωγικές γεωτρήσεις ή γεωτρήσεις εκμετάλλευσης**

Οι γεωτρήσεις αυτές αποσκοπούν στην εξυπηρέτηση της παραγωγής κατά την εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος ή κατασκευή Δομικού Έργου. Στις γεωτρήσεις αυτές δεν απαιτείται η λήψη δείγματος και η διάμετρός τους κυμαίνεται από μερικά εκατοστά μέχρι πάνω από ένα μέτρο [13]. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται οι :

### **α) Γεωτρήσεις εκμετάλλευσης πετρελαίου και θείου.**

Οι Κινέζοι έκαναν την πρώτη γεώτρηση το 347μ.χ και έβγαλαν πετρέλαιο από ένα πηγάδι 240m και το ονόμασαν 'σι γιού ' δηλ. 'λάδι της πέτρας'. Η σύγχρονη ιστορία της εξαγωγής του πετρελαίου αρχίζει στις αρχές του 19ου αιώνα από το 1852 όπου ο γεωλόγος-γιατρός και Καναδός στην καταγωγή Abraham Gessner ανακαλύπτει το φωτιστικό πετρέλαιο που παραγότανε από αργό πετρέλαιο[13]. Στην αρχή, το ακατέργαστο πετρέλαιο καθαριζόταν κα χρησιμοποιούσαν μόνο την κηροζίνη για

φωτισμό. Η βενζίνη και άλλα προϊόντα που παράγονταν κατά τη διάρκεια του καθαρισμού πετάγονταν επειδή δεν ήξεραν πώς και πού να τα χρησιμοποιήσουν. Το 1855 ο Benjamin Silliman , χημικός έφτιαξε μια μέθοδο και καθαρίζοντας ακόμα παραπάνω το πετρέλαιο με θειικό οξύ, το αξιοποίησε περισσότερο ο John Rockefeller (1839-1937). Η αύξηση της ζήτησης επέκτεινε την μεθόδευση και την αναζήτηση του πετρελαίου μέσω γεωτρήσεων που μέχρι τότε ήταν μόνο για το νερό. Η μεγάλη ζήτηση επέφερε και καινούργιες μεθόδους για μεγαλύτερες ποσότητες. Έτσι ένας εισπράκτορας ο Edwin Drake, που τον χρηματοδοτούσε ο βιομήχανος George Bissell, μετά από δύο χρόνια ερευνών το 1859 και σε βάθος 21m, κατόρθωσε να ανακαλύψει κοιτάσμα πετρελαίου στην Titusville πόλη της Pennsylvania(εικόνα 1.4) που αργότερα θα μετατραπεί σε γη των γεωτρήσεων και του πετρελαίου [13].



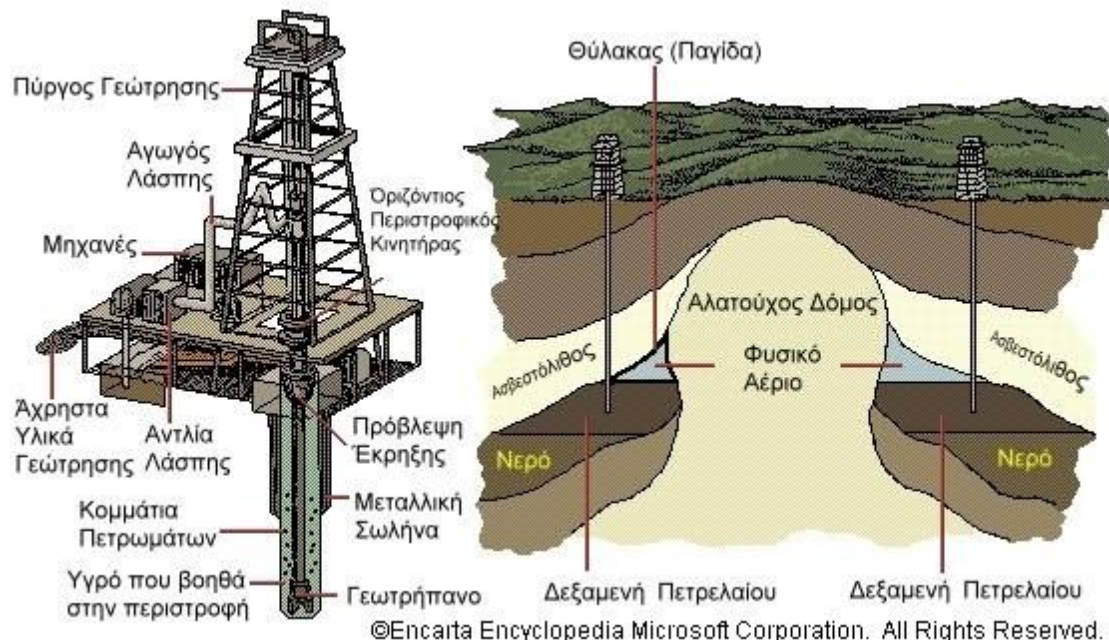
**Εικόνα 1.4:** Πρώτη γεώτρηση αργού πετρελαίου [17].

Ο πρώτος αγωγός πετρελαίου κατασκευάστηκε το 1861 στην Πενσυλβάνια των Η.Π.Α και ήταν ξύλινος με μήκος 8 Km, ενώ στην ίδια περιοχή τέσσερα χρόνια μετά κατασκευάστηκε ο πρώτος σιδερένιος αγωγός. Το 1875 κατασκευάστηκε ο μεγαλύτερος αγωγός της εποχής και μετέφερε πετρέλαιο από το Carbon Center της Πενσυλβάνια στο Pitchonrg και είχε μήκος 65 Km και άρχισε να τροφοδοτεί διυλιστήριο στην περιοχή. Στην Ευρώπη ο πρώτος αγωγός πετρελαίου έγινε στην Γερμανία το 1881 και μετέφερε πετρέλαιο από το Peine στο Oelheim, με μήκος 10 Km. Σήμερα το 50% της μεταφοράς πετρελαίου γίνεται με πετρελαιαγωγούς. Το 1890 ο Henry Ford κατασκεύασε το πρώτο αυτοκίνητο που κινιόταν με βενζίνη. Ο καθένας πλέον ήθελε να έχει ένα αυτοκίνητο και όλοι χρειάζονταν βενζίνη [17]. Το πετρέλαιο παραμένει μέχρι σήμερα η κυριότερη πρωτογενής πηγή ενέργειας. Το 1990 η συμμετοχή του στην παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση ανήλθε στο 38,5% και το 1994 μειώθηκε στο 36% περίπου. Το μήκος των πετρελαιαγωγών ανά τον κόσμο είναι πάνω από 20.000 Km.

#### **i. Τροποι γεωτρήσης.**

Στις διανοίξεις ορυγμάτων για τη διαπίστωση της παρουσίας κοιτασμάτων πετρελαίου και στη συνέχεια για την άντλησή του, εφαρμόζεται κατά κανόνα η περιστροφική γεώτρηση. Βασική της αρχή είναι η διάρρηξη και ο θρυμματισμός των υπερκείμενων πετρωμάτων με τη βοήθεια ενός περιστρεφόμενου

γεωτρύπανου που φέρει οδοντωτούς τροχούς ή αδαμάντινες προσμείξεις, ώστε να αυξάνεται η σκαπτική του ικανότητα. Εξέχουσα θέση στη σύγχρονη γεωτρητική τεχνική αποτελεί η διάνοιξη οριζόντιων φρεατίων σε μεγάλα σχετικά βάθη, που επιτεύχθηκε για πρώτη φορά το 1983. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, η γεώτρηση αρχικά προχωρεί κατακόρυφα έως το σημείο που έχει επιλεχθεί για να αρχίσει η εκτροπή. Εκεί τοποθετούνται ειδικές σφήνες που προκαλούν την πλαγιοδρόμηση του τρυπανιού με μικρές στην αρχή κλίσεις ως προς την κατακόρυφο, που γίνονται βαθμιαία μεγαλύτερες όσο προσεγγίζεται η νοητή γραμμή που συνδέει την κατακόρυφο με το κοίτασμα [1]. Η πορεία του τρυπανιού ελέγχεται συνεχώς είτε με ειδικά καλωδιακά όργανα που προωθούνται μέσα στο όρυγμα είτε με Ασύρματες Συσκευές Καταγραφών. Μόλις ολοκληρωθεί η διάνοιξη της καμπύλης, το γεωτρητικό σύστημα ανασύρεται στην επιφάνεια και στο χαμηλότερό του τμήμα προσαρμόζεται ένας σταθερός και ευθύς άξονας, ο οποίος φέρει το τρυπάνι, τους σωλήνες βάρους και τους δακτύλιους στήριξης. Η γεώτρηση συνεχίζεται σε οριζόντια πλέον διεύθυνση έως ότου το γεωτρύπανο έλθει σε επαφή με το κοίτασμα (σχεδιάγραμμα 1.1) [1]. Οι οριζόντιες γεωτρήσεις άνοιξαν νέες προοπτικές στην εξόρυξη του πετρελαίου, καθώς αξιοποιήθηκαν πολλά κοιτάσματα που θεωρούνταν μη εκμεταλλεύσιμα λόγω των ιδιόμορφων γεωλογικών και φυσικών χαρακτηριστικών τους, όπως π.χ. το κοίτασμα Rospro Mare της Αδριατικής κοντά στην Πεσκάρα της Ιταλίας και το Brudhoe στη Βόρεια Αλάσκα. Η μέθοδος της οριζόντιας γεώτρησης δεν είναι η μοναδική καινοτομία στον τομέα της εξόρυξης πετρελαίου.



**Σχεδιάγραμμα 1.1:** Αναλυτικό σχεδιάγραμμα μιας τυπικής γεώτρησης πετρελαίου [17].

Ο τομέας αυτός έχει να επιδείξει κατά την τελευταία εικοσαετία μια σειρά από σημαντικότερα τεχνολογικά επιτεύγματα, τα σπουδαιότερα από τα οποία είναι:

#### *- Το Σύστημα Οδήγησης Κορυφής*

Στο σύστημα αυτό έχει καταργηθεί η τράπεζα περιστροφής και το πολυγωνικό στέλεχος Kelly, ενώ η γεωτρητική στήλη συνδέεται απευθείας με έναν κινητήρα που λειτουργεί συνήθως με συνεχές ρεύμα [13]. Ο κινητήρας αυτός μετατοπίζεται παλινδρομικά μέσα στον πύργο του γεωτρήσανου στηριζόμενος σε δύο σιδηροτροχιές και μεταδίδει στην κορυφή του γεωτρητικού στελέχους την περιστροφική κίνηση που είναι απαραίτητη για την εκτέλεση των γεωτρήσεων. Με το Σύστημα Οδήγησης Κορυφής περιορίζονται οι χειρωνακτικές εργασίες πάνω στο γεωτρήσανο και αυξάνεται η ασφάλεια του προσωπικού. Ένα άλλο σπουδαίο πλεονέκτημά του είναι ότι καθιστά δυνατούς διάφορους χειρισμούς διεύρυνσης του ορύγματος, έτσι ώστε να αποφεύγονται τα σφηνώματα της γεωτρητικής στήλης και οι συνακόλουθες καθυστερήσεις των εργασιών. Έχει υπολογιστεί ότι ο χρόνος γεώτρησης με το Σύστημα Οδήγησης Κορυφής μειώνεται κατά 10 έως 40%, με ανάλογο αντίκτυπο στο κόστος της γεώτρησης [13].

#### *- Οι Ασύρματες Συσκευές Καταγραφών*

Οι συσκευές αυτές τοποθετούνται κοντά στο τρυπάνι και είναι σε θέση να καταγράφουν και να μεταδίδουν στην επιφάνεια διάφορες γεωτρητικές και γεωλογικές πληροφορίες κατά τη διάρκεια της γεώτρησης, που είναι απαραίτητες για τη σωστή οδήγηση του τρυπανιού προς το κοίτασμα. Με τον τρόπο αυτόν δεν διακόπτεται πλέον η γεωτρητική εργασία για να προωθηθούν μέσα στο όρυγμα τα καλωδιακά όργανα καταγραφών που χρησιμοποιούσαν οι παλιότερες τεχνικές, με αποτέλεσμα να επιταχύνεται ο ρυθμός διάτρησης και να μειώνονται οι αποκλίσεις του τρυπανιού από την προκαθορισμένη πορεία [13]. Οι Ασύρματες Συσκευές Καταγραφών προέρχονται από τη διαστημική τεχνολογία και προς το παρόν το υψηλό κόστος τους περιορίζει τις εφαρμογές τους στις οριζόντιες γεωτρήσεις και στις θαλάσσιες γεωτρήσεις που διεξάγονται σε διάφορα μέρη, όπως π.χ. στον Κόλπο του Μεξικού, στην Αλάσκα και στη Βόρεια Θάλασσα.

#### *- Το Σύστημα Σταθεροποίησης Πορείας*

Πολλά γεωλογικά στρώματα στα οποία διεξάγονται γεωτρήσεις είναι επικλινή. Στην περίπτωση αυτή το τρυπάνι έχει την τάση να ολισθαίνει παράλληλα προς τις στρώσεις, παρεκκλίνοντας από την κατακόρυφο. Για να διορθωθεί η πορεία του, πρέπει να ανασυρθεί στην επιφάνεια ολόκληρη η γεωτρητική στήλη και να προσαρμοστούν στο χαμηλότερο σημείο της ειδικές σφήνες που επαναφέρουν το τρυπάνι στην κατεύθυνση που πρέπει να έχει [13]. Η τεχνική αυτή είναι χρονοβόρα και όχι πάντα αποτελεσματική. Με το Σύστημα Σταθεροποίησης Πορείας διορθώνεται αυτόματα η πορεία του τρυπανιού, με αποτέλεσμα να

ελαχιστοποιούνται οι αποκλίσεις, να επιταχύνεται η γεωτρητική εργασία και να αυξάνεται η διάρκεια ζωής του τρυπανιού και του κινητήρα.

- Η μέθοδος διάτρησης με τήξη

Αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1980 στο Επιστημονικό Εργαστήριο του Λος Άλαμος (Los Alamos Scientific Laboratory) του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνια. Το τρυπάνι αποτελείται στην περίπτωση αυτή από τα δύστηκτα μέταλλα μολυβδαίνιο και βολφράμιο και πυρακτώνεται με ηλεκτρικό ρεύμα στους 1.400°C. Η μέθοδος αυτή είναι ιδανική για την πραγματοποίηση γεωτρήσεων σε εκρηξιγενή βασαλτικά πετρώματα που τήκονται στους 1.200°C, έχοντας επιπλέον το προτέρημα ότι καθιστά περιττές τις εργασίες τσιμεντοποίησης και πλευρικής στήριξης, γιατί τα πετρώματα, αφού λιώσουν, στερεοποιούνται πάλι κατά μήκος της διανοιγόμενης οπής, σχηματίζοντας ένα σταθερό τοίχωμα [13].

Χάρη στις νέες αυτές τεχνικές έχουν πραγματοποιηθεί γεωτρήσεις μέχρι και 12.000 μ. βάθους (Μουρμάνση-ΒΔ Ρωσία). Τελευταία επιτεύγματα της τεχνολογίας που όμως βρίσκονται ακόμη σε πειραματικό στάδιο είναι τα αέρια υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης που παράγονται σε θαλάμους καύσης παρόμοιους με αυτούς των πυραύλων και η χρήση των υπερήχων που εκτιμάται ότι στις αρχές της τρίτης χιλιετίας θα έχουν αντικαταστήσει σε πολλές περιπτώσεις τα μηχανικά τρυπάνια.

## **β) Υδρογεωτρήσεις.**

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο δημιούργησε μεγάλη βιομηχανική παραγωγή, με νέα προϊόντα που διευκόλυναν τις διαδικασίες άντλησης και μεταφοράς του νερού στις πόλεις, στη βιομηχανία και στη γεωργία. Τα πηγάδια της προπολεμικής εποχής άφηναν σταδιακά τη θέση τους σε υποβρύχια αντλητικά συγκροτήματα που αντλούσαν μεγάλες ποσότητες νερού από μεγάλα βάθη. Η αγροτική ανάπτυξη φαινόταν ότι μπορούσε συνεχώς να αποκτά όλο και μεγαλύτερους ρυθμούς (εικόνα 1.6) [1]. Οι αρδευόμενες εκτάσεις επεκτείνονταν, τα δίκτυα φυσικής ροής μετατρέπονταν σε κλειστά υπό πίεση (δηλαδή ενεργοβόρα) και οι γεωτρήσεις και τα αντλητικά συγκροτήματα αυξάνονταν με γεωμετρική πρόοδο. Έτσι οι γεωτρήσεις νερού έγιναν το πιο αποτελεσματικό γεωτεχνικό έργο για την αξιοποίηση των υπόγειων υδατικών πόρων. Ενδεικτικός είναι ο πίνακας που παρουσιάζετε (διάγραμμα 1.1) για την χρήση του νερού στην Ελλάδα [1]. Οι σύγχρονες γεωτρήσεις κατασκευάζονται με περιστροφικά ή κρουστικά γεωτρήματα οι οποίες φτάνουν σε μεγαλύτερο βάθος από τα παραδοσιακά πηγάδια, συχνά σε

βάθος εκατοντάδων μέτρων όπως βλέπουμε στον πίνακα 1.1 που παραθετούμε με συνηθείς μεθόδους και πλεονεκτήματα. Συνηθέστερα κατασκευάζονται σε αγροτικές ή ημιαστικές περιοχές, αλλά κατασκευάζονται και σε αστικές περιοχές. Λόγω της ρύπανσης η χρήση τους όμως συνήθως μπορεί να είναι μόνο για άρδευση.

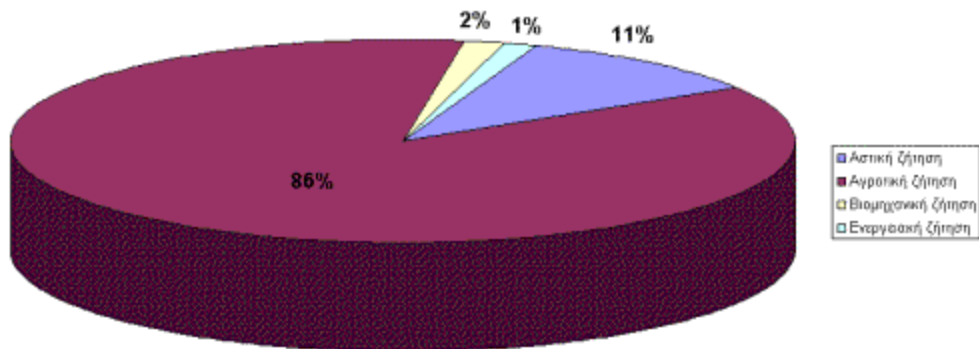
**Πίνακας 1.1:** Μέθοδοι κατασκευής υδρογεωτρήσεων [1].

Μέθοδος	Υλικά στα οποία αποδίδει	Στάθμη υδροφόρου σε (m) για καλύτερη απόδοση	Συνηθισμένο μέγιστο βάθος (m)	Διάμετρος διάτρησης σε (cm)	Συνηθισμένο υλικό σωλήνωσης	Συνηθισμένη χρήση	Παροχή ( $m^2/\omega\rho\alpha$ )	Παρατηρήσεις
Χειροκίνητο εδαφολητής auger	Άργιλος, άμμος, χαλίκια μικρότερα από 2cm	2-9	10	5-20	Μεταλλικό έλασμα	Οικιακή, στράγγιση	0,5-10	Αποδίδει καλά στην άργιλο δεν χρησιμοποιείται για χαλίκια διαμέτρου >2 cm και χρειάζεται προσωρινή σωλήνωση στα χαλαρά υλικά.
Μηχανοκίνητος εδαφολητής auger	Άργιλος, άμμος, χαλίκια μικρότερα από 5cm	2-15	25	15-90	Τσιμέντο ή μεταλλική σωλήνωση	Οικιακή, άρδευση, στράγγιση	0,5-20	Ομοίως με όριο χαλικιού 5cm
Σωληνωτά φρεάτια	Ιλύς, άμμος, χαλίκια <5cm	2-5	15	3-10	Μεταλλικοί σωλήνες	Ομοίως	0,5-8	Χρησιμοποιείται μόνο για αβαθείς σταθμες.
φρεάτια εκτόξευσης	Άργιλος, άμμος, χαλίκια μικρότερα από 2cm	2-5	15	4-8	ομοίως	Όλες	0,5-5	Ομοίως
Κρουσική διάτρηση με συρματόσκ	Χαλαρά και οποιαδήποτε συνδεδεμένα πετρώματα	Οποιαδήποτε	450	8-60	Σωλήνες χαλύβδινοι ή σφυρήλατος	Ομοίως	0,5-650	Προσωρινή σωλήνωση σε χαλαρά υλικά. Αργή

οινο					σίδηρο			μέθοδος .
Περιστροφική διάτρηση	Άργιλος, άμμος, χαλίκια μικρότερα από 2cm και συνδεμένα μαλακά έως σκληρά πετρώματα	ομοίως	450	8-45	Ομοίως η πλαστικοί	Ομοίως	Ομοίως	Η πιο γρήγορη μέθοδος διάτρησης εκτός των σκληρών πετρωμάτων συνήθως δεν χρειάζεται προσωρινή σωλήνωση
Περιστροφική διάτρηση αναστροφής κυκλοφορίας	Ιλύς, άμμος, χαλίκια, κροκάλες,	2-30	60	40-120	Ομοίως	Ομοίως	100-850	Κατάλληλη για μεγάλες διαμέτρους σε χαλαρά υλικά. Απαιτεί πολύ νέο για την διάτρηση
Περιστροφική κρουστική διάτρηση	Ιλύς, άμμος, χαλίκια , μικρότερα από 5cm συνδεμένα μαλακά έως σκληρά πετρώματα	οποιαδήποτε	600	30-50	Ομοίως	ομοίως	100-650	Πολύ γρήγορη διάτρηση οικονομική για βαθιές γεωτρήσεις. Στο νερό γίνεται προβληματική η χρήση αεροφόρας ιδιαίτερα εάν ο αεροσυμπιεστής δεν είναι πολύ ισχυρός



Συνολική κατανομή της ζήτησης νερού στην Ελλάδα



**Διαγράμμα 1.1:** Συνολική κατανομή της ζήτησης νερού στην Ελλάδα [36].



**Εικόνα 1.6:** Μάρκα CASAGRANDE Μοντέλο B125 Κινητήρας Cummins QSB 6.7, ισχύς - 162 kW (220 ίπποι) [44].

**γ) Γεωτρήσεις εξόρυξης ή διατρήματα ανατινάξεων (Εικόνα 1.7) .**



**Εικόνα 1.7:** Το Bingham Canyon Mine [23].

**δ) Γεωτρήσεις αερισμού, τσιμεντενέσεων και τοποθέτησης καλωδίων ή αγωγών (Εικόνα 1.8).**



**Εικόνα 1.8:** Γεώτρηση για την τοποθέτηση καλωδίων [17].

**ε) Μεγάλης διαμέτρου γεωτρήσεις που χρησιμεύουν στην υπόγεια εκμετάλλευση μεταλλείων (Εικόνα 1.9) (πηγάδια, στοές, κ.λ.π.).**



**Εικόνα 1.9:** Το Monticello Dam [23].



**Εικόνα 1.10:** Μετροπόντικας ανοίγει σήραγγα [17].

## 1.2.2 Περιβαλλοντικές εκτιμήσεις.

### I. Πετρέλαιο

#### Έρευνα για το πετρέλαιο

Κατάλληλες συνθήκες για το σχηματισμό και τη συγκέντρωση του πετρελαίου υπάρχουν σε τμήματα του φλοιού της γης στραμμένα προς τα κάτω, όπου στρώματα από κατακαθίσεις έχουν μαζευτεί σε μεγάλο πάχος (παχύτερα στη μέση και λεπτότερα στις άκρες) [17]. Τέτοιες τοποθεσίες γενικά θεωρούνται άξιες λόγου για έρευνα πετρελαίου πετρέλαιο και τα αέρια μπορούν να συγκεντρωθούν σε κοιτάσματα αν υπάρχουν ορισμένες γεωλογικές συνθήκες:

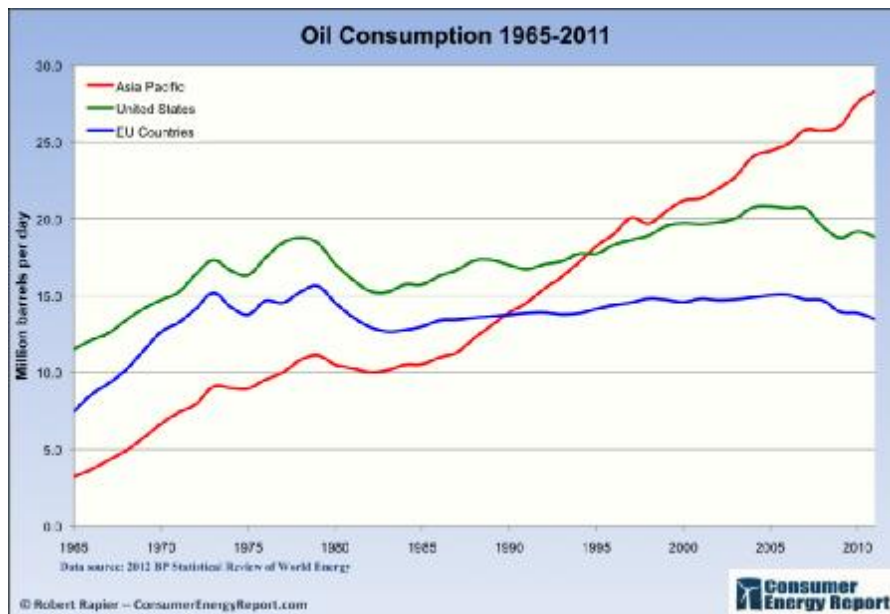
- Ø Η παρουσία ενός βράχου που χρησιμεύει ως αποθήκη και έχει πόρους συνδεδεμένους μεταξύ τους ή ρωγμές και κενά.
- Ø 2. Η παρουσία πάνω από τη βράχο-αποθήκη ενός σχηματισμού αδιάβροχου (που συχνά λέγεται καπέλο).
- Ø .3 Η ύπαρξη ενός "κλεισίματος", δηλ. ενός γεωλογικού σχηματισμού που εμποδίζει τη διαφυγή των υγρών και αερίων.

Συνήθως, τα αποθέματα βρίσκονται σε αντίκλινα ή σε σημεία όπου π.χ. εξαιτίας μιας καθίζησης, υπάρχει ασυνέχεια στα πετρώματα.

Η έρευνα για την ανακάλυψη πετρελαίου περιλαμβάνει:

- Ø φωτογράφιση του χώρου, όπου φαίνονται καθαρά οι πιθανές τοποθεσίες για γεώτρηση,
- Ø γεωλογική έρευνα, οπότε γίνεται χαρτογράφηση των πετρωμάτων και συμπληρώνεται με παρατηρήσεις παλαιότερων γεωλόγων και με ό,τι άλλα στοιχεία ενδεχομένως υπάρχουν και
- Ø γεωφυσική έρευνα, που γίνεται με κατάλληλα όργανα, με τα οποία μελετώνται ορισμένες ιδιότητες των πετρωμάτων.

Με όλες αυτές τις προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν πιο πάνω καταλαβαίνουμε ότι τα κοιτάσματα πετρελαίου που μπορούμε να έχουμε είναι λιγοστά και αυτό έρχεται να το επιδείνωση και η αυξημένη κατανάλωση. Η παγκόσμια κατανάλωση πετρελαίου αυξήθηκε ιδιαίτερα μεταξύ του 1965 και του 2007 όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (διαγράμμα 1.2). Προκειται για μια σημαντική αύξηση και βλέπουμε ότι ισχύει και για τις χώρες της Ασίας, Αμερικής αλλά και της Ευρώπης. Η κατανάλωση ενέργειας και συγκεκριμένα του πετρελαίου που είναι η βασικότερη πηγή της αποτελεί κρίσιμης σημασίας μεταβλητή για την οικονομία αλλά και τη διαμόρφωση των τιμών του πετρελαίου που αποτελούν τον μηχανισμό εξισορρόπησης μεταξύ προσφοράς της ζήτησης αυτού. Αποκτώντας πρωταγωνιστικό περιβαλλοντικό ρολό στα πλαίσια διεθνών συμφωνιών για την μείωση των ρύπων και επομένως μείωσης της κατανάλωση τη συμβατικής ενέργειας [17].



**Διαγράμμα 1.2:**καταναλωση πετρελαίου από 1965 έως 2011 [38].

## ii. Νερό

Από την Καλιφόρνια έως τη Μέση Ανατολή, τεράστιες εκτάσεις στερεύουν από νερό, ενώ άλλες κινδυνεύουν με ξηρασία. Ένα δισεκατομμύριο άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό πόσιμο νερό, αριθμός που αντιστοιχεί σε 1 στους 7 ανθρώπους παγκοσμίως [4].

Στις 17 Ιανουαρίου, οι επιστήμονες συγκέντρωσαν νέα δεδομένα από τον δορυφόρο Grace της NASA. Στις εικόνες από τον δορυφόρο, οι μεγαλύτερες απώλειες εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα, σηματοδοτώντας τις περιοχές με ελάχιστα υπόγεια αποθέματα(εικόνα 1.11), μένοντας έκπληκτοι -αν όχι τρομοκρατημένοι- από τα στοιχεία. Η Καλιφόρνια των Ηνωμένων Πολιτειών είναι στα όρια επικής ξηρασίας, με τα αποθέματα νερού να λιγοστεύουν δραματικά. Την ημέρα της δημοσίευσης των στοιχείων, ο κυβερνήτης της Πολιτείας κήρυξε την Καλιφόρνια σε κατάσταση εκτάκτου ανάγκης και ζήτησε από τους κατοίκους της, να περιορίσουν την κατανάλωση νερού κατά 20% [5].

Αξιοσημείωτο είναι δε το γεγονός, ότι το μέγεθος του προβλήματος αποτυπώνεται στα δεδομένα του δορυφόρου, που βρίσκονται σε απόσταση 400 χλμ. από τη Γη.



**Εικόνα 1.11:** Αποθεματα νερού στην Καλιφόρνια ανά 6 έτη [17].

Δεκαεφτά αγροτικές κοινότητες κινδυνεύουν να ξεμείνουν από νερό μέσα στις επόμενες 60 ημέρες, αριθμός που αναμένεται να αυξηθεί. Και οι σοκαρίστηκες προβλέψεις δεν σταματούν, σε έναν κόσμο όπου το νερό λιγοστεύει ενώ πολλαπλασιάζεται η ανάγκη χρήσης του για τη γεωργία και τις καλλιέργειες, λόγω αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού, παραγωγής ενέργειας και κλιματικής αλλαγής.

Η Βρετανία είναι στο άλλο άκρο, καθώς μεγάλα τμήματα της χώρας "πνίγονται", μετά τις αλλεπάλληλες καταιγίδες. Όπως φαίνεται από τα δεδομένα που συνέλεξε η NASA από το 2000 έως το 2012, οι χώρες στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη και στις τροπικές περιοχές γίνονται πιο υγρές, ενώ εκείνες που είναι στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη, αντιμετωπίζουν μεγάλο πρόβλημα λειψυδρίας.

Η Μέση Ανατολή, η Βόρεια Αφρική και η Νότια Ασία αναμένεται να αντιμετωπίσουν το μεγαλύτερο πρόβλημα τα επόμενα χρόνια, ως αποτέλεσμα δεκαετιών κακοδιαχείρισης και αλόγιστης χρήσης του νερού. Τα στοιχεία για την απώλεια νερού είναι συγκλονιστικά. Μέσα σε επτά χρόνια, από το 2003 έως το 2010, μέρη της Τουρκίας, της Συρίας, του Ιράκ και του Ιράν κατά μήκος του Τίγρη και του Ευφράτη ποταμού, έχασαν 144 κυβικά χιλιόμετρα αποθηκευμένου γλυκού νερού.

Μέρος της απώλειας αυτής οφείλεται στην ξήρανση του εδάφους, λόγω των καιρικών συνθηκών του 2007. Εξίσου μεγάλα αποθέματα νερού εξατμίστηκαν από τις λίμνες και τις δεξαμενές. Αλλά το μεγαλύτερο μέρος του νερού που χάθηκε, τα 90 κυβικά χιλιόμετρα ή το 60%, οφείλεται σε μειώσεις στα υπόγεια ύδατα [6].

Οι αμερικανικές Αρχές ήδη προειδοποιούν για τον κίνδυνο συγκρούσεων, συμπεριλαμβανομένων και των τρομοκρατικών επιθέσεων για το νερό. Σε έκθεση που δημοσιεύτηκε το 2012, ο Αμερικανός επικεφαλής της Εθνικής Υπηρεσίας Πληροφοριών προειδοποίησε, ότι η υπερβολική χρήση νερού, όπως συμβαίνει στην

Ινδία και σε άλλα κράτη, είναι αιτία πολέμου που θα μπορούσε να θέσει σε κίνδυνο την εθνική ασφάλεια των ΗΠΑ.

Συγκεκριμένα, σε έκθεση που στηριζόταν σε στοιχεία για τους ποταμούς Νείλο, Τίγρη, Ευφράτη, Ιορδάνη, Βραχμαπούτρα, Μεκόνγκ, Ινδό και Αμού Ντάρια αναφέρεται: "Μέσα στα επόμενα 10 χρόνια, πολλές χώρες σημαντικές για τα συμφέροντα των ΗΠΑ θα αντιμετωπίσουν προβλήματα με το νερό, έλλειψη ή κακή ποιότητα, που θα θέσουν σε κίνδυνο τη σταθερότητα και θα αυξήσουν την ένταση μεταξύ των κρατών, αποσπώντας την προσοχή τους από την καλή συνεργασία με τις ΗΠΑ" [4].

Το νερό από μόνο του, μάλλον δύσκολα θα οδηγούσε σε πτώσεις κυβερνήσεων. Σύμφωνα με την έκθεση όμως, θα απειλούσε την παραγωγή φαγητού και την προμήθεια ενέργειας, ενώ θα ασκούσε μεγάλη πίεση στις κυβερνήσεις των χωρών εκείνων, που ήδη μαστίζονται από φτώχεια και κοινωνικές αναταραχές.

Τέτοιες εντάσεις είναι ήδη προφανείς. Το Pacific Institute, που μελετά και αναλύει θέματα σχετικά με το νερό και την παγκόσμια ασφάλεια, παρατήρησε αύξηση των συγκρούσεων για το νερό, τα τελευταία 10 χρόνια.

Υπάρχουν δεκάδες τέτοια σημεία πιθανής "ανάφλεξης" σε όλον τον κόσμο. Στη Μέση Ανατολή, οι Ιρανοί αξιωματούχοι καταστρώνουν σχέδια για το νερό στην ευρύτερη περιοχή της Τεχεράνης, όπου ζουν περίπου 22.000.000 άνθρωποι. Η Αίγυπτος απαίτησε από την Αιθιοπία, να σταματήσει την κατασκευή μέγα-φράγματος στον Νείλο, ζητώντας την προστασία των ιστορικών δικαιωμάτων της στον ποταμό, με κάθε κόστος. Οι Αρχές της Αιθιοπίας ήδη διεξάγουν έρευνα, για να εξακριβωθεί, το κατά πόσο το έργο θα επηρεάσει πράγματι τη ροή του ποταμού. Το θέμα της έλλειψης νερού συζητήθηκε μάλιστα και στο παγκόσμιο οικονομικό Forum, στο Νταβός, τον Ιανουάριο του 2015.[6] Για πρώτη φορά, ο φάκελος "Κρίσεις νερού" αναδείχθηκε λόγω σοβαρότητας, στην κορυφή των 10 κινδύνων, βάσει των επιπτώσεων που έχει ή θα έχει η έλλειψή του σε όλον τον κόσμο, τα επόμενα 10 χρόνια. Εννιακόσιοι επικεφαλής επιχειρήσεων, ακαδημαϊκοί και κυβερνήσεις ψήφισαν το θέμα ως μείζον, μεταξύ πολλών "ρίσκων" διεθνώς.

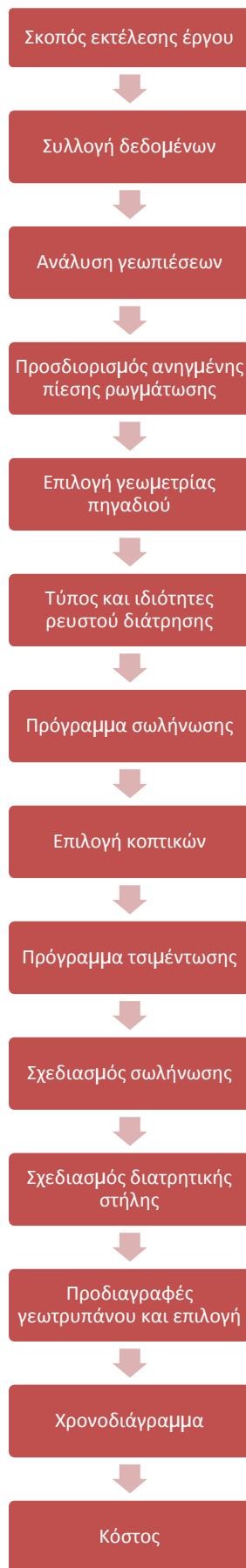
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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.

Ο αναλυτικός σχεδιασμός και προγραμματισμός ενός γεωτρητικού έργου αποτελεί το βασικό παράγοντα της επιτυχίας του. Απαιτεί την ολοκληρωμένη θεώρηση και τον συνδυασμό γνώσης, διαθέσιμης τεχνολογίας και εμπειρίας. Οι πετρελαϊκές εταιρείες ήταν οι πρώτες οι οποίες αναγνώρισαν την αναγκαιότητα και εφάρμοσαν στην πράξη τη συνεργασία πολλαπλών ειδικοτήτων επιστημονικού προσωπικού το οποίο, κατά διαφορετικό τρόπο, εμπλέκεται στη διαδικασία όρυξης μιας γεώτρησης. Παρά το γεγονός ότι οι ακολουθούμενες μέθοδοι και πρακτικές ποικίλουν μεταξύ των σχετικών επιχειρήσεων, το τελικό αποτέλεσμα για όλες είναι το «ασφαλές, οικονομικό και άρτιο από τεχνικής πλευράς έργο» [13]. Η εκτέλεση ενός γεωτρητικού έργου ενέχει ιδιαίτερα μεγάλο κίνδυνο λόγω της ασάφειας του περιβάλλοντος εντός του οποίου εκτελείται. Η αδυναμία του εκ των προτέρω προσδιορισμού όλων των παραμέτρων που θα επηρεάσουν την πραγματοποίησή του και το εν γένει υψηλό κόστος του επιβάλλει συστηματική προεργασία η οποία, τουλάχιστον, να εντοπίζει και να απομονώνει εν δυνάμει προβληματικές καταστάσεις. Δεν είναι τυχαίο αυτό που συνήθως αποδίδεται στους μηχανικούς γεωτρήσεων, ότι πρέπει να διαθέτουν και κάποια χαρακτηριστικά “Sherlock Holmes” που να τους οδηγούν στην ανίχνευση τυχόν δυσκολιών. Ο αντικειμενικός στόχος στο σχεδιασμό του γεωτρητικού έργου είναι η σύνταξη ενός προγράμματος που να εξασφαλίζει την ασφάλεια, την οικονομικότητα και τη μέγιστη χρηστικότητα του έργου [3]. Ο σχεδιασμός είναι μια αλληλουχία ενεργειών που ακολουθούν συγκεκριμένη σειρά, όπως αυτή παρουσιάζεται στο σχήμα 2.1, χωρίς τούτο να είναι και απόλυτα δεσμευτικό.





**Σχήμα 2.1:**διάγραμμα ρόης μελέτης γεώτρηση [15].

Απαιτείται, κατ' αρχήν, ο προσδιορισμός του στόχου που θα εξυπηρετήσει η γεώτρηση (ερευνητική, παραγωγική). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην πράξη οι όροι ερευνητική ή παραγωγική γεώτρηση αναλύονται περισσότερο ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο εκτελείται το έργο. Σχετικά με τον πρώτο όρο, όταν η γεώτρηση εκτελείται σε περιοχή όπου πολύ λίγες ή καθόλου πληροφορίες είναι διαθέσιμες αναφέρεται ως γεώτρηση υψηλού ρίσκου (wildcat), σε διάκριση με τις καθαρά ερευνητικές γεωτρήσεις (exploratory wells) όπου, είναι διαθέσιμα γεωλογικά και γεωφυσικά δεδομένα [7].

Στην ευρύτερη κατηγορία των ερευνητικών γεωτρήσεων εντάσσονται και οι γεωτρήσεις περιχάραξης του κοιτάσματος (προσδιορισμός ορίων ταμιευτήρα) μετά την ανακάλυψή του. Όλες οι γεωτρήσεις αυτές είναι, εν δυνάμει, και παραγωγικές γεωτρήσεις σε περίπτωση θετικού ερευνητικού αποτελεσματος. Επομένως, θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να μπορούν να αντεχουν σε τέτοιο ενδεχόμενο. Οι γεωτρήσεις ανάπτυξης αποτελούν παραγωγικές γεωτρήσεις οι οποίες στοχεύουν στην προσέγγιση του παραγωγικού σχηματισμού με τον οικονομικότερο δυνατό τρόπο Ακολουθεί η συλλογή των διαθέσιμων δεδομένων (πληροφοριών) που αφορούν στην ευρύτερη περιοχή (γεωλογικών, γεωφυσικών), καθώς και των στοιχείων από όλες τις γεωτρητικές δραστηριότητες που τυχόν έχουν αναπτυχθεί, με στόχο τη συστηματική ανάλυση και αξιολόγησή τους και την ελαχιστοποίηση του κινδύνου εμφάνισης τεχνικών προβλημάτων κατά τη διάρκεια των εργασιών. Είναι απολύτως αναγκαία από τα πρώτα στάδια η εκτίμηση των γεωπιέσεων της περιοχής και ο προσδιορισμός της πίεσης ρωγμάτωσης των σχηματισμών, για να ακολουθήσει η σύνταξη του προγράμματος του ρευστου διάτρησης (τύπος και ιδιότητες) και η επιλογή του βάθους εκτέλεσης κάθε σωλήνωσης. Με βάση τα χαρακτηριστικά της γεώτρησης και τις τιμές των παραμέτρων του προγράμματος διάτρησης επιλέγεται το είδος του γεωτρυπάνου και ο μηχανολογικός εξοπλισμός ώστε να έχουν τις προδιαγραφές που να ικανοποιούν το πρόγραμμα. Η επιλογή των κοπτικών μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε στάδιο μετά τη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων. Στην περίπτωση όπου υπάρχουν και άλλες γεωτρήσεις στην ευρύτερη περιοχή, τα γεωτρητικά δεδομένα αποτελούν τη βασική πηγή πληροφοριών για την επιλογή των κοπτικών άκρων. Βεβαίως, η επιλογή των κοπτικών είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον προσδιορισμό της γεωμετρίας του πηγαδιού και της σωλήνωσης. Η επιλογή της γεωμετρίας η οποία είναι τηλεσκοπικού τύπου (μειούμενης διαμέτρου ως προς το βάθος), του κοπτικού και της σωλήνωσης μπορεί να αποτελέσουν τις παραμέτρους εκείνες που θα χαρακτηρίζουν τη χρησιμότητα ή μη της γεώτρησης. Μια ακατάλληλη επιλογή μπορεί να καταλήξει σε πηγάδια τόσο μικρά που να πρέπει να εγκαταλειφθούν λόγω προβλημάτων στη διάτρηση και στην ολοκλήρωση της γεώτρησης[2]. Αυτό δεν σημαίνει όμως ότι κάθε φορά θα πρέπει να σχεδιάζεται ένα πηγάδι μεγάλης διαμέτρου έτσι ώστε να αντιμετωπίζονται όλα τα ενδεχόμενα σε έργα υψηλού κόστους (το κόστος του έργου είναι αναλογο του ογκου εξορυσσομενου υλικού- μεγάλη διάμετρος σημαίνει και μεγалος όγκος εξορυσσόμενου υλικού). Αν και η διεθνής πρακτική έχει οδηγήσει σε κανόνες συνδυασμών διαμέτρων – κοπτικών – σωληνώσεων, όμως η συνεχώς εντεινόμενη ανάγκη για μεγαλύτερα βάθη διάτρησης

ανατρεπουν, πολλές φορές, τους κανόνες αυτούς. Τα ιδιαίτερα τεχνικά προβλήματα ή/και τα προβλήματα θερμοκρασιών και πιέσεων που συναντώνται σε βάθη μεταξύ 6000-10000 μετρων επιβαλλουν να δίδεται μεγαλύτερη βαρύτητα στη διερεύνηση της βέλτιστης γεωμετρίας στις συνθήκες αυτές. Για παράδειγμα αναφέρεται ενδεικτικά :

- η δυσκολία αποτελεσματικού καθαρισμού της γεώτρησης, εάν το διάκενο μεταξύ διατρητικής στήλης και τοιχωμάτων της γεώτρησης (δακτύλιος) είναι υπερβολικά μεγάλο ή υπερβολικά μικρό [13].
- προβλήματα στη τσιμέντωση (δημιουργία κενών), εάν το διάκενο μεταξύ τοιχωμάτων γεώτρησης και σωλήνωσης είναι ανεπαρκές,
- ανάγκη για χρησιμοποίηση επιπρόσθετης σωλήνωσης σε ζώνες υψηλών πιέσεων ή σε παρουσία ρηγμάτων (πρέπει να υπάρχει, επομένως, επαρκής χώρος για τυχόν πρόσθετη σωλήνωση),
- μικρής διαμέτρου παραγωγικές γεωτρήσεις περιορίζουν ή απαγορεύουν τις παροχές σε τέτοια μεγάλα βάθη λόγω αυξημένων τριβών.

Σε κάθε περίπτωση, αυτό που ενδιαφέρει είναι το τελικό τμήμα της γεώτρησης και ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου η γεώτρηση μπορεί να καταστεί παραγωγική. Κάθε περιοχή που εγκυμονεί προβλήματα θα πρέπει να εξετάζεται με κριτήριο ότι οι τρόποι αντιμετώπισής των δεν διαταράσσουν τις προδιαγραφές του τελικού τμήματος. Ο σχεδιασμός, επομένως, πρέπει να γίνεται από κάτω προς τα πάνω (bottom to the top). Σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να οδηγηθούμε σε πηγάδι που να είναι οριακό ως προς την παραγωγική του ικανότητα, δηλαδή την τελική του χρήση.

## **2.2 ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

Οι οικονομικές παράμετροι των τελευταίων ετών ώθησαν στην ανάπτυξη τεχνολογιών για την αύξηση της παραγωγικότητας και τη δραστική μείωση του κόστους, ιδίως εκείνου που σχετίζεται με τα μεγάλα γεωτρητικά έργα (ενεργειακός τομέας). Οι ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις, (χρησιμοποίηση νέων, ευέλικτων και υψηλής αντοχής υλικών, σχεδιασμός σύγχρονων, εξελιγμένων και εξειδικευμένων οργάνων, αυτοματοποίηση των χρησιμοποιούμενων συστημάτων, χρήση ρευστών διάτρησης με ειδική σύνθεση και ιδιότητες κ.λπ.), οδήγησαν στην εφαρμογή νέων μεθοδολογιών [13]. Ο κύριος στόχος ήταν να αντιμετωπισθούν αποφασιστικά οι σύγχρονες προκλήσεις λόγω των έντονα ανταγωνιστικών και συγχρόνως πολύπλοκων συνθηκών, που χαρακτηρίζουν σε παγκόσμιο επίπεδο την καταγραφείσα δραστηριότητα στο χώρο του πετρελαίου. Πρόκειται για καινοτόμες τεχνολογίες που ικανοποιούν, άλλες σε μικρότερο και άλλες σε μεγαλύτερο βαθμό, μια σειρά κριτήρια (οικονομικά, τεχνικά, περιβαλλοντικά) που προκύπτουν από τις σημερινές απαιτήσεις. Η έρευνα, για παράδειγμα, νέων κοιτασμάτων σε πολύ

μεγαλύτερα βάθη, η εκμετάλλευση δύσκολα προσπελάσιμων ή/και απρόσιτων με τις συμβατικές τεχνικές πεδίων, η ανάγκη ανάπτυξης κοιτασμάτων χαρακτηρισμένων παλαιότερα ως «οριακά», αποτελούν ενδεικτικές περιπτώσεις όπου οι μέχρι σήμερα ακολουθούμενες τεχνικές αποδεικνύονται αδύναμες ή και αναποτελεσματικές. Παράλληλα, η όρυξη γεωτρήσεων υπό όλο και περισσότερο πολύπλοκες γεωλογικά και τεχνικά συνθήκες, αλλά και υπό αυστηρό κανονιστικό περιβαλλοντικό πλαίσιο θα πρέπει να εξισορροπεί την πρόσθετη επιβάρυνση στο κόστος εκτέλεσης. Η περιβαλλοντική συμβατότητα των γεωτρητικών έργων αποτελεί σήμερα μια από τις κύριες παραμέτρους στην επιλογή της τεχνικής που θα ακολουθηθεί [13].

- *Τεχνική όρυξης υπό συνθήκες υποπίεσης πυθμένα - Underbalanced Drilling (U.D.)*

Ανατρέποντας την μέχρι σήμερα ακολουθούμενη πρακτική, σύμφωνα με τις αρχές της περιστροφικής διάτρησης, η υπό συνθήκες υποπίεσης πυθμένα όρυξη, βασίζεται στην ελεγχόμενη χαμηλότερη πίεση που επικρατεί στον πυθμένα της γεώτρησης (bottom-hole pressure) σε σχέση με την πίεση των πόρων του σχηματισμού (formation pore fluid pressure). Η συνθήκη αυτή επιτρέπει την ελεγχόμενη παραγωγή υδρογονανθράκων ταυτόχρονα με τη διάτρηση της παραγωγικής ζώνης. Ο ειδικός τύπος ρευστών διάτρησης που χρησιμοποιείται [9] :

α) αμβλύνει τις σοβαρές αλλοιώσεις (formation damage) που προκαλούν στον παραγωγικό σχηματισμό τα συμβατικά ρευστά και

β) δημιουργεί περιβάλλον (επικρατούσες πιέσεις στο μέτωπο της διάτρησης) που επιτρέπει περισσότερο αποτελεσματική λειτουργία των κοπτικών άκρων, επιτυγχάνοντας έτσι μεγαλύτερες ταχύτητες διάτρησης.

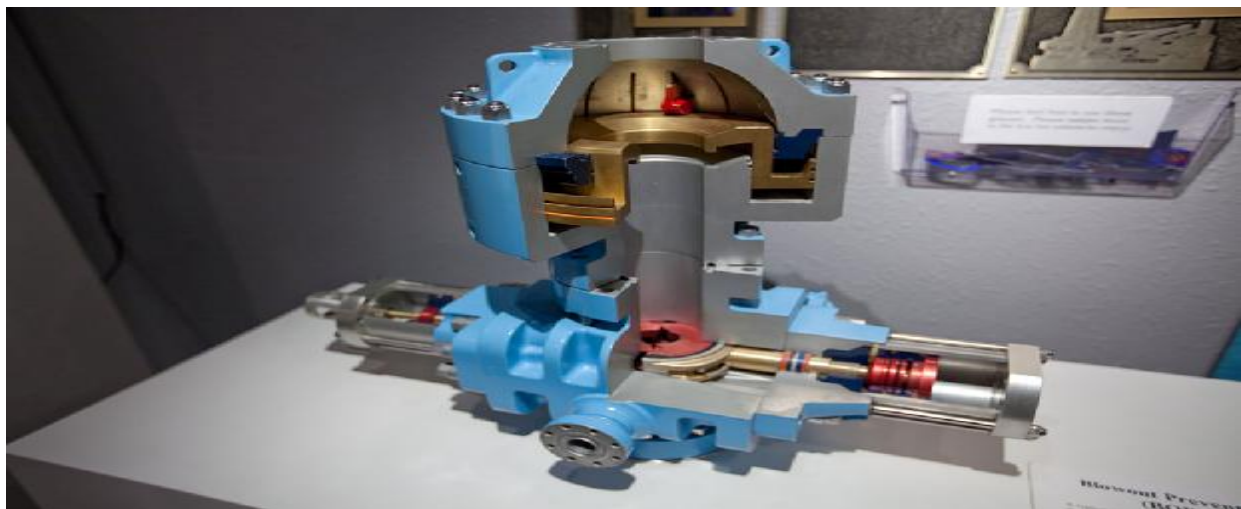
Η ρύθμιση της υποπίεσης στον πυθμένα της γεώτρησης εξασφαλίζεται μέσω της μεταβολής των ποσοτήτων αερίου και υγρού που συνήθως συμμετέχουν στη σύνθεση του ρευστού διάτρησης, με σκοπό αυτό να καταστεί ελαφρύτερο. Το ρευστό, ανάλογα με το επίπεδο της απαιτούμενης υποπίεσης, μπορεί να είναι αέριο ή υγρό, ή διφασικό μείγμα αερίου και υγρού (αέρας ή αδρανές αέριο υπό υγρή ή αέρια μορφή, φυσικό αέριο ή καθαρό μεθάνιο). Βασικά χαρακτηριστικά της τεχνικής αποτελούν ο πλήρης έλεγχος των κυκλοφορούντων ρευστών και ο αποτελεσματικός διαχωρισμός των συστατικών των ρευστών στην επιφάνεια. Το σύστημα ελέγχου της κυκλοφορίας του ρευστού διάτρησης, το οποίο αποτελεί ένα κλειστό κύκλωμα μεταξύ γεώτρησης και επιφανειακών εγκαταστάσεων, απαρτίζεται από δύο βασικούς μηχανισμούς [9].

Το μηχανισμό του περιστρεφόμενου εκτροπέα ροής (rotating flow diverter) (εικόνα 2.1) ο οποίος λειτουργεί υπό συνθήκες μειωμένης πίεσης, εξασφαλίζει την πλήρη απομόνωση της γεώτρησης κατά την όρυξη και επιτρέπει τη ροή του ρευστού από τη γεώτρηση προς τις εγκαταστάσεις διαχωρισμού του στην επιφάνεια.



**Εικόνα 2.1:** περιστρεφόμενου εκτροπέα ροής (rotating flow diverter) [17].

Σε συνδυασμό με συμβατικού τύπου BOP (blow out preventer) (εικόνα 2.2), παρέχει πλήρη ασφάλεια από ξαφνική εμφάνιση μεγάλων και υπό πίεση ποσοτήτων ρευστών στην επιφάνεια.



**Εικόνα 2.2:** Η εγκάρσια τομή ενός αντικρηκτικού μηχανισμού ασφαλείας BOP [19].

Το επιφανειακό σύστημα διαχωρισμού (surface separation package) του ρευστού διάτρησης το οποίο, λειτουργώντας ως κλειστό κύκλωμα, επιτρέπει αφενός τον έλεγχο της ροής των παραγόμενων υδρογονανθράκων κατά τη διάτρηση και αφετέρου τον ασφαλή διαχωρισμό του επιστρέφοντος στην επιφάνεια ρευστού διάτρησης στα επιμέρους συστατικά του (εισπιασθέν αέριο, παραγόμενοι υδρογονάνθρακες, ρευστό διάτρησης, θρύμματα και σωματίδια παραγόμενα κατά τη διάτρηση). Στις περιπτώσεις που επιλέγεται η συμμετοχή αερίου στη σύνθεση του κυκλοφορούντος ρευστού, στις επιφανειακές εγκαταστάσεις συμπεριλαμβάνεται και το σύστημα εισπίασης αερίου (gas injection package) (εικόνα 2.3) [13].



**Εικόνα 2.3:** επιφανειακό σύστημα διαχωρισμού [17].

Η δυνατότητα, σήμερα, της ανάπτυξης και εφαρμογής προσομοιωτών μεγάλης κλίμακας (full scale simulators) και η ακριβής μοντελοποίηση των συνθηκών που επικρατούν στη γεώτρηση, συμβάλλουν στην, εκ των προτέρων, διερεύνηση της ευαισθησίας των συνθηκών υποπίεσης πυθμένα στις μεταβολές των παραμέτρων διάτρησης, επιτρέπουν την αναλυτική εξέταση εναλλακτικών μεθοδολογιών ή σύνθεσης ρευστών για την δημιουργία των απαιτούμενων συνθηκών καθώς και τον προσδιορισμό των επιτρεπτών ορίων λειτουργίας της τεχνικής.

Η οικονομικότητα της τεχνικής σχετίζεται, βεβαίως, με τη μείωση του κόστους όρυξης, με την επίτευξη αυξημένου ρυθμού διάτρησης και με τη μείωση του κόστους τελειώματος της γεώτρησης. Το κύριο όμως, είναι η αύξηση της παραγωγικότητας και η σε άμεσο χρόνο (ταυτόχρονα με τη διάτρηση) έναρξη της παραγωγής και εισροή εσόδων από τα παραγόμενα προϊόντα [13].

Η εφαρμογή, επομένως, της τεχνικής πρέπει να κρίνεται όχι με βάση το κόστος όρυξης, αλλά με βάση το σύνολο των οικονομικών αποτελεσμάτων της επένδυσης.

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία που αφορούν στα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα και στα πεδία εφαρμογής της τεχνικής.

#### **Πλεονεκτήματα :**

- Πρόωρη –ταυτόχρονα με την διάτρηση- παραγωγική φάση.
- Αυξημένη παραγωγικότητα εξαιτίας της ελαχιστοποίησης του φαινομένου αλλοίωσης των χαρακτηριστικών των σχηματισμών που σχετίζονται με την παραγωγικότητα.
- Ελαχιστοποίηση των απωλειών των ρευστών διάτρησης προς τους ορυσσόμενους γεωλογικούς σχηματισμούς.
- Συνεχή και σε πραγματικό χρόνο αξιολόγηση των χαρακτηριστικών και της συμπεριφοράς των σχηματισμών [1].

- Συνεχή και σε πραγματικό χρόνο παρακολούθηση των συνθηκών που επικρατούν στο εσωτερικό της γεώτρησης κατά τη διάτρηση.
- Δραστική μείωση του κόστους εφαρμογής τεχνικών τελειώματος της γεώτρησης και ενεργοποίησης των παραγωγικών ζωνών.
- Αυξημένους (έως και δέκα φορές) ρυθμούς διάτρησης.
- Αυξημένο χρόνο ζωής των κοπτικών.
- Μείωση των πιθανοτήτων παγίδευσης της διατρητικής στήλης εντός της γεώτρησης.
- Αυξημένη περιβαλλοντική συμβατότητα.

#### **Μειονεκτήματα:**

- Αυξημένο κόστος εφαρμογής εξαιτίας της χρήσης ειδικού εξοπλισμού και της λήψης ειδικών μέτρων ασφαλείας.
- Αυξημένη πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαϊάς από εκρήξεις στον πυθμένα της γεώτρησης κατά τη χρήση αερίων ρευστών διάτρησης.
- Υπερβολικά αυξημένοι ρυθμοί παραγωγής μεγάλου όγκου ρευστών υπό πίεση, που θέτουν σοβαρά προβλήματα ασφάλειας.
- Πιθανή πρόωρη εισροή μεγάλων ποσοτήτων νερού από τους σχηματισμούς προς τη γεώτρηση.
- Δυσχέρειες εκτέλεσης, κατά την όρυξη, μετρήσεων προσανατολισμού της γεώτρησης [1].

#### **Εφαρμογές :**

- Γεωλογικοί σχηματισμοί με σημαντικές απώλειες στα κυκλοφορούντα ρευστά διάτρησης, άρα και σημαντικό κόστος εξαιτίας της ανάγκης αναπλήρωσής τους.
- Παραγωγικοί σχηματισμοί με φυσικά χαρακτηριστικά εξαιρετικά ευαίσθητα ως προς τη σύνθεση και τη δράση των ρευστών διάτρησης.
- Παραγωγικοί σχηματισμοί με εξαιρετικά χαμηλά ποσοστά φυσικής πίεσης που καθιστούν ανενεργό το φυσικό μηχανισμό παραγωγής υδρογονανθράκων και απαιτούν την εφαρμογή ειδικών τεχνικών ενεργοποίησης των παραγωγικών ζωνών [13].
- Παραγωγικοί σχηματισμοί με μικρή διαπερατότητα, γεγονός που συνεπάγεται περιορισμένη έως ελάχιστη παραγωγικότητα.
- . Εκμεταλλευθείσες παραγωγικές ζώνες
- Γεωθερμικά πεδία.

· *Τεχνική όρυξης γεωτρήσεων μικρής διαμέτρου - Slim Hole Drilling (S.H.D.)*

Η επικρατέστερη θεώρηση αναφέρει ότι γεώτρηση μικρής διαμέτρου είναι αυτή που στο 90% του μήκους της ορύσσεται με κοπτικά διαμέτρου μικρότερης από 7 (in) ή, άλλως, η γεώτρηση με διάμετρο μικρότερη από 6 (in) (στο 90% του μήκους της). Κατ' άλλους, γεώτρηση μικρής διαμέτρου είναι εκείνη με διάμετρο μικρότερη από 4,5-5 (in), μέχρι και την ελάχιστη εφικτή, των 2 (in) περίπου. Αυτό που ισχύει για όλες τις γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου, ωστόσο, και τις ξεχωρίζει ουσιαστικά από τις συμβατικές γεωτρήσεις, είναι ότι ο δακτύλιος ανάμεσα στη διατρητική στήλη και τα τοιχώματα της γεώτρησης είναι εν γένει μικρότερος από 1 (in).

Η τεχνολογία αυτή είναι πολύ παλιά με ευρύτατη εφαρμογή στη Μεταλλευτική. Άρχισε να εφαρμόζεται στη βιομηχανία υδρογονανθράκων, πρακτικά, στις αρχές της προηγούμενης δεκαετίας. Οι λόγοι που συνέτειναν στην εφαρμογή της ήταν [13]:

- ü Η εξέλιξη θερμικά σταθερών κοπτικών άκρων με δυνατότητα χρήσης σε πολύ υψηλές ταχύτητες περιστροφής. ο Η επίλυση των προβλημάτων ελέγχου και σταθερότητας του πηγαδιού, λόγω, κυρίως, του πολύ μικρού δακτυλίου.
- ü Η επίτευξη αποτελεσματικών μετατροπών στον ελαφρύ και ευέλικτο μεταλλευτικό γεωτρητικό εξοπλισμό έτσι ώστε να αντιμετωπίζονται οι ιδιαίτερες απαιτήσεις της τεχνικής, με έμφαση στον ακριβή έλεγχο του βάρους επί του κοπτικού και της ροπής στρέψης σε υψηλές ταχύτητες περιστροφής.
- ü Οι εξελίξεις αυτές σε συνδυασμό με την ανάπτυξη νέων εργαλείων μικρής διαμέτρου για ενδοσκοπικές καταγραφές και μετρήσεις (MWD, LWD), κατέστησαν την εν λόγω τεχνική ιδιαίτερα ελκυστική στην έρευνα υδρογονανθράκων, ειδικά σε απομακρυσμένες περιοχές [1].

Η όρυξη γεωτρήσεων μικρής διαμέτρου συνδυάζεται με τις ακόλουθες λειτουργικές δράσεις:

- ü Συνεχή πυρηνοληψία (continuous coring), και οδήγηση από το γεωτρύπανο (top drive),
- ü Συμβατική περιστροφική όρυξη (καταστροφική όρυξη - destructive drilling),
- ü Χρήση ενδογεωτρητικών κινητήρων (positive displacement motors).

Στη συνεχή πυρηνοληψία εφαρμόζεται, ουσιαστικά, η ίδια τεχνική που εφαρμόζεται στην μεταλλευτική έρευνα (top-down approach) (εικόνα 2.4) με το μεταλλευτικό γεωτρύπανο κατάλληλα αναδιαμορφωμένο.





**Εικόνα 2.4:**Κοπτικό συνεχούς πυρηνοληψίας ανάστροφης κυκλοφορίας [37].

Στις άλλες λειτουργικές δράσεις χρησιμοποιούνται συμβατικά πετρελαϊκά γεωτρήματα κατάλληλα μετασκευασμένα (χρήση ενδογεωτρητικών κινητήρων και κινητήρων πρόωσης για να εξασφαλίζεται ο ακριβής έλεγχος του βάρους επί του κοπτικού.

Η σχετική τεχνολογία αναπτύχθηκε από τη Shell για να μειώσει το κόστος όρυξης βαθιών γεωτρήσεων υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης στην Βόρεια Θάλασσα.

Η μείωση του κόστους έναντι της συμβατικής διάτρησης οφείλεται στο σημαντικά μικρότερου μεγέθους χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό και βέβαια στον σαφώς μικρότερο όγκο εξορυσσόμενου πετρώματος. Η εμπειρία έχει δείξει ότι στις περισσότερες περιοχές επιτυγχάνεται μείωση κόστους κατά 10-15% ενώ σε ορεινές και απομακρυσμένες περιοχές η μείωση στο κόστος όρυξης φτάνει το 40% [13].

Οι βασικοί παράγοντες μείωσης του κόστους σχετίζονται με:

- ü Τη μικρότερη έκταση των επιφανειακών εγκαταστάσεων
- ü Την ευκολότερη και φθηνότερη μεταφορά του εξοπλισμού σε απομακρυσμένες περιοχές
- ü Τη μικρότερη κατανάλωση αναλώσιμων υλικών ( π.χ. 50-60 βαρέλια ρευστού διάτρησης έναντι 1.000-1.500 βαρελιών σε συμβατική γεώτρηση αντιστοίχου βάθους).
- ü Τη μείωση προσωπικού (12-15 άτομα σε σύγκριση με 25-30 άτομα για τη συμβατική τεχνική), και λιγότερα καύσιμα (μείωση κατά 75% περίπου)

Στην συνέχεια παρουσιάζονται πολλά πρόσθετα στοιχεία σχετικά με τις δυνατότητες εφαρμογής και τη λειτουργική συμπεριφορά της τεχνικής [3].

### **Πλεονεκτήματα:**

- Σημαντική μείωση του κόστους έναντι της συμβατικής όρυξης.
- Μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, μέσω περιορισμού των εκλυόμενων ρευστών και εδαφικών ρυπαντών, περιορισμού της περιοχής επέμβασης, περιορισμένης κατανάλωσης καυσίμων και, κατά συνέπεια, εκλυόμενων καυσαερίων, περιορισμού της οπτικής και ηχητικής ρύπανσης, που προέρχεται από το μειωμένο μέγεθος των επιφανειακών εγκαταστάσεων και των μικρότερων κινητήρων [13].
- Προσαρμοστικότητα της μεθόδου σε ποικίλες συνθήκες.
- Μείωση του όγκου του εξορυσσόμενου πετρώματος.
- Μείωση του κόστους μεταφοράς του εξοπλισμού (οδική μεταφορά ή μεταφορά με ελικόπτερο).
- Σημαντική μείωση των αναλώσιμων υλικών (βάρος σωλήνωσης, όγκος πολφού τσιμέντου, όγκος ρευστών διάτρησης).

### **Μειονεκτήματα:**

- Δυσχερής ο επαρκής και αξιόπιστος έλεγχος της όρυξης (well control). • Αιφνίδια εισροή αερίου εντός της γεώτρησης ή απώλεια της κυκλοφορίας του ρευστού διάτρησης εντός του σχηματισμού, φαινόμενα που εξελίσσονται πολύ γρήγορα, λόγω του μικρού δακτυλίου [13].
- Αδυναμία χρήσης τυποποιημένων διαδικασιών που εφαρμόζονται στην συμβατική τεχνική για ανίχνευση και αντιμετώπιση kick.
- Διακυμάνσεις της πίεσης των ρευστών κατά την ανέλκυση και καθέλκυση της διατρητικής στήλης (swabbing pressures), με αποτέλεσμα να απαιτούνται προσεκτικοί χειρισμοί για να μην προκληθεί εισροή ρευστών από το σχηματισμό ή απώλεια της κυκλοφορίας.
- Επικάθιση των αιωρούμενων στερεών του ρευστού διάτρησης στο εσωτερικό τοίχωμα της στήλης, λόγω της μεγάλης ταχύτητας περιστροφής.

### **Εφαρμογές:**

- Όρυξη ερευνητικών γεωτρήσεων μικρής διαμέτρου, ιδιαίτερα σε νέα κοιτάσματα
- Όρυξη παραγωγικών γεωτρήσεων σε κοιτάσματα με χαμηλό έως μέτριο δυναμικό παραγωγής, καθώς η παραγωγή από μια γεώτρηση μικρής διαμέτρου είναι περιορισμένη (630 - 1.260 bbls/day).
- Επανείσοδο (re-entry) σε υπάρχουσα γεώτρηση προς επέκταση, εκβάθυνση και διεύρυνση της διατομής, καθώς και όρυξη οριζόντιων τμημάτων, με στόχο τη βελτίωση της παραγωγικότητας των υπό εκμετάλλευση κοιτασμάτων [13].

- Όρυξη γεωτρήσεων σε συνδυασμό με το σύστημα του περιελιγμένου σωλήνα.

- Τεχνική όρυξης με σύστημα περιελιγμένου σωλήνα - Coiled Tubing Drilling

Ο όρος «περιελιγμένος σωλήνας» περιγράφει ένα είδος συνεχούς (χωρίς συνδέσμους) εύκαμπτου, μεταλλικού σωλήνα μικρής διαμέτρου (εικόνα 2.5), περιελιγμένου σε καρούλι, ο οποίος, πρακτικά, συνιστά συνεχή διατρητική στήλη.



**Εικόνα 2.5:** Μεταλλικός σωλήνας μικρής διαμέτρου, περιελιγμένος σε καρούλι [40].

Η ιδέα της όρυξης γεωτρήσεων με συνεχή διατρητική στήλη (χωρίς συνδέσμους) εμφανίστηκε πριν από 35 χρόνια περίπου. Ωστόσο, μόλις στη δεκαετία του '90 άρχισε να κερδίζει έδαφος λόγω των τεχνολογικών αναδράσεων από την εφαρμογή των κεκλιμένων και οριζόντιων γεωτρήσεων καθώς και στην ανάπτυξη περισσότερο αξιόπιστων και ανθεκτικών περιελιγμένων σωλήνων μεγαλύτερης διαμέτρου [13].

Το βασικό χαρακτηριστικό της τεχνικής όρυξης με συστήματα περιελιγμένου σωλήνα, που τη διαφοροποιεί πλήρως από τη συμβατική τεχνική, είναι η μη περιστροφή της διατρητικής στήλης. Για την όρυξη της γεώτρησης η περιστροφική κίνηση δεν μεταδίδεται στο κοπτικό από την επιφάνεια, αλλά από ενδογεωτρητικό κινητήρα εγκατεστημένο πάνω στην κατώτερη συνδεσμολογία, πίσω από το κοπτικό άκρο. Αποτέλεσμα, αφού ο περιελιγμένος σωλήνας δεν περιστρέφεται, η πρόωση του συστήματος να γίνεται αποκλειστικά με ολίσθηση.

Τα συστήματα περιελιγμένου σωλήνα αποτελούν την «άλλη πρόταση» ως προς τις τεχνικές όρυξης γεωτρήσεων. Δεν πρόκειται για μια τεχνική η οποία έρχεται να αντικαταστήσει τη συμβατική περιστροφική διάτρηση. Ωστόσο, η λειτουργική συμβατότητά της με πολλά από τα συστήματα της συμβατικής τεχνικής (ρευστά διάτρησης και σύστημα κυκλοφορίας, σύστημα ελέγχου, ενδογεωτρητικός εξοπλισμός) την καθιστούν τεχνολογικά ελκυστική στην όρυξη νέων γεωτρήσεων ή στην επανείσοδο σε προϋπάρχουσες γεωτρήσεις, εκεί όπου συμβατικές μέθοδοι και εξοπλισμός αδυνατεί.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται πολλά πρόσθετα στοιχεία σχετικά με τις δυνατότητες εφαρμογής και τη λειτουργική συμπεριφορά της τεχνικής.

### **Πλεονεκτήματα:**

- Το κόστος όρυξης είναι γενικά, συγκρίσιμο με το κόστος της συμβατικής όρυξης. Για να καθίσταται οικονομικότερη θα πρέπει να αξιοποιούνται τα πλεονεκτήματα που προσφέρει [13].
- Η δυνατότητα της να λειτουργεί σε συνθήκες υποπίεσης πυθμένα και να συνδυάζεται αποτελεσματικά με την όρυξη κατευθυνόμενων γεωτρήσεων μεγάλης ακρίβειας προσδίδει ευελιξία και διευρύνει το πεδίο εφαρμογής.
- Η μέχρι σήμερα εμπειρία, συνηγορεί στο ότι σε υποθαλάσσιο περιβάλλον, τα συστήματα περιελιγμένου σωλήνα παρουσιάζουν σε πολλές περιπτώσεις μεγαλύτερη οικονομικότητα έναντι της συμβατικής τεχνικής. Κατ' επέκταση, οι υποθαλάσσιες γεωτρήσεις, ακόμα και σε περιπτώσεις μεγάλου βάθους θάλασσας, είναι ο τομέας εφαρμογής της μεθόδου, όπου σημειώνονται οι πιο σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις.

### **Μειονεκτήματα:**

- Περιορισμένη εφαρμογή μόνο σε γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου (έως 6¼ in).
- Περιορισμένη διάρκεια ζωής του σωλήνα, λόγω αυξημένων και συχνών καταπονήσεων ή ως αποτέλεσμα χημικής και φυσικής διάβρωσης.
- Περιορισμός του μέγιστου βάθους όρυξης, εξαιτίας της αντοχής του σωλήνα και του περιορισμένου μήκους του για την ευχερή οδική μεταφορά του.
- Ανάπτυξη αυξημένων δυνάμεων τριβής, ανάγκη χρήσης ενδογεωτρητικών κινητήρων για την πρόωση του κοπτικού και ειδικών εργαλείων για τον προσανατολισμό της τροχιάς, λόγω μη περιστροφής της διατρητικής στήλης.
- Προβλήματα στην όρυξη που προκύπτουν από βλάβες και αστοχίες των ενδογεωτρητικών κινητήρων [13].
- Ανάγκη χρήσης ρευστών διάτρησης ειδικής σύστασης, που να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις όρυξης γεωτρήσεων μικρής διαμέτρου.

### **Εφαρμογές:**

- Όρυξη ερευνητικών γεωτρήσεων μικρής διαμέτρου.
- Συνέχιση της όρυξης ή εκτέλεση διασκοπήσεων με διέλευση μέσα από την παραγωγική σωλήνωση.
- Δειγματοληψία από παραγωγικές ζώνες ή όρυξη εντός ζωνών όπου παρατηρείται απώλεια κυκλοφορίας ρευστών διάτρησης, σε συνέχεια της συμβατικής τεχνικής.
- Όρυξη γεωτρήσεων υπό συνθήκες υποπίεσης πυθμένα.
- Επανείσοδος (re-entry) σε υπάρχουσες οριζόντιες γεωτρήσεις για την επέκτασή τους στο χώρο.

- Επανείσοδος σε υπάρχουσες κατακόρυφες γεωτρήσεις είτε για την εκβάθυνσή τους, είτε για την όρυξη κεκλιμένων κα οριζοντίων τμημάτων με στόχο την έρευνα του περιβάλλοντος χώρου, την προσπέλαση νέων κοιτασμάτων, ή τη βελτίωση της παραγωγικότητας.
- Κατακόρυφες γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου και μικρού βάθους, για όρυξη εντός μαλακών σχηματισμών, ή για εκτόνωση αερίου ή για εισπίεση.
- Όρυξη γεωτρήσεων σε αστικές περιοχές όπου υπάρχει περιορισμένη διαθεσιμότητα χώρου ή σε περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές για περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- Όρυξη γεωτρήσεων υπό συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίαω όπου ο συμβατικός εξοπλισμός δεν επαρκεί [13].
- Εκτέλεση εργασιών σε θαλάσσιες εξέδρες παραγωγής, όπου δεν υπάρχει μόνιμος συμβατικός εξοπλισμός όρυξης, είτε δεν είναι άμεσα διαθέσιμος.

### 2.2.1 Ρευστα διατρησης

Τα ρευστά διάτρησης αποτελούν μια από τις πλέον βασικές παραμέτρους που παίζουν καθοριστικό ρόλο στην, χωρίς προβλήματα, εκτέλεση μιας γεώτρησης, ιδιαίτερα όταν αυτή πραγματοποιείται μέσα σε προβληματικούς σχετικά σχηματισμούς. Τα ρευστά, θεωρούμενα ως παράμετρος της διάτρησης, καλύπτουν ένα πλήθος λειτουργιών και ως εκ τούτου ικανοποιούν κάποιες πολύ συγκεκριμένες προδιαγραφές. Με την κυκλοφορία του ρευστού μέσα στη γεώτρηση (αντλία περιστρέψεως ,τροφοδότης, διατρητικά στελέχη, δακτύλιος επιφάνεια) και την ανύψωσή του μέσα στο δακτύλιο μεταξύ των τοιχωμάτων της γεώτρησης και των διατρητικών στελεχών, τα προϊόντα διάτρησης (θρύμματα)(εικόνα 2.6) μεταφέρονται από το μέτωπο της διάτρησης στην επιφάνεια [13].



**Εικόνα 2.6:**Θρύμματα από γεώτρηση στην περίπτωση αυτή λασπη [41].

Τρεις παράμετροι επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα του καθαρισμού της περιοχής του δακτύλιου:

i) Η ταχύτητα του ρευστού στο δακτύλιο

Η ταχύτητα του ρευστού στο δακτύλιο εξαρτάται από το ρυθμό ροής του ρευστού και τη διατομή του δακτύλιου. Η συνήθης ταχύτητα του ρευστού στο δακτύλιο κυμαίνεται από 25 έως 60 m/min.

ii) Το ιξώδες του ρευστού

Η ταχύτητα μεταφοράς των θρυμμάτων μπορεί να θεωρηθεί ως η διαφορά μεταξύ της ανυψωτικής ταχύτητας του ρευστού και της ταχύτητας καθίζησης των θρυμμάτων. Η ταχύτητα καθίζησης εξαρτάται από το μέγεθος, το σχήμα και τη μάζα των θρυμμάτων, την ρεολογία του ρευστού και, ειδικότερα, από το ιξώδες του ρευστού. Οι παράμετροι που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά των θρυμμάτων, δεν μπορούν να μεταβληθούν σημαντικά, καθώς εξαρτώνται είτε από το χρησιμοποιούμενο διατρητικό εξοπλισμό, είτε από το είδος των διατρυόμενων σχηματισμών. Το ιξώδες ενός ρευστού δείχνει την αντίσταση του ρευστού στη ροή. Η αντίσταση αυτή οφείλεται, αφ' ενός, στη μηχανική τριβή που προκαλούν τα στερεά σωματίδια που περιέχονται στο ρευστό διάτρησης και, αφ' ετέρου, στις ηλεκτροχημικής φύσεως ελκτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μέσα στα ρευστά και οι δύο αυτές συνιστώσες μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της διάτρησης, λόγω των αλλαγών που επέρχονται στη σύσταση των ρευστών, αλλά και των αλλαγών στις ρεολογικές παραμέτρους των. Δύο βασικά μοντέλα έχουν διατυπωθεί για να περιγράψουν τη μεταβολή του ιξώδους με τη μεταβολή των ρεολογικών παραμέτρων [13]. Το μοντέλο *Bingham* το οποίο αφορά σε ρευστά με πλαστικές ιδιότητες και το *εκθετικό μοντέλο* που αφορά σε ρευστά με ψευδοπλαστικές ιδιότητες.

Το μαθηματικό μοντέλο του *Bingham* περιγράφει καλύτερα τα ρευστά διάτρησης που έχουν υψηλό πραγματικό ιξώδες, τόσο στις χαμηλές όσο και στις υψηλές ταχύτητες ροής. Δεν παρουσιάζουν, δηλαδή, απότομη μεταβολή του ιξώδους με τη μεταβολή της ταχύτητας (αυτό ορίζει και την πλαστική συμπεριφορά). Το *εκθετικό μοντέλο* περιγράφει καλύτερα τα ρευστά τα οποία αποκτούν συγκριτικά υψηλό ιξώδες στις χαμηλές ταχύτητες ροής και αντιθέτως (εμφανίζουν δηλαδή ψευδοπλαστική συμπεριφορά). Τα περισσότερα ρευστά διάτρησης είναι σύνθετα ρευστά, δεδομένου ότι στη δομή τους υπεισέρχονται και τα θρύμματα της διάτρησης. Επομένως, εμφανίζουν ενδιάμεση συμπεριφορά.

iii) Η ταχύτητα καθίζησης των σωματιδίων

Γενικά, η ταχύτητα ανύψωσης των θρυμμάτων είναι η διαφορά μεταξύ της ταχύτητας του ρευστού στο δακτύλιο και της ταχύτητας καθίζησης των θρυμμάτων.

## 2.2.2 Λειτουργίες και χαρακτηριστικά των ρευστών διάτρησης

- *Θιξοτροπική συμπεριφορά ρευστών διάτρησης (αιώρηση τεμαχιδίων με την διακοπή της κυκλοφορίας)*

Ορισμένα ρευστά διάτρησης, όταν παύσει η κυκλοφορία τους μέσα στη γεώτρηση, σχηματίζουν ζελώδη δομή και απαιτείται η άσκηση υψηλής σχετικά υδραυλικής δύναμης για την επανακυκλοφορία του ρευστού. Η συμπεριφορά αυτή οφείλεται στην παρουσία ηλεκτροχημικά φορτισμένων αργιλικών κυρίως σωματιδίων τα οποία, βρισκόμενα εν ηρεμία, συνδέονται μεταξύ των και σχηματίζουν τη ζελώδη φάση. Η θιξοτροπική αυτή ιδιότητα του ρευστού συμβάλλει στη διατήρηση των τεμαχιδίων αποφεύγοντας έτσι την καθίζηση στον πυθμένα της γεώτρησης, όταν η λάσπη παύει να κυκλοφορεί [13].

- *Ψύξη του κοπτικού και μείωση της τριβής της διατρητικής στήλης*

Η διατρητική στήλη, κυρίως η κατώτερη συνδεσμολογία αυτής, και το κοπτικό άκρο, θερμαίνονται σημαντικά όχι μόνο λόγω των θερμοκρασιών που επικρατούν στο υπέδαφος, αλλά κυρίως λόγω της αναπτυσσόμενης μηχανικής τριβής. Το ρευστό διάτρησης λειτουργεί ως ψυκτικό υγρό. Η αναπτυσσόμενη θερμότητα μεταδίδεται στην υγρή φάση του ρευστού και μεταφέρεται στην επιφάνεια απ' όπου απάγεται. Επιπλέον, το ρευστό διάτρησης μειώνει το συντελεστή τριβής μεταξύ διατρητικής στήλης και τοιχωμάτων γεώτρησης. Η λειτουργία αυτή μπορεί να ενισχυθεί με την προσθήκη ψυκτικών και λιπαντικών πρόσθετων.

- *Σταθεροποίηση των τοιχωμάτων της γεώτρησης*

Η υγρή φάση της λάσπης διάτρησης διηθείται στους περατούς πλευρικούς σχηματισμούς και εναποθέτει ένα στρώμα κολλοειδών τεμαχιδίων στα τοιχώματα της γεώτρησης. Από το πάχος και τις ιδιότητες της επίστρωσης αυτής εξαρτώνται προβλήματα τα οποία πιθανόν να προκύψουν κατά τη διάτρηση ευαίσθητων κυρίως σχηματισμών. Μεγάλο πάχος επίστρωσης οδηγεί σε καταπτώσεις, μεταβολές των πιέσεων στο πηγάδι ή και φρακάρισμα της διατρητικής στήλης. Υψηλή διαπερατότητα επίστρωσης σημαίνει ότι διευκολύνεται η εισχώρηση της υδάτινης φάσης του ρευστού μέσα στους σχηματισμούς και ταυτόχρονα επιτρέπεται ο σχηματισμός επίστρωσης μεγαλύτερου πάχους. Η εισχώρηση της υγρής φάσης μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα κατά τη διάτρηση ευπαθών σχηματισμών, όπως π.χ. αργιλικής σύστασης σχηματισμών, οι οποίοι, ερχόμενοι σε επαφή με την υγρή φάση, μετατρέπονται σε έντονα ενεργούς σχηματισμούς και παρουσιάζουν διογκώσεις, καταπτώσεις, κολλήματα και φρακάρισμα της διατρητικής στήλης. Ανάλογα προβλήματα συναντώνται και κατά τη διάτρηση τεκτονισμένων ζωνών και ρηγμάτων ή ζωνών με εκτεταμένες εξαλλοιώσεις. Τα προβλήματα αυτά επιβάλλουν αντιμετώπιση με συνεχείς σωληνώσεις, διευρύνσεις της διατομής του πηγαδιού, νεκρούς χρόνους διάτρησης και, επομένως, αύξηση του κόστους

εκτέλεσης του έργου. Από τα ανωτέρω είναι σαφές ότι η επίστρωση επιθυμείται να είναι λεπτού πάχους και χαμηλής διαπερατότητας [13]. Η χρήση ρευστών διάτρησης με βάση τα ορυκτά έλαια δίδει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα, δεδομένου ότι η υδατική φάση έχει κατά μεγάλο ποσοστό αντικατασταθεί από τα ορυκτά έλαια. Η μεγαλύτερη τοξικότητα και το μεγαλύτερο κόστος αυτού του τύπου ρευστών επιβάλλει τη χρησιμοποίησή των μόνο σε ειδικές περιπτώσεις. Νεότερες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί επιτρέπουν τη χρήση συνδυασμών υλικών όπως μπεντονίτη πολυμερών χημικών πρόσθετων σε ρευστά διάτρησης με βάση το νερό, έτσι ώστε να προκύπτουν συστήματα με ειδικές ιδιότητες για τη διάτρηση συγκεκριμένων σχηματισμών. Για παράδειγμα, ο μπεντονίτης, (εικόνα 2.7) ο οποίος διασκορπίζεται σε πολύ λεπτομερή, κολλοειδών διαστάσεων, σωματίδια, σχηματίζει σχετικά χαμηλής διαπερατότητας επίστρωση. Η εισαγωγή στο σύστημα μπεντονίτη-νερού ορισμένων χημικών αποκροκιδωτικών πρόσθετων, όπως οι λιγνοσουλφόνες, καθώς και ορισμένων συνθετικών και φυσικών ή μερικώς τροποποιημένων φυσικών πολυμερών (νατριούχο πολυακρυλονιτρίλιο, κυτταρίνες, μερικώς τροποποιημένες φυσικές αμυλόκολλες), μπορούν να μειώσουν σημαντικά τη διαπερατότητα της επίστρωσης [13].



**Εικόνα 2.7:** Μπετονίτης [17].

Η βελτίωση αυτή επιτυγχάνεται λόγω του μεγέθους των μακρομορίων των ενώσεων αυτών όπου, ένα τμήμα τους καλύπτει τα αργιλικά κολλοειδή σωματίδια, ενώ το υπόλοιπο τμήμα των φράζει τα κενά που αφήνουν τα κολλοειδή σωματίδια μεταξύ των.

- *Αποτροπή τυχόν εισροής ρευστών από τους διατρυόμενους σχηματισμούς στη γεώτρηση.*

Εάν η υδροστατική πίεση που ασκεί η στήλη του ρευστού διάτρησης μέσα στη γεώτρηση ( $P_h$ ) παραμένει μεγαλύτερη από την πίεση των ρευστών που μπορεί να περιέχουν οι διατρυόμενοι σχηματισμοί (νερό, αέριο ή πετρέλαιο), η εισροή των ρευστών αυτών στη γεώτρηση εμποδίζεται. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται ο κίνδυνος να προκληθούν ανεξέλεγκτες μεταβολές στις πιέσεις που επικρατούν μέσα στη γεώτρηση και να προκληθούν εκτινάξεις (kicks) ή εκρήξεις (blowouts). Η λάσπη διάτρησης θεωρείται ως ο πρώτος φυσικός αντιεκρηκτικός μηχανισμός ασφάλειας (blowout preventer) για τον έλεγχο των πιέσεων στον πυθμένα της γεώτρησης.



- *Η λειτουργία του ρευστού στη αποτελεσματικότητα της διάτρησης.*

Η επιλογή του τύπου και των ιδιοτήτων του ρευστού διάτρησης επηρεάζει άμεσα το ρυθμό προχώρησης, μέσω της ικανότητας της λάσπης διάτρησης να καθαρίζει από τα θρύμματα την περιοχή προσβολής από το κοπτικό άκρο. Η δράση αυτή σχετίζεται με πολλές παραμέτρους οι οποίες επιδρούν με διαφορετικό τρόπο και, μάλιστα, με αντίστροφα (αντικρουόμενα μεταξύ τους) αποτελέσματα. Για παράδειγμα, ενώ η αύξηση της πυκνότητας της λάσπης συμβάλλει θετικά στην καλύτερη αποκομιδή των θρυμμάτων, η εξ αυτής προκύπτουσα αύξηση της υδροστατικής πίεσης στον πυθμένα της γεώτρησης προκαλεί αργούς ρυθμούς προχώρησης. Επομένως, η σχέση δεν είναι μονοσήμαντη και επιβάλλεται ο συσχετισμός των επιδράσεων για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα [13].

- *Μετάδοση ενέργειας στον κινητήρα πυθμένα.*

Σε περιπτώσεις όπως στην κατευθυνόμενη και στην οριζόντια διάτρηση ή στη διάτρηση με χρήση αδαμαντοκορώνων χρησιμοποιείται ενίοτε κινητήρας πυθμένα, ο οποίος προσαρμόζεται στο κάτω μέρος της διατρητικής στήλης, έτσι ώστε να περιστρέφεται μόνο το κοπτικό άκρο. Η ταχύτητα ροής της λάσπης εξασφαλίζει την περιστροφή και του κινητήρα. Η πτώση πίεσης λόγω της λειτουργίας του κινητήρα προστίθεται στις απώλειες πίεσεων από τη κυκλοφορία του ρευστού σε όλο το σύστημα του πηγαδιού [13].

- *Παροχή χρήσιμων γεωλογικών πληροφοριών.*

Η συνεχής κυκλοφορία του ρευστού διάτρησης παρέχει χρήσιμες γεωλογικές πληροφορίες. Για παράδειγμα, τα θρύμματα τα οποία ανέρχονται στην επιφάνεια αναλύονται και αξιολογούνται. Τυχόν εισροές ρευστών ή αερίων από τους διατρυόμενους σχηματισμούς ανιχνεύονται από εγκατεστημένους αισθητήρες στην επιφάνεια. Οι φυσικοχημικές αλλαγές στο ρευστό επιστροφής (θερμοκρασία, pH, περιεκτικότητα σε χλώριο κ.λπ.), σε συνδυασμό με τις ενδοσκοπικές καταγραφές που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της διάτρησης, παρέχουν συστηματικές πληροφορίες για την εξέλιξη των εργασιών.

#### Τύποι ρευστών διάτρησης

- *Λάσπη με βάση το νερό (water-based mud)*

Οι λάσπες διάτρησης συνίστανται από μια υγρή φάση και στερεά εν αιωρήσει. Η υγρή φάση μπορεί να είναι απλώς φρέσκο ή θαλασσινό νερό ή μπορεί να είναι μίγμα υγρών. Τα στερεά ποικίλουν και συνήθως εισάγονται και χημικά πρόσθετα. Το φρέσκο νερό είναι η βάση στις περισσότερες λάσπες (εικόνα 2.8). Είναι προσβάσιμο, φθηνό, εύκολα ελεγχόμενο κατά την προσθήκη στερεών και αποτελεί το καλύτερο

μέσο για την αξιολόγηση των σχηματισμών [8]. Το θαλασσινό νερό είναι βεβαίως ευκολότερα διαθέσιμο στις περιπτώσεις υποθαλάσσιων ερευνητικών ή παραγωγικών εργασιών [13]. Τα ρευστά διάτρησης με βάση το νερό αποτελούνται από 4 μέρη:

1. Νερό, το οποίο είναι η συνεχής φάση και παρέχει το αρχικό ιξώδες (φρέσκο ή θαλασσινό),
2. Ενεργά στερεά για την ενίσχυση του ιξώδους και του σημείου διαρροής (μπεντονίτης, που συνιστάται στην περίπτωση του φρέσκου νερού και ατταπουλγίτης, αμίαντος ή σιπιόλιθος, που συνιστώνται στην περίπτωση του θαλασσινού νερού),
3. Αδρανή στερεά για την επίτευξη της απαιτούμενης πυκνότητας (βαρύτης, θειούχος μόλυβδος, σιδηρομεταλλεύματα ή χαλαζιακά υλικά).



**Εικόνα 2.8:** Λάσπη με βάση το νερό [45].

· *Λάσπη με βάση το πετρέλαιο (oil based mud)*

Τα ρευστά αυτά είναι συστήματα όπου η υδάτινη φάση έχει σχεδόν αντικατασταθεί από πετρέλαιο ή ραφινάρισμένα πετρελαιοειδή. Αποτελούνται, κατ'όγκον, από 95-98% πετρέλαιο, 2-5% νερό, βαρύτη ή θειούχο μόλυβδο για τη ρύθμιση της πυκνότητας, καθώς και πρόσθετα για τη ρύθμιση των ρεολογικών ιδιοτήτων, όπως έχει αναφερθεί και ανωτέρω (εικόνα 2.9). Οι συγκεκριμένες λάσπες διάτρησης έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά [4]:

1. Προκαλούν μικρότερη φθορά στη διαπερατότητα της παραγωγικής ζώνης.
2. Έχουν τις απαιτούμενες ιδιότητες για διάτρηση υπό καλές συνθήκες.
3. Το πετρέλαιο δεν εισχωρεί (διηθείται) στους διατρυόμενους σχηματισμούς.

**Εφαρμογές:**

1. Διάτρηση και πυρηνοληψία των παραγωγικών ζωνών.
2. Επίσκευή και συντήρηση των παραγωγικών γεωτρήσεων σε τμήματα όπου οι λάσπες με βάση το νερό δημιουργούν προβλήματα (διόγκωση αργίλων, παγίδευση και κόλλημα διατρητικής στήλης κ.λπ.).

### Πλεονεκτήματα:

- Τα χαρακτηριστικά τους ελέγχονται εύκολα, ιδιαίτερα όταν δεν υπάρχει εισροή νερού ή πετρελαίου από τους διατρυόμενους σχηματισμούς.
- Δεν είναι ευαίσθητες σε ρυπαντές που συναντώνται στις λάσπες διάτρησης με βάση το νερό ( NaCl, CaSO<sub>4</sub>, αργίλους, τσιμέντο).
- Δημιουργούν πολύ καλό επίστρωμα στα τοιχώματα της γεώτρησης, χωρίς να επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και τη πίεση σε βαθιές γεωτρήσεις.
- Η πυκνότητά των μπορεί να προσεγγίζει και τη μονάδα. Μειώνουν την τριβή της διατρητικής στήλης μέσα στη γεώτρηση και επομένως μειώνεται η φθορά της.
- Ο χρόνος ζωής των κοπτικών άκρων αυξάνει λόγω της ενισχυμένης λιπαντικής λειτουργίας των.
- Επιτρέπουν καλύτερη πυρηνοληψία.
- Προκαλούν μικρότερη φθορά στα χαρακτηριστικά των διατρυόμενων των σχηματισμών.

### Μειονεκτήματα:

- Ευαισθησία στο νερό.
- Πιθανότητα ανάφλεξης.
- Ορισμένες μέθοδοι ενδοσκοπικών καταγραφών δεν είναι εύκολο να εφαρμοστούν.
- Το κόστος ανά κυβικό μέτρο είναι υψηλότερο από αυτό που αντιστοιχεί στις λάσπες με βάση το νερό.
- Μεγαλύτερη περιβαλλοντική επιβάρυνση τα αποκομιζόμενα στην επιφάνεια θρύμματα φέρουν επικολλημένες σταγόνες πετρελαίου, επομένως χρήζουν συστηματικής διαχείρισης (καθαρισμό και απόθεση) [13].

Για τη μείωση του κόστους και τον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μπορεί εναλλακτικά να χρησιμοποιηθεί ρευστό με πετρέλαιο και νερό σε αναλογία όγκου 50% έκαστο (invert muds).



Εικόνα 2.9: Λάσπη με βάση το πετρέλαιο [17].

- Διάτρηση με αέρα, αφρό ή με λάσπη ενισχυμένη με αέρα (*aerated mud*)

### 1. Διάτρηση με αέρα

Συμπιεσμένος αέρας εισπνέζεται στη διατρητική στήλη, αντί λάσπης διάτρησης, ικανοποιώντας όλες τις λειτουργίες της διάτρησης (εικόνα 2.10). Τα προβλήματα που σχετίζονται με τη διάτρηση χρησιμοποιώντας αέρα αφορούν, πολλές φορές, στον ανεπαρκή όγκο αέρα για την απομάκρυνση των θρυμμάτων. Ταχύτητες στο δακτύλιο μικρότερες από 2500 ft/min ίσως δεν είναι αποτελεσματικές για τη μεταφορά των θρυμμάτων. Επί πλέον, ρευστά σε τέτοιες υψηλές ταχύτητες διαβρώνουν και διευρύνουν τα τοιχώματα της γεώτρησης, με αποτέλεσμα διαθέσιμοι όγκοι ρευστού οι οποίοι ήταν επαρκείς προηγουμένως, να είναι ανεπαρκείς μετά την αλλαγή της γεωμετρίας του πηγαδιού.



**Εικόνα 2.10:** Διάτρηση με αέρα [43].

- Διάτρηση με αφρό

Επιχειρείται η διατήρηση των πλεονεκτημάτων που εμφανίζει η διάτρηση με αέρα, παράλληλα όμως αντιμετωπίζονται τα προβλήματα εισροών νερού (εικόνα 2.11). Ο αφρός που κυκλοφορεί είναι το αποτέλεσμα της ανάμιξης αέρα, νερού και αφριστικών πρόσθετων. Τα πλεονεκτήματα της διάτρησης με αφρό εντοπίζονται, αφ' ενός, στη μεγαλύτερη ικανότητα καθαρισμού του πηγαδιού (η ταχύτητα ροής στο δακτύλιο δεν χρειάζεται να είναι τόσο υψηλή όσο στην περίπτωση του αέρα ενδεικτικά, είναι περίπου δέκα φορές μικρότερη) και, αφ' ετέρου, στη σταθερότητα που επιδεικνύει σε περιπτώσεις μικρών εισροών νερού. Το βασικό μειονέκτημα της διάτρησης με αφρό εντοπίζεται στο δύσκολο διαχωρισμό και καθαρισμό στην επιφάνεια, με αποτέλεσμα να γίνεται δυσχερής η συνεχής λειτουργία του κυκλώματος εισόδου-επεξεργασίας-εισπίεσης ρευστού.



**Εικόνα 2.11:** Διάτρηση με αφρό [17].

- *Διάτρηση με λάσπη ενισχυμένη με αέρα (aerated muds)*

Λάσπη ενισχυμένη με αέρα χρησιμοποιείται στην περίπτωση όπου απαιτείται μεγάλη ανυψωτική ικανότητα, σε συνδυασμό με μειωμένη υδροστατική πίεση στο δακτύλιο (εικόνα 2.12) [13]. Αέρας υπό πίεση εισέρχεται στο σύστημα της λάσπης μέσω του σωλήνα που συνδέει τις αντλίες με τη διατρητική στήλη. Το μίγμα λάσπης αέρα διοχετεύεται στη διατρητική στήλη και στη συνέχεια στο δακτύλιο, όπου ο αέρας εκτονούμενος μειώνει την υδροστατική πίεση. Επιτυγχάνονται μεγαλύτερες ταχύτητες προχώρησης, μικρότερη φθορά των κοπτικών άκρων και καλύτερος έλεγχος των εισερχόμενων υδάτων. Σημαντική εφαρμογή έχει στην περίπτωση όπου η συνάντηση ζωνών χαμηλών πιέσεων επιβάλλει τη μείωση της πυκνότητας της χρησιμοποιούμενης λάσπης διάτρησης [13].



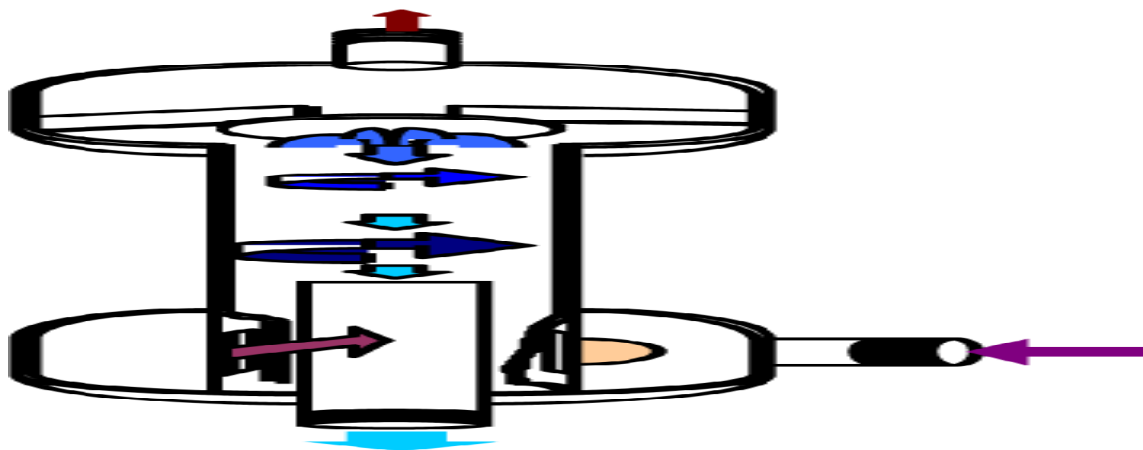
**Εικόνα 2.12:** Λάσπη με αέρα [39].

### **2.2.3 Μηχανική επεξεργασία (καθαρισμός) επιστρεφόμενων ρευστών.**

Τα θρύμματα της διάτρησης (στερεά) αποτελούν τους βασικούς ρυπαντές των ρευστών διάτρησης. Οι ιδιότητες που κυρίως επηρεάζονται από τα στερεά είναι η πυκνότητα, η ρεολογία και η διηθητική ικανότητα. Το ρευστό διάτρησης επιστρέφοντας από τη γεώτρηση ακολουθεί ένα σύστημα καθαρισμού και σταθεροποίησης, το οποίο περιλαμβάνει δονούμενα κόσκινα, υδροκυκλώνες και φυγοκεντρικούς διαχωριστές. Τα δονούμενα κόσκινα αποτελούν το πρώτο στάδιο

καθαρισμού [13]. Επιτρέπουν το πέρασμα του ρευστού με τα χρήσιμα στερεά του (μπεντονίτη, βαρύτη κ.λπ.) και διαχωρίζουν κατ' αρχήν τα θρύμματα. Μπορεί να είναι βαθμωτά, δύο ή τριών επιπέδων. Δειγματοληψία θρυμμάτων πραγματοποιείται στα κόσκινα σε πολύ τακτά χρονικά διαστήματα και τα θρύμματα που συλλέγονται αποστέλλονται για γεωλογική ανάλυση. Τα υπόλοιπα θρύμματα συλλέγονται σε δεξαμενή από την οποία οδηγούνται σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους. Η λάσπη μετά τα κόσκινα πέφτει σε επικλινή αγωγό όπου τα μεγαλύτερου μεγέθους στερεά διαχωρίζονται με τη βαρύτητα. Στη συνέχεια, η επιστρεφόμενη λάσπη ακολουθεί το δεύτερο στάδιο καθαρισμού (υδροκυκλώνες) όπου διοχετεύεται μέσω μικρής φυγοκεντρικής αντλίας (εικόνα 2.13) [13]. Το ρευστό φυγοκεντρείται ταχύτατα, τα στερεά εκτοξεύονται στα πλευρικά τοιχώματα του κώνου, ενώ το ρευστό ανέρχεται καθαρότερο κατά τον άξονα του κώνου. Το μέγεθος των τεμαχιδίων που διαχωρίζονται εξαρτάται από τις διαστάσεις του κώνου (κυρίως την εσωτερική διάμετρό του). Οι κυκλώνες τοποθετούνται εν σειρά έτσι ώστε κάθε ένας να συμβάλλει στο διαχωρισμό συγκεκριμένου εύρους μεγέθους τεμαχιδίων [13]. Στην περίπτωση που το ρευστό διάτρησης περιέχει στερεά για την αύξηση της πυκνότητάς του ( π.χ. βαρύτης) δεν μπορεί να ακολουθηθεί το στάδιο των υδροκυκλώνων, διότι θα υπάρξει απώλεια και των τεμαχιδίων βαρύτη.

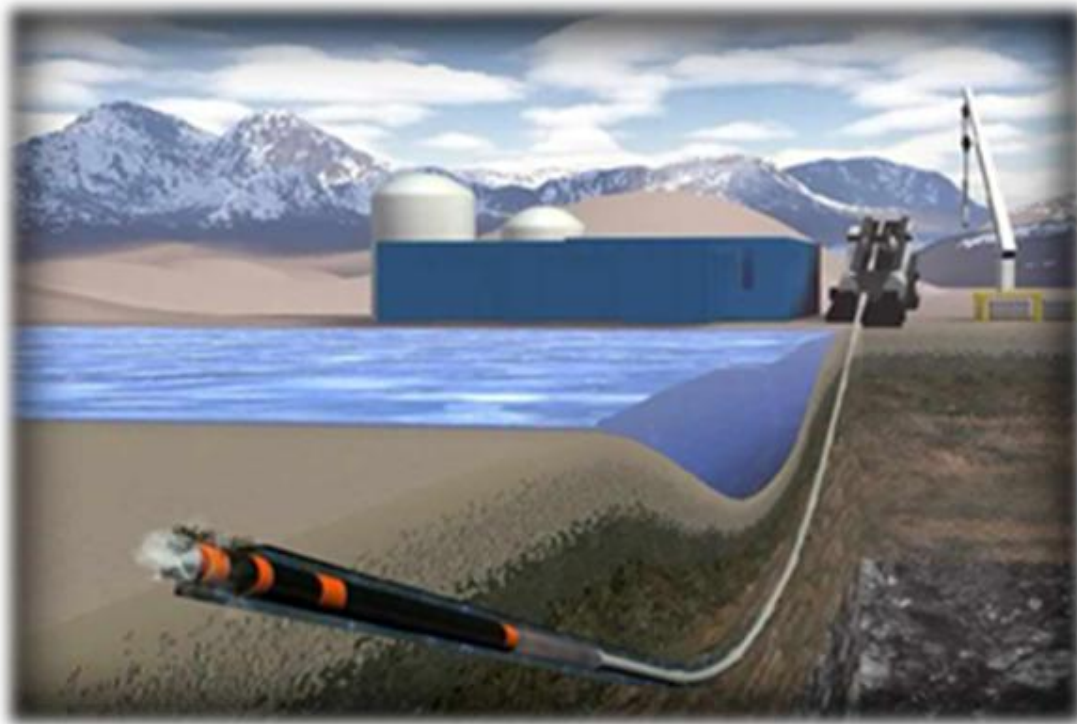
Εφαρμόζεται τότε μια διάταξη μικρών υδροκυκλώνων, η οποία τοποθετείται επάνω σε ένα έντονα δονούμενο κόσκινο. Τα στερεά διαχωρίζονται στους κυκλώνες και πέφτουν στο κόσκινο όπου, τα μεν τεμαχίδια βαρύτη περνούν μέσω των ανοιγμάτων του, τα δε θρύμματα απορρίπτονται [13].



**Εικόνα 2.13** : Υδροκυκλώνας. Τα στερεά απόβλητα (θρύμματα) λόγω της περιστροφικής κίνησης ανεβένουν προς τα επάνω και αποβάλλονται από το υγρό [17].

### 2.3: ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΚΑΙ ΚΕΚΛΙΝΕΜΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ.

Κατά τη διάρκεια των δυο τελευταίων δεκαετιών υπήρξε μια θεαματική ανάπτυξη, αποδοχή και εφαρμογή της τεχνικής όρυξης κεκλιμένων και οριζοντίων γεωτρήσεων γνωστή με τον όρο "κατευθυνόμενη διάτρηση" (εικόνα 2.14). Η κατευθυνόμενη διάτρηση ήταν φυσικό να αναδειχθεί γρήγορα σε μια υποσχόμενη τεχνική, αφού όλοι οι ενδιαφερόμενοι παράγοντες έδωσαν έγκαιρα έμφαση και προτεραιότητα στην έρευνα, στην ανάπτυξη ή/και στη βελτίωση τεχνικών που περιορίζουν το κόστος και το χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση ενός τέτοιου μεγάλου γεωτρητικού προγράμματος.



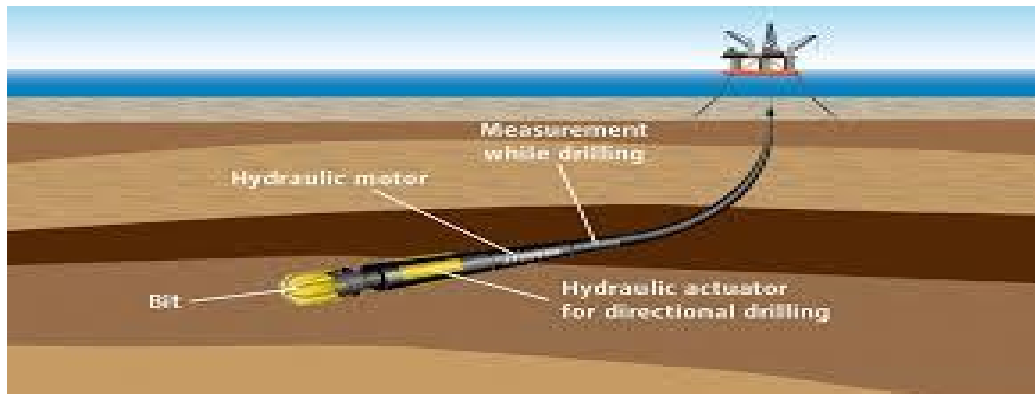
**Εικόνα 2.14:** κατευθυνόμενη διάτρηση σε τομή [17].

Ως τη δεκαετία του 1960, οι συνεχείς βελτιώσεις στις εφαρμοζόμενες στα πλαίσια της τεχνικής μεθόδους, η εισαγωγή σύγχρονου και παράλληλα η βελτίωση του διαθέσιμου μηχανολογικού εξοπλισμού, σε συνδυασμό με την ανακάλυψη μεγάλων διαστάσεων υποθαλάσσιων κοιτασμάτων, συντελούν δραστικά στην κατάκτηση νέων πεδίων και στην επέκταση των εφαρμογών της τεχνικής [1]. Δυστυχώς όμως το απαιτούμενο αυξημένο κόστος όρυξης και τελειώματος μιας κεκλιμένης-οριζόντιας γεώτρησης -πάντα σε σύγκριση με εκείνο μιας συμβατικής κατακόρυφης γεώτρησης-, και οι τότε επικρατούσες οικονομικές συνθήκες, αποτέλεσαν σημαντική τροχοπέδη όσον αφορά στην ευρεία υιοθέτηση της τεχνικής κατά την περίοδο αυτή. Στην ιστορική της διαδρομή, παράγοντες όπως: η μοναδική ευχέρεια των κεκλιμένων-οριζοντίων γεωτρήσεων να προσεγγίζουν -με εξαιρετική μάλιστα ακρίβεια- δύσκολα προσεγγίσιμους ή και απλησίαστους από τη συμβατική τεχνική "σχηματισμούς στόχους", οι συνεχείς και ραγδαίες βελτιώσεις που επιτεύχθηκαν στην τεχνική, η

χρησιμοποίηση νέων, υψηλής αντοχής υλικών και ο σχεδιασμός σύγχρονων, εξελιγμένων και εξειδικευμένων οργάνων, το ολοένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνεπάγεται η υλοποίηση ενός προγράμματος διάτρησης, η επιβεβλημένη ανάγκη ανακάλυψης νέων κοιτασμάτων (αναφερόμαστε σε κοιτάσματα υδρογονανθράκων) ή κοιτασμάτων που με την εφαρμογή της συμβατικής κατακόρυφης διάτρησης θα χαρακτηρίζονταν ως "οριακά εκμεταλλεύσιμα", τα οικονομικά αποτελέσματα ως συνέπεια της έμπρακτα αποδεδειγμένης δυνατότητας αύξησης της παραγωγικότητας και του τελικού ποσοστού απόληψης ενός κοιτάσματος μέσω οριζόντιων παραγωγικών γεωτρήσεων, επικράτησαν κατά τη δεκαετία του 1980 και συνέβαλλαν στην επανεμφάνισή της στο διεθνές προσκήνιο [13]. Η έκρηξη σημειώνεται ωστόσο στα τελευταία χρόνια της ίδιας δεκαετίας και αποτελεί γεγονός που όχι απλά διατηρείται ως σήμερα, αλλά εξαπλώνεται διεθνώς με αυξανόμενη ένταση και συνεχώς επιταχυνόμενους ρυθμούς. Νέοι παράγοντες -πέραν των προαναφερόμενων επιβάλλουν θα λέγαμε σήμερα την κατευθυνόμενη διάτρηση, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται περιπτώσεις, όπως: η ανάπτυξη κοιτασμάτων που βρίσκονται κάτω από πυκνοκατοικημένες περιοχές, ή σε περιοχές όπου λόγω του δύσβατου τοπογραφικού ανάγλυφου η προσέγγισή τους καθίσταται από δυσχερή ως και αδύνατη, η προσέγγιση, από ξηράς, παράκτιων σχηματισμών, η ανάπτυξη σχηματισμών που βρίσκονται κάτω από ή πλευρικά ενός δόμου άλατος, η ταυτόχρονη προσβολή πολλών ζωνών παράλληλης στρωμάτωσης, η ταυτόχρονη προσβολή πολλών παραγωγικών σχηματισμών μικρών διαστάσεων, διεσπαρμένων στον ίδιο χώρο, η όρυξη γεώτρησης με σκοπό την προσέγγιση και στη συνέχεια αχρήστευση μιας γειτονικής εξαιρετικά προβληματικής γεώτρησης, προγράμματα όρυξης πολλαπλών γεωτρήσεων από το ίδιο επιφανειακό χερσαίο ή θαλάσσιο σημείο, η ανάπτυξη εκμετάλλευση υποθαλάσσιων σχηματισμών μεγάλης επιφανειακής εξάπλωσης (η πλειοψηφία των έργων). Φυσικό επακόλουθο ήταν η όρυξη κεκλιμένων-οριζοντίων γεωτρήσεων, από σχεδόν ανύπαρκτη παρουσία πριν από μερικές δεκαετίες, να αντιπροσωπεύει σήμερα το 50% των γεωτρήσεων που έχουν ορυχθεί διεθνώς [13].

Ως κατευθυνόμενη διάτρηση (directional drilling), χαρακτηρίζεται η τεχνική όρυξης υπό συνθήκες προγραμματισμένης και ελεγχόμενης παρέκκλισης από την κατακόρυφη διεύθυνση. Η επιθυμητή παρέκκλιση προσδίδεται στη γεώτρηση ώστε αυτή ακολουθώντας το συντομότερο κατά το δυνατόν δρόμο, να προσεγγίσει έναν ή και περισσότερους προκαθορισμένους γεωλογικούς "σχηματισμούς στόχους", οι οποίοι βρίσκονται σε κάποια οριζόντια απόσταση ως προς τη θέση εγκατάστασης του γεωτρύπανου στην επιφάνεια (εικόνα 2.15) [13].





**Εικόνα 2.15:** μέρη μηχανισμού για τον προσανατολισμό της γεώτρησης [17].

Ο ίδιος όρος είχε χρησιμοποιηθεί για να χαρακτηρίσει την τεχνική ελαχιστοποίησης της ανεπιθύμητης παρέκκλισης γεωτρήσεων που όφειλαν να είναι κατακόρυφες, (τη λεγόμενη φυσική παρέκκλιση, που οφείλεται κύρια στην εναλλαγή των χαρακτηριστικών των πετρωμάτων και στη συμπεριφορά της διατρητικής στήλης εντός της γεώτρησης), γνωστή με τον όρο, συμβατική κατευθυνόμενη διάτρηση (conventional directional drilling) [13]. Σήμερα, ο γενικός όρος ελεγχόμενη κατευθυνόμενη διάτρηση (deviation control), καλύπτει τόσο την τεχνική διατήρησης της παρέκκλισης κατακόρυφων γεωτρήσεων εντός καθορισμένων αποδεκτών ορίων όσο και την τεχνική πρόσδωσης παρέκκλισης σε μια γεώτρηση που είναι αναγκαίο να ορυχθεί υπό κλίση σύμφωνα με προκαθορισμένο πρόγραμμα, ώστε να προσεγγίσει οριζόντια "σχηματισμό στόχο" [13].

Υπό την ευρύτερή του έννοια λοιπόν, ο παραπάνω όρος εκφράζει:

Η διάτρηση κεκλιμένων γεωτρήσεων με εκτεταμένη οριζόντια μετατόπιση (extended-reach drilling) και η οριζόντια διάτρηση (horizontal drilling) δανείζονται μεθόδους και εξοπλισμό από την κατευθυνόμενη διάτρηση κεκλιμένων γεωτρήσεων (όπου η μέγιστη γωνία κλίσης της γεώτρησης δεν υπερβαίνει τις 60°-65°, ενώ συχνά η έναρξη της όρυξης στην επιφάνεια πραγματοποιείται με το γεωτρήπανο υπό κλίση). Για το λόγο αυτό και γίνεται χρήση του σύνθετου όρου "κατευθυνόμενη διάτρηση κεκλιμένων-οριζοντίων γεωτρήσεων" [1].

Η διεθνώς αποδεκτή ταξινόμηση των οριζοντίων γεωτρήσεων με βάση το μήκος της "ακτίνας καμπυλότητας" σε:

- "οριζόντιες γεωτρήσεις μικρής ακτίνας καμπυλότητας" (ultra-short ή short-radius horizontal wells,
- "οριζόντιες γεωτρήσεις μέσης ακτίνας καμπυλότητας" (medium radius horizontal wells,
- "οριζόντιες γεωτρήσεις μεγάλης ακτίνας καμπυλότητας" (long-radius horizontal wells.

Αυτό επιτρέπει όχι μόνο τη σωστή επιλογή του κατάλληλου τύπου τροχιάς λαμβάνοντας υπόψη τις επικρατούσες σε κάθε περίπτωση συνθήκες, αλλά και την

κατά το δυνατόν τυποποίηση του απαραίτητου ειδικού μηχανολογικού εξοπλισμού και των βοηθητικών τεχνικών. Η διάτρηση κεκλιμένων γεωτρήσεων με εκτεταμένη οριζόντια μετατόπιση", όπως και ο όρος υπονοεί, αποτελεί τεχνική που εφαρμόζεται για να προσδώσει γρήγορα στη γεώτρηση μεγάλη κλίση (μεγαλύτερη από 60°-65°) και που επιτρέπει την επίτευξη μεγάλης "οριζόντιας μετατόπισης" για την προσέγγιση απομακρυσμένων "σχηματισμών στόχων". Η οριζόντια μετατόπιση μιας κεκλιμένης γεώτρησης κατά την οποία επιτυγχάνεται και η μέγιστη επιθυμητή γωνία κλίσης αποτελεί την ενεργή ακτίνα δράσης του γεωτρύπανου. Σύμφωνα με τον διεθνώς αποδεκτό ορισμό, μια κεκλιμένη γεώτρηση χαρακτηρίζεται ως εκτεταμένης μετατόπισης μόνο αν το "ολικό μετρούμενο βάθος" της είναι ίσο ή μεγαλύτερο τουλάχιστον κατά δύο φορές από το "πραγματικό κατακόρυφο βάθος" ενώ ως κεκλιμένες γεωτρήσεις υπέρ-εκτεταμένης οριζόντιας μετατόπισης (mega extended reach wells) χαρακτηρίζονται εκείνες που ο παραπάνω λόγος υπερβαίνει την τιμή 3/1. Με κριτήριο δε το επιτεύξιμο "πραγματικό κατακόρυφο βάθος" τους, οι κεκλιμένες γεωτρήσεις με εκτεταμένη οριζόντια μετατόπιση διακρίνονται σε " μικρού, μέσου ή μεγάλου βάθους" (shallow, medium, deep extended-reach wells).

Η οριζόντια διάτρηση αποτελεί μια "προχωρημένη" τεχνική για την όρυξη μεγάλου μήκους οριζοντίων ή σχεδόν οριζοντίων τμημάτων εντός ενός ή πολλών ταυτοχρόνως παραγωγικών σχηματισμών, με βασικό σκοπό την αύξηση της παραγωγικότητάς τους. Τα οριζόντια τμήματα, που στην ουσία αποτελούν μεγάλου μήκους και υψηλής διαπερατότητας αγωγούς, συμβάλλουν στην αύξηση της επιφάνειας προσβολής του κοιτάσματος και στην αύξηση της αντλητικής ικανότητας της γεώτρησης. Αυτό οφείλεται κυρίως στην επίτευξη αυξημένης επιφάνειας επαφής μεταξύ γεώτρησης και παραγωγικού σχηματισμού, σε σύγκριση με εκείνη μιας κατακόρυφης ή μιας κεκλιμένης γεώτρησης [13].

### 2.3.1 Γεωμετρικοί παράμετροι τροχιάς

Μια κεκλιμένη αλλά και μια συμβατική κατακόρυφη γεώτρηση σχεδόν ποτέ δεν διευθύνεται στον 2διάστατο χώρο, αλλά παρουσιάζει συνεχείς αλλαγές στον προσανατολισμό της τόσο κατά την οριζόντια όσο και κατά την κατακόρυφη διεύθυνση. Αυτό οφείλεται κύρια στις συχνές εναλλαγές των χαρακτηριστικών των πετρωμάτων που συναντά η γεώτρηση στην πορεία της, αλλά και στις τεχνικές προδιαγραφές και δυνατότητες που παρέχει ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός. Σαν συνέπεια, τόσο ο σχεδιασμός όσο και η θεώρηση της τροχιάς κρίνεται αναγκαίο να πραγματοποιούνται στον 3διάστατο χώρο. Η τροχιά που ακολουθεί μια κεκλιμένη οριζόντια γεώτρηση χαρακτηρίζεται στη γενική περίπτωση από τις παρακάτω παραμέτρους [13]:

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

*Γωνία Διεύθυνσης ή Αζιμούθιο (Direction Angle ή Azimuth):* Ορίζεται η γωνία μετρούμενη στο οριζόντιο επίπεδο μεταξύ της διεύθυνσης του Βορρά και της εφαπτομένης επί οποιουδήποτε σημείου της τροχιάς [13].

Ορίζονται ωστόσο η διεύθυνση του μαγνητικού Βορρά (με βάση το γήινο μαγνητικό πεδίο) και η διεύθυνση του γεωγραφικού Βορρά (με βάση τη θέση του Βόρειου πόλου), δυο διευθύνσεις που στην γενική περίπτωση δεν ταυτίζονται. Επειδή δε στην πράξη ο μαγνητικός Βορράς μετράται με τη χρήση πυξίδας, απαιτείται διόρθωση της τιμής αυτής ώστε να βρεθεί η γωνία διεύθυνσης ως προς τον γεωγραφικό - πραγματικό- Βορρά. Η τιμή της γωνίας διόρθωσης είναι ίση με τη γωνία μεταξύ του μαγνητικού και του γεωγραφικού Βορρά, (γνωστή ως "μαγνητική απόκλιση", magnetic declination ή declination angle). Όταν ο μαγνητικός Βορράς μετράται ανατολικά του γεωγραφικού, η τιμή της μαγνητικής απόκλισης πρέπει να προστίθεται στη μετρούμενη με την πυξίδα τιμή, ώστε να προκύπτει η πραγματική τιμή της γωνίας διεύθυνσης ως προς το γεωγραφικό Βορρά. Στην αντίθετη περίπτωση όπου υπάρχει μαγνητική απόκλιση προς τα δυτικά, η τιμή αυτή πρέπει να αφαιρείται από τη μετρούμενη τιμή της γωνίας διεύθυνσης.

Γωνιακές Συνθήκες (Angular Conditions). Ορίζεται το ζεύγος των επιθυμητών ή επιτεύξιμων γωνιών κλίσης και διεύθυνσης σε κάθε σημείο κατά μήκος της τροχιάς και εκφράζει με αναλυτικό τρόπο τον υφιστάμενο προσανατολισμό της γεώτρησης στο ίδιο σημείο. Ειδικότερα ο όρος "αρχικές γωνιακές συνθήκες" χρησιμοποιείται για να εκφράσει τις γωνιακές συνθήκες στο αρχικό σημείο παρέκκλισης. Ο όρος "τελικές γωνιακές συνθήκες" αφορά στις γωνιακές συνθήκες με τις οποίες προσεγγίζεται το τελικό "σημείο στόχος" όπου θα καταλήξει η γεώτρηση, ενώ ο όρος "ενδιάμεσες γωνιακές συνθήκες" για τις γωνιακές συνθήκες κατά την προσέγγιση οποιοδήποτε άλλου ενδιάμεσου σημείου στην πορεία της γεώτρησης.

*Πραγματικό Κατακόρυφο Βάθος (True Vertical Depth, TVD):* Ορίζεται η κατακόρυφη απόσταση κάθε σημείου της τροχιάς από την επιφάνεια.

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

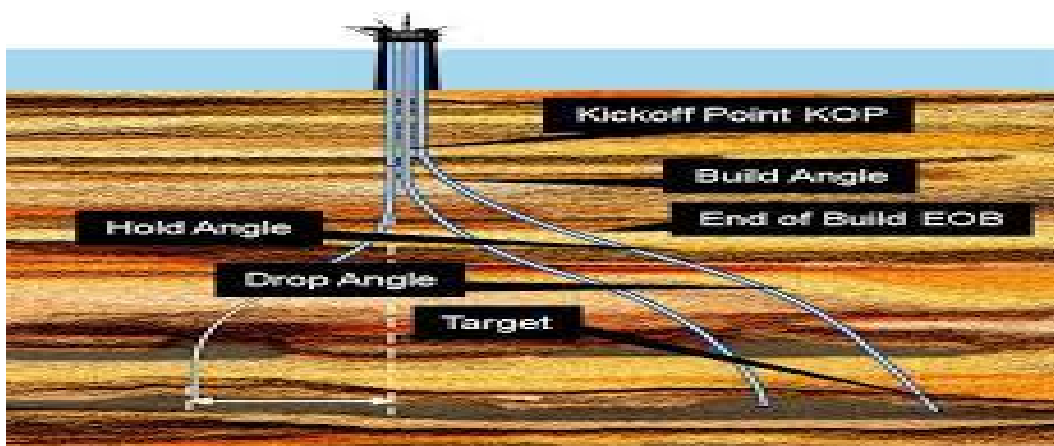
*Ολικό Μετρούμενο Βάθος (Measured Depth, MD):* Ορίζεται το ολικό διάστημα που ορύσσεται για την προσέγγιση του τελικού στόχου ή κάποιου ενδιάμεσου σημείου πάνω στην τροχιά της γεώτρησης.

Συντεταγμένες B-N και A-Δ (Coordinates N-S, E-W) ενός σημείου της τροχιάς. Ορίζονται οι αποστάσεις κάθε σημείου της τροχιάς (προβαλλομένου στο οριζόντιο επίπεδο), κατά τις διευθύνσεις B-N και A-Δ, από ένα καθορισμένο σημείο αναφοράς. Σαν τέτοιο επιλέγεται συνήθως η τομή των αξόνων B-N και A-Δ της μαγνητικής πυξίδας. Οι συντεταγμένες στην διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται και ως "northing" (Συντεταγμένη B-N) και "easting" (Συντεταγμένη A-Δ) [13].

*Σημείο "Kick-off" (kick-off point, KOP):* Ορίζεται το σημείο που βρίσκεται στο βάθος όπου αρχίζει η πρώτη παρέκκλιση της γεώτρησης από την κατακόρυφη διεύθυνση (εικόνα 2.16).

**Σταθμός (Survey Station):** Ορίζεται κάθε σημείο της τροχιάς, όπου εκτελούνται μετρήσεις με σκοπό τον έλεγχο της πορείας της γεώτρησης (εικόνα 2.16).

**Στόχος (Target, Target point ή Objective):** Ορίζεται ο γεωλογικός σχηματισμός που αποτελεί τη ζώνη ενδιαφέροντος του εκάστοτε προγράμματος διάτρησης. Ο ίδιος όρος χρησιμοποιείται ακόμα είτε αναφερόμαστε σε δεδομένο σημείο σημειακός στόχος που είναι το προκαθορισμένο σημείο όπου θα καταλήξει η γεώτρηση εντός του παραγωγικού σχηματισμού, είτε σε τμήμα του παραγωγικού σχηματισμού καθορισμένων διαστάσεων στον χώρο. Επιπρόσθετα ο όρος "ενδιάμεσος στόχος", χαρακτηρίζει οποιοδήποτε γεωλογικό σχηματισμό ή σημείο εντός του γεωλογικού υποβάθρου που η γεώτρηση οφείλει να προσεγγίσει ή να αποφύγει, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις του εκάστοτε γεωτρητικού έργου. (εικόνα 2.16)



**Εικόνα 2.16:** Ονομασία σημείων στην κεκλιμένη γεώτρηση [17].

**Γωνία (Dog-leg):** Ορίζεται κάθε απότομη αλλαγή στην πορεία της γεώτρησης μεταξύ δύο σημείων-σταθμών, η οποία οφείλεται είτε σε αλλαγή της γωνίας κλίσης (αλλαγή πορείας στο κατακόρυφο επίπεδο), είτε σε αλλαγή της γωνίας διεύθυνσης (αλλαγή πορείας στο οριζόντιο επίπεδο), είτε σε ταυτόχρονη αλλαγή των δύο γωνιών (αλλαγή πορείας στον 3 διάστατο χώρο).

**Ρυθμός Build-up (Build-up rate):** Ορίζεται ο ρυθμός αύξησης της Γωνίας Κλίσης, εκφρασμένος σε deg ανά δεδομένο διατρηθέν μήκος τμήματος (συνήθως ανά 100 ft ή 30 m).

**Ρυθμός Drop-off (Drop-off rate):** Ορίζεται ο ρυθμός μείωσης της Γωνίας Κλίσης εκφρασμένος σε deg ανά δεδομένο διατρηθέν μήκος τμήματος (συνήθως ανά 100 ft ή 30 m).

**Ρυθμός μεταβολής της Γωνίας Διεύθυνσης (Turn rate):** Ορίζεται ο λόγος της μεταβολής της γωνίας διεύθυνσης προς καθορισμένο μήκος διατρηθέντος τμήματος (συνήθως ανά 100 ft ή 30 m).

Σε ορισμένες περιπτώσεις το μήκος αυτό δεν είναι το πραγματικό -δηλαδή το ολικό μετρούμενο μήκος τροχιάς αλλά η προβολή αυτού του μήκους στο οριζόντιο επίπεδο. Πρόκειται δηλαδή για 100 ft ή 30 m μήκους μετρούμενου πάνω στην οριζόντια προβολή της τροχιάς.

*Τμήμα "Build-up" (Build-up section):* Ορίζεται κάθε καμπυλόγραμμο τμήμα της τροχιάς κατά το οποίο η γωνία κλίσης συνεχώς αυξάνεται έως τη μέγιστη επιθυμητή τιμή.

*Εφαπτομενικό τμήμα (Tangent ή Straight ή Hold section):* Ορίζεται το τμήμα που ακολουθεί διεύθυνση εφαπτομενική σε κάποιο σημείο του καμπυλόγραμμου τμήματος και κατά μήκος του οποίου οι γωνίες κλίσης και διεύθυνσης παραμένουν σταθερές και ίσες με τις αντίστοιχες παραμέτρους του κοινού σημείου επαφής μεταξύ των δύο τμημάτων [13].

*Τμήμα "Drop-off" (Drop-off section):* Ορίζεται το τμήμα που συνήθως ακολουθεί το εφαπτομενικό τμήμα, κατά μήκος του οποίου η γωνία κλίσης σταδιακά ελαττώνεται έως ότου προσεγγιστεί η επιθυμητή τιμή, κατά την επαφή ή τη διέλευση της γεώτρησης διαμέσου του στόχου.

*Βασικά σημεία (Critical points) τροχιάς:* Ορίζεται κάθε σημείο πάνω στην τροχιά που αποτελεί αφετηρία ή κατάληξη ενός τμήματος δεδομένου τύπου, όπως είναι το βασικό σημείο ebu (end-of build-up point), ή το βασικό σημείο sdo (start-of drop-off point), σημείο όπου τελειώνει το τμήμα αύξησης και σημείο όπου αρχίζει το τμήμα μείωσης της καμπυλότητας αντίστοιχα.

*Γωνία προσανατολισμού (Tool-face orientation angle):* Πρόκειται για μέγεθος που προκύπτει από το συνδυασμό των επιτευξίμων γωνιακών συνθηκών σε κάθε σημείο της γεώτρησης, εκφράζει τον προσανατολισμό της στην ίδια θέση και μετράται σε κλίμακα από 0°-90° ή από 90°-0° προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά του υφιστάμενου προσανατολισμού.

### 2.3.2 Βασικοί τύποι τροχιάς- καμπύλης διαδρομής

Αν και κατά το στάδιο του αρχικού σχεδιασμού διερευνούνται και αξιολογούνται όλες οι πιθανά αποδεκτές μορφές της τροχιάς ( η γενική μορφή περιλαμβάνει συνήθως κάποιο συνδυασμό μεταξύ καμπυλόγραμμων και εφαπτομενικών τμημάτων ανάλογα και με τις ειδικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περίπτωση), τρεις κυρίως είναι οι βασικοί τύποι τροχιάς που εφαρμόζονται στην πράξη:

- Τροχιά ευθείας παρέκκλισης (slant type ή build-and-sail type ή build-and-hold type). Μετά την αρχική παρέκκλιση στο σημείο kick-off -το οποίο συνήθως τοποθετείται σε μικρό βάθος, ακολουθεί τμήμα αύξησης της γωνίας κλίσης (build-up τμήμα) έως ότου επιτευχθεί η μέγιστη επιθυμητή τιμή. Η τιμή αυτή διατηρείται σταθερή κατά το ακόλουθο εφαπτομενικό τμήμα, ώσπου να

προσεγγιστεί ο στόχος της γεώτρησης. Η βασική γεωμετρική μορφή της τροχιάς αποτελείται κατά σειρά ξεκινώντας από την επιφάνεια, από τα παρακάτω τμήματα:

- κατακόρυφο τμήμα, τμήμα αύξησης της καμπυλότητας,
- εφαπτομενικό τμήμα.
- Τροχιά τύπου S (S-type ή build-sail and drop type ή build-hold and drop type). Η γεώτρηση συνήθως παρεκκλίνει από την κατακόρυφη διεύθυνση σε μικρό βάθος και ακολουθεί τμήμα αύξησης της γωνίας κλίσης (build-up τμήμα) ως την επιθυμητή μέγιστη τιμή. Η τιμή αυτή διατηρείται σταθερή κατά το επόμενο εφαπτομενικό τμήμα και στη συνέχεια μειώνεται βαθμιαία ( τμήμα drop-off) ώστε η τροχιά να επιστρέψει στην κατακόρυφη διεύθυνση. Η βασική γεωμετρική μορφή της τροχιάς αποτελείται κατά σειρά ξεκινώντας από την επιφάνεια, από τα παρακάτω τμήματα: κατακόρυφο τμήμα, τμήμα αύξησης της καμπυλότητας [13].
- ενδιάμεσο εφαπτομενικό τμήμα, τμήμα μείωσης της καμπυλότητας, τελικό εφαπτομενικό τμήμα.
- Τροχιά τύπου J ή τύπου L (J-type ή L-type). Μοιάζει με τον τύπο τροχιάς ευθείας παρέκκλισης, μόνο που η παρέκκλιση της γεώτρησης πραγματοποιείται συνήθως σε πολύ μεγαλύτερο βάθος.

Μετά το καμπυλόγραμμο τμήμα αύξησης της γωνίας κλίσης, ακολουθεί το ευθύγραμμο ή εφαπτομενικό τμήμα υπό οριζόντια ή σχεδόν οριζόντια διεύθυνση και με μεταβλητό ανάλογα με την περίπτωση μήκος έως το στόχο. Η βασική γεωμετρική μορφή της τροχιάς αποτελείται κατά σειρά ξεκινώντας από την επιφάνεια, από τα παρακάτω τμήματα: κατακόρυφο τμήμα, τμήμα αύξησης της καμπυλότητας, εφαπτομενικό τμήμα.

### 2.3.3 Εφαρμογές

Αν και στις περισσότερες των περιπτώσεων η κατευθυνόμενη διάτρηση εφαρμόζεται για την όρυξη γεωτρήσεων παραγωγής, εντούτοις δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις όπου κεκλιμένες ή οριζόντιες γεωτρήσεις ορύσσονται για να χρησιμοποιηθούν ως όργανα συλλογής πληροφοριών κατά τη φάση της έρευνας. Επιπρόσθετα, τυγχάνουν εφαρμογής και σε μια σειρά ειδικών περιπτώσεων, που αν και όχι τόσο συνηθισμένες δεν πρέπει ωστόσο να αγνοηθούν [13]. Οι βασικές περιπτώσεις εφαρμογής των κεκλιμένων-οριζοντίων γεωτρήσεων εξετάζονται στη συνέχεια.

- ü Ανάπτυξη υποθαλάσσιων κοιτασμάτων .Αποτελεί ίσως την πλέον συνηθισμένη περίπτωση όρυξης κεκλιμένων γεωτρήσεων. Από ένα σημείο, που μπορεί να ανήκει σε μία πλωτή εξέδρα, ξεκινά ένας μεγάλος αριθμός κεκλιμένων γεωτρήσεων με σκοπό την πλήρη κάλυψη του υποθαλασσίου κοιτάσματος (αναφέρονται περιπτώσεις εξεδρών στην Β. Θάλασσα από τις οποίες έχουν ορυχθεί έως και 60 γεωτρήσεις). Με την εφαρμογή αυτής της τεχνικής, γνωστής διεθνώς με τον όρο "ανάπτυξη κοιτασμάτων με πολλαπλές γεωτρήσεις" (multiwell development), μειώνεται δραστικά το υψηλό

κόστος διάτρησης μεγάλου αριθμού γεωτρήσεων που απαιτείται για την ανάπτυξη ενός σημαντικού αριθμού υποθαλάσσιων κοιτασμάτων μεγάλων κατά κανόνα διαστάσεων- τα οποία σε περίπτωση εφαρμογής της συμβατικής τεχνικής θα χαρακτηρίζονταν ως "οικονομικά μη εκμεταλλεύσιμα".

- ü Κοιτάσματα σε δυσπρόσιτες περιοχές ή περιοχές όπου υφίστανται ειδικοί περιορισμοί. Πολλές φορές η εγκατάσταση του γεωτρύπανου ακριβώς πάνω από τον προκαθορισμένο "σχηματισμό στόχο" είναι δυσχερής ή και αδύνατη, ενώ η τοποθέτησή του σε κάποια λογική απόσταση αποτελεί μια πρόσφορη εναλλακτική λύση. Έτσι η όρυξη κεκλιμένων-οριζοντίων γεωτρήσεων αποτελεί τη μόνη λύση σε περιπτώσεις δομών που βρίσκονται κάτω από στρώματα πάγων στις αρκτικές περιοχές, κάτω από λίμνες, από όχθες ή εκβολές ποταμών, κάτω από ανώμαλο τοπογραφικό ανάγλυφο (λόφους, βουνά κ.λπ.), ή κάτω από πυκνοκατοικημένες περιοχές. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και στις περιοχές όπου υφίστανται ειδικοί περιορισμοί ως προς τη διατρητική δραστηριότητα ( δρόμους διεθνών θαλασσίων μεταφορών, σιδηροδρομικές αρτηρίες, όρια αλλαγής ιδιοκτησιακών στοιχείων μεταξύ διαφόρων φορέων έρευνας ή εκμετάλλευσης), ή ακόμα σε περιοχές όπου υφίστανται ειδικοί περιορισμοί όσον αφορά στην εγκατάσταση και λειτουργία εξέδρων (όπως για παράδειγμα λόγω τουριστικής ανάπτυξης ή λόγω προστασίας του περιβάλλοντος).
- ü Διάτρηση γύρω από δόμο άλατος. Στην περιοχή γύρω από έναν δόμο άλατος δημιουργούνται γεωλογικές δομές ενδιαφέροντος, καθώς υλικό διαπυρισμού διεισδύει και παραμορφώνει τα υπερκείμενα του δόμου ιζήματα. Κοιτάσματα πετρελαίου που εντοπίζονται στις πλευρές ή κάτω από δόμο άλατος, προσεγγίζονται επιτυχώς με κεκλιμένες γεωτρήσεις με σκοπό την παράκαμψη του δόμου, καθώς η διάτρηση μέσω αυτού ενέχει σοβαρά τεχνικά προβλήματα [13].
- ü Περιπτώσεις ατυχημάτων κατά τη διάτρηση. Κατά την προχώρηση μιας γεώτρησης είναι πιθανόν να συμβούν ατυχήματα όπως, αποκοχλίωση, θραύση, μερική ή ολική ενσφήνωση της διατρητικής στήλης, ολίσθηση τμημάτων της σωλήνωσης καθώς και πτώσεις σιδηρών εργαλείων μέσα στο πηγάδι. Αν η εργασία αντιμετώπισης των προβλημάτων αυτών (αλίευση) αποτύχει, τμήματα του εξοπλισμού παραμένουν αναγκαστικά μέσα στη γεώτρηση, καθιστώντας αδύνατη τη συνέχιση της διάτρησης. Στις περιπτώσεις αυτές, η αντιμετώπιση είναι η αλλαγή της πορείας της γεώτρησης πάνω από το σημείο όπου έχει παρουσιαστεί το πρόβλημα, με διάτρηση υπό κλίση (γνωστή με τον όρο "πλευρική όρυξη" sidetracking) [13].
- ü Διάτρηση υπό εξαιρετικά δυσμενείς συνθήκες. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η συνέχιση της διάτρησης καθίσταται δύσκολη ή και αδύνατη. Για παράδειγμα, γεώτρηση που συναντά στην πορεία της ρήγμα είναι ιδιαίτερα ασταθής. Για να

αποφευχθούν οι κίνδυνοι αυτοί, ενδείκνυται η όρυξη κεκλιμένης γεώτρησης που παρεκκλίνει με στόχο είτε να αποφύγει, είτε να περάσει κάθετα μέσα από το ρήγμα. Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις όπου απαιτείται η αχρήστευση μιας εξαιρετικά προβληματικής γεώτρησης ( π.χ. ανάφλεξη, ανεξέλεγκτη εισροή ρευστών). Για τον σκοπό αυτό, από επιφανειακό σημείο σε κάποια απόσταση από την προβληματική γεώτρηση ορύσσεται άλλη κεκλιμένη βοηθητική γεώτρηση (relief well), που τέμνει την πρώτη σε προκαθορισμένο σημείο και χρησιμοποιείται για τη διοχέτευση υλικών πλήρωσης όπως, υψηλής πυκνότητας λάσπη ή γαλάκτωμα τσιμέντου.

ü Έρευνα περιοχών ευρείας έκτασης. Κατά τη φάση της διεξαγωγής ερευνητικών γεωτρήσεων σε περιοχές μεγάλης έκτασης, συχνά κρίνεται πιο οικονομική η όρυξη πολλαπλών κεκλιμένων τμημάτων με αφετηρία μια κατακόρυφη γεώτρηση παρά η διάτρηση πολλών κατακόρυφων γεωτρήσεων. Αξίζει δε να αναφερθεί ότι σήμερα με τη ραγδαία εξέλιξη της οριζόντιας διάτρησης, η όρυξη μιας οριζόντιας γεώτρησης εντός του υπό έρευνα γεωλογικού υποβάθρου θεωρείται παρά το υψηλότερο κόστος διάτρησης σε σχέση με τη συμβατική τεχνική εξαιρετικά αποτελεσματική για τη συλλογή πληροφοριών όσον αφορά στα χαρακτηριστικά του ευρύτερου γεωλογικού χώρου, αλλά και του σχηματισμού ή των σχηματισμών ενδιαφέροντος προς όλες τις διευθύνσεις ανάπτυξής του(ς) στο χώρο [13].

ü Ανάπτυξη "οριακών" ή "φτωχών" κοιτασμάτων με στόχο την αύξηση της παραγωγικότητας και του τελικού ποσοστού απόληψής τους. Η επιλεκτική εφαρμογή της όρυξης κεκλιμένων γεωτρήσεων υπό κλίση μεγαλύτερη των 65° και οριζοντίων γεωτρήσεων μικρού, μέσου ή μεγάλου τόξου καμπυλότητας σε περιπτώσεις που παρουσιάζουν ευνοϊκά χαρακτηριστικά, έχει επανειλημμένα αποδειχθεί στην πράξη ότι έχει εξαιρετικά θετικές επιπτώσεις στο κόστος της παραγωγής. Αναφέρονται προγράμματα όρυξης ενός ή πολλών οριζοντίων (με κλίση μεγαλύτερη από 86°) καναλιών αποστράγγισης (drainholes) από τον πυθμένα ή από διαφορετικά καθ' ύψος σημεία μιας κατακόρυφης ή μιας κεκλιμένης γεώτρησης με σκοπό την ανάπτυξη:

- φυσικά ρωγματομένων ζωνών με συστήματα ρωγμάτωσης κατακόρυφης ή ακανόνιστης διεύθυνσης,
- αβαθών συγκεντρώσεων πετρελαίου με εκτεταμένη οριζόντια ανάπτυξη,
- μικρού πάχους και μικρής διαπερατότητας κοιτασμάτων που έχουν ιδιαίτερα χαμηλή παραγωγικότητα.

Προγράμματα όρυξης οριζοντίων γεωτρήσεων έχουν με επιτυχία εφαρμοσθεί και σε συνδυασμό με μεθόδους τριτογενούς παραγωγής, επερίπτωση αν πτυξης κοιτασμάτων του υδροφόρου στρώματος ή υπόκεινται σε αέριο καλύμμα ή βρίσκονται μεταξύ αερίου καλύμματος και υδροφόρου στρώματος. Ο στόχος είναι η



αποτελεσματική αντιμετώπιση της πρόωρης εμφάνισης αερίου ή νερού στον πυθμένα της γεώτρησης ή η υπερπίεση υπέρθερμου ατμού ή θερμού νερού, με σκοπό την προώθηση μεγαλύτερου όγκου πετρελαίου προς τις παραγωγικές γεωτρήσεις.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

## 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε τον μηχανολογικό εξοπλισμό που χρειαζόμαστε για να εκτελέσουμε μια γεώτρηση αλλά και τις κατηγορίες τους, επίσης θα περιγράψουμε τους τύπους γεωτρυπάνων και τα κοπτικά άκρα.

## 3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΓΕΩΤΡΥΠΑΝΩΝ

Τα γεωτρύπανα ανάλογα με τον τρόπο που επιτυγχάνουν την αποσύνδεση (θραύση - θρυμματισμό) των πετρωμάτων διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες [8]:

1. Κρουστικά γεωτρύπανα
2. Περιστροφικά γεωτρύπανα
3. Γεωτρύπανα θερμικής διάτρησης.

Η ανάγκη προσαρμογής των παραπάνω γεωτρυπάνων, στις συνθήκες του υπό διάτρηση εδάφους και υπεδάφους, στο είδος της έρευνας, στις απαιτήσεις της δειγματοληψίας και στο προβλεπόμενο βάθος και διάμετρο της γεώτρησης, οδήγησε στην κατασκευή διαφόρων τύπων γεωτρυπάνων, από τους οποίους οι κυριότεροι και πιο διαδεδομένοι είναι:

- 1. Κρουστικά γεωτρύπανα (Percussive Drills)
  - 1α. Κρουστικό γεωτρύπανο με άκαμπτη στήλη (Wagon Drill, Down the Hole ή Hammer Drill)
  - 1β. Κρουστικό γεωτρύπανο με συρματόσχοινο (Cable ή Churn Drill)
- 2. Περιστροφικά γεωτρύπανα (Rotary Drills)
  - 2α. Αδαμαντογεωτρύπανο (Diamond Drill)
  - 2β. Γεωτρύπανο περιστρεφόμενης κεφαλής (Rotary Head Drill)
  - 2γ. Γεωτρύπανο περιστρεφόμενης τράπεζας (για πετρέλαια και υδρογεωτρήσεις) (Water Drills ή Rigs)
  - 2δ. Γεωτρύπανο προσχώσεων (Auger Drill)
  - 2ε. Ειδικά γεωτρύπανα μεγάλης διαμέτρου (Boring Machines)

Ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς τους τα γεωτρύπανα διακρίνονται σε

1. Τροχοφόρα

2. Ερπυστριοφόρα αυτοκινούμενα
3. Τροχοφόρα αυτοκινούμενα
4. Τροχοφόρα ρυμουλκούμενα
5. Συρόμενα επί ελκύθρου
6. Πλωτά γεωτρύπανα.

Επισημαίνεται ότι ο παραπάνω διαχωρισμός είναι καθαρά περιγραφικός αφού κατασκευαστικά είναι δυνατή η μετατροπή ενός τύπου γεωτρύπανου σε ένα άλλο με τη βοήθεια κατάλληλων προσαρμογών κυρίως στη διατρητική στήλη. Έτσι με αντικατάσταση της διατρητικής στήλης του διαμαντογεωτρύπανου με στήλη ελικοειδών στελεχών και κατάλληλου κοπτικού άκρου, αυτό μετατρέπεται σε γεωτρύπανο προσχώσεων. Εάν το γεωτρύπανο περιστρεφόμενης κεφαλής εφοδιασθεί με αεροσυμπιεστή και ειδικά στελέχη μετατρέπεται σε κρουστικό γεωτρύπανο άκαμπτης στήλης. Στα περιστροφικά γεωτρύπανα η αποσύνδεση (θραύση, θρυμματισμός) του πετρώματος επιτυγχάνεται με ταυτόχρονη πίεση και περιστροφή επί του πετρώματος του κοπτικού άκρου, το οποίο φέρει στην επιφάνειά του ακμές από σκληρό χάλυβα, σκληρό μέταλλο, ή βιομηχανικά διαμάντια. Ανάλογα με τη μορφή της κοπτικής επιφάνειας το πέτρωμα είτε θρυμματίζεται πλήρως είτε λαμβάνεται με τη μορφή κυλίνδρου (δείγμα πυρήνα). Στα κρουστικά γεωτρύπανα η αποσύνδεση (θραύση, θρυμματισμός) του πετρώματος επιτυγχάνεται με αλληπάλληλες κρούσεις του κοπτικού άκρου επ' αυτού. Ως εκ τούτου η αποσύνδεση είναι πλήρης και το δείγμα που λαμβάνεται αποτελείται από τρίμματα. Για το λόγο αυτό το κρουστικό γεωτρύπανο σε ελάχιστες περιπτώσεις χρησιμοποιείται για δειγματοληψία [10].

Τα βασικά μέρη ενός περιστροφικού γεωτρύπανου είναι τα εξής:

1. Το πλαίσιο στήριξης
2. Ο πύργος, ή ιστός, ή ικρίωμα, ή μπίγα, ή γάβρια
3. Το σύστημα παραγωγής, μετάδοσης και μετατροπής των κινήσεων από τον οποίο παίρνουν κίνηση οι διάφοροι κύριοι και βοηθητικοί μηχανισμοί
4. Η διατρητική κεφαλή(Drill Head), η οποία εξασφαλίζει την περιστροφή και την ταυτόχρονη προώθηση της διατρητικής στήλης
5. Το κύριο βαρούλκο με το οποίο επιτυγχάνεται το ανέβασμα και κατέβασμα της διατρητικής στήλης
6. Το βοηθητικό ή βοηθητικά βαρούλκο
7. Η πηλαντλία
8. Ο αεροσυμπιεστής.

Επισημαίνεται ότι σε πολλές περιπτώσεις η πηλαντλία και ο αεροσυμπιεστής είναι παρελκόμενα και δεν είναι προσαρτημένα στο γεωτρύπανο.

- *Γεωτρητικός ή διατρητικός εξοπλισμός*

Με τον όρο γεωτρητικός ή διατρητικός εξοπλισμός, εννοείται όλος ο υπόλοιπος εξοπλισμός εκτός από το γεωτρήπανο, που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και απαιτείται για την κανονική εκτέλεση μιας γεώτρησης. Ο γεωτρητικός εξοπλισμός διακρίνεται σε κύριο και βοηθητικό.

Στον κύριο εξοπλισμό συγκαταλέγονται:

- Το κοπτικό άκρο
- Η διατρητική στήλη
- Το σύστημα καθαρισμού της γεώτρησης από τα τρίμματα.

Στο βοηθητικό εξοπλισμό συγκαταλέγονται:

- Οι σωλήνες επένδυσης των γεωτρήσεων
- Τα αλιευτικά εργαλεία
- Διάφορα εξαρτήματα και εργαλεία (κοτσαδόρος, ποδόφρενο, κ.λ.π.)
- *επιλογή κατάλληλου γεωτρυπάνου και γεωτρητικού εξοπλισμού*

Η επιλογή του κατάλληλου γεωτρυπάνου (μέγεθος, ιπποδύναμη κινητήρα, πηλαντλία, κ.λ.π.) και γεωτρητικού εξοπλισμού (κατάλληλο κοπτικό, διάμετρος στελεχών, κ.λ.π.) για την εκτέλεση μιας γεώτρησης με το μικρότερο δυνατό κόστος είναι συνάρτηση των παρακάτω παραγόντων [13]:

1. Του σκοπού για τον οποίο γίνεται η γεώτρηση (δειγματοληψίας, υδρογεώτρηση, διάτρημα, κ.λ.π.)
2. Της τοποθεσίας που θα γίνει η γεώτρηση
3. Της φύσης και σκληρότητας των πετρωμάτων που θα διατρηθούν (χαλαρά, συνεκτικά, μαλακά, ημίσκληρα, σκληρά, κ.λ.π.)
4. Του βάθους της γεώτρησης
5. Της διαμέτρου της γεώτρησης.

- *αδαμαντογεωτρήπανο (διαμαντογεωτρήπανο)*

Για κοιτασματολογικούς σκοπούς το πλέον χρησιμοποιούμενο σήμερα γεωτρήπανο είναι το αδαμαντογεωτρήπανο (διαμαντογεωτρήπανο). Το αδαμαντογεωτρήπανο όπως έχει προαναφερθεί, είναι περιστροφικό γεωτρήπανο, το οποίο κατάλληλα προσαρμοσμένο για τους σκοπούς της μεταλλευτικής και γεωτεχνικής έρευνας μπορεί με κατάλληλο εξοπλισμό να πάρει από το πέτρωμα δείγμα υπό μορφή πυρήνα [12].

Το πρώτο συνθετικό της λέξης προέρχεται από το γεγονός ότι το κοπτικό άκρο αποτελείται από μία κυκλική στεφάνη η οποία φέρει εμφυτευμένα μικρά βιομηχανικά διαμάντια, με τα οποία `κόβει` το πέτρωμα. Επισημαίνεται ότι το κοπτικό αυτό άκρο αποτελεί το κυριότερο και πιο ευαίσθητο εξάρτημα του γεωτρύπανου. Το διαμαντογεωτρύπανο κατασκευάζεται σε πολλούς τύπους και μεγέθη. Για το λόγο αυτό δεν υπάρχουν σαφή όρια κατάταξης σε μεγέθη. Σε γενικές γραμμές μικρού μεγέθους διαμαντογεωτρύπανα θεωρούνται αυτά που έχουν ικανότητα διάτρησης μέχρι βάθους 300 m, μεσαίου μεγέθους μέχρι 1000 m και μεγάλου μεγέθους ή βαρέα αυτά που έχουν ικανότητα διάτρησης σε βάθη μεγαλύτερα των 1000 m. Ανεξάρτητα από τον τύπο και το μέγεθος, το διαμαντογεωτρύπανο σε γενικές γραμμές αποτελείται από ένα χαλύβδινο πλαίσιο στήριξης επί του οποίου είναι τοποθετημένα η μονάδα παραγωγής ενέργειας και οι διάφοροι μηχανισμοί μετάδοσης και μετατροπής της παραγόμενης κίνησης με τους οποίους εκτελούνται οι κύριοι χειρισμοί, όπως η περιστροφή και η προώθηση της διατρητικής στήλης και οι βοηθητικοί χειρισμοί, όπως το κατέβασμα και ανέβασμα της διατρητικής στήλης, της στήλης των σωλήνων κ.λ.π [12].

#### · Το πλαίσιο στήριξης

Το πλαίσιο στήριξης του γεωτρύπανου αποτελείται συνήθως από ηλεκτροσυγκολλημένες μεταξύ τους χαλύβδινες δοκούς. Αυτός ο τύπος πλαισίου χρησιμοποιείται κυρίως στα μεσαίου και μεγάλου μεγέθους γεωτρύπανα και είναι τοποθετημένος σε έλκυθρο για διευκόλυνση της μεταφοράς του γεωτρύπανου από θέση σε θέση. Στα μικρά γεωτρύπανα χρησιμοποιούνται συνήθως οι τύποι πλαισίων β και γ και σπανίως ο τύπος α. Για γεωτρήσεις από την επιφάνεια χρησιμοποιείται συνήθως ο τύπος πλαισίου β, ενώ στις γεωτρήσεις εντός των υπογείων, όταν το ύψος της στοάς δεν υπερβαίνει τα 3 m χρησιμοποιείται ο τύπος γ, ο οποίος αποτελείται από ζεύγος κοχλιωτών ή υδραυλικών υποστηριγμάτων, τα οποία στηρίζονται στην οροφή και το δάπεδο της στοάς. Τα γεωτρύπανα που φέρονται επί αυτοκινήτων, τοποθετούνται απευθείας ή μέσω ζεύγους δοκών επί του πηγήματος, χωρίς την παρεμβολή πλαισίου [13].

#### · ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ- ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ - ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ

Η απαιτούμενη ενέργεια για την κίνηση των διαφόρων μηχανισμών του γεωτρύπανου παρέχεται από ένα κεντρικό πετρελαιοκινητήρα, ο οποίος είναι τοποθετημένος επάνω σε χαλύβδινο πλαίσιο. Η προτίμηση σ' αυτόν τον τύπο κινητήρα γίνεται για λόγους οικονομίας καυσίμου. Κατ' εξαίρεση, για ορισμένα μικρά γεωτρύπανα (4-8 ίππων), των οποίων το βάρος παίζει καθοριστικό ρόλο για τη μεταφορά σε ανώμαλα εδάφη, προτιμάται ο βενζινοκινητήρας. Στις γεωτρήσεις των

υπογείων, όπου οι συνθήκες αερισμού δεν επιτρέπουν τη χρήση κινητήρων εσωτερικής καύσης, τα μικρά και μεσαίου μεγέθους γεωτρήσιμα προσφέρονται από τους κατασκευαστές με ηλεκτροκινητήρα ή κινητήρα πεπιεσμένου αέρα [13].

**Μηχανισμός μετάδοσης περιστροφικής κίνησης στην άτρακτο:** Η περιστροφή της ατράκτου επιτυγχάνεται με σύστημα γωνιακής μετάδοσης, το οποίο αποτελείται από εμπλεκόμενους, κατά την κατακόρυφο και οριζόντια, κωνικούς οδοντωτούς τροχούς.

**Μηχανισμός προώθησης της ατράκτου:** Η ταυτόχρονη με την περιστροφή προώθηση της ατράκτου επιτυγχάνεται με ανεξάρτητο υδραυλικό ή μηχανικό σύστημα τύπου κοχλία.

**Μηχανισμός περιστροφής του κύριου βαρούλκου:** Η περιστροφή του κύριου βαρούλκου επί του οποίου περιτυλίγεται το συρματόσχοινο, επιτυγχάνεται με σύστημα πλανητών. Με ακινητοποίηση μέσω κατάλληλου μοχλού της πλανητοφόρας στεφάνης, μεταδίδεται η κίνηση στο τύμπανο του βαρούλκου. Η πέδηση του βαρούλκου επιτυγχάνεται μηχανικά μέσω άλλης στεφάνης του τυμπάνου και ταυτόχρονης απελευθέρωσης του πλανητικού συστήματος.

- *διατρητική κεφαλή*

Επί της διατρητικής κεφαλής ευρίσκεται η άτρακτος (spindle) του γεωτρυπάνου, η οποία αποτελείται από μια μεγάλης αντοχής χαλύβδινη δοκό μήκους 1-1,5 m, διάτρητη κατά τον επιμήκη άξονα ώστε να διέρχεται δια μέσου αυτής η διατρητική στήλη. Στο κάτω άκρο της και σπανιότερα στο επάνω, η άτρακτος καταλήγει στην κεφαλή, η οποία φέρει σιαγόνες, ρυθμιζόμενες μηχανικά ή υδραυλικά με τρεις ή τέσσερις κοχλίες με τους οποίους επιτυγχάνεται ισχυρή σύσφιξη της ατράκτου με τη διατρητική στήλη.

- *διατρητική στήλη*

Αποτελεί μια άκαμπτη χαλύβδινη στήλη, η οποία σχηματίζεται με την πρόοδο της γεώτρησης με αλληλοκοχλίωση ειδικών σωλήνων, οι οποίοι καλούνται στελέχη. Μέσω της διατρητικής στήλης μεταφέρεται η απαιτούμενη περιστροφική κίνηση καθώς και η πιέζουσα δύναμη στο κοπτικό άκρο, το οποίο βρίσκεται στερεωμένο στο κάτω άκρο αυτής. Ταυτόχρονα, από το εσωτερικό της στήλης διοχετεύεται νερό υπό πίεση για την ψύξη του κοπτικού άκρου και την απομάκρυνση των τριμμάτων (μπάζων) της γεώτρησης. Το νερό αυτό αφού περάσει από τη στήλη και το κοπτικό άκρο, επανέρχεται στην επιφάνεια μέσα από το χώρο ανάμεσα στη στήλη και τα τοιχώματα της γεώτρησης συμπαρασύροντας προς τα πάνω τα τρίμματα (μπάζα), λιπαίνοντας παράλληλα τα τοιχώματα της γεώτρησης [15]. Τα επί μέρους εξαρτήματα συνδέονται μεταξύ τους είτε απευθείας με κοχλίες, είτε μέσω συνδέσμων ή συστολών εφόσον διαφέρουν κατά τη διάμετρο και εκ των κάτω προς τα πάνω είναι:

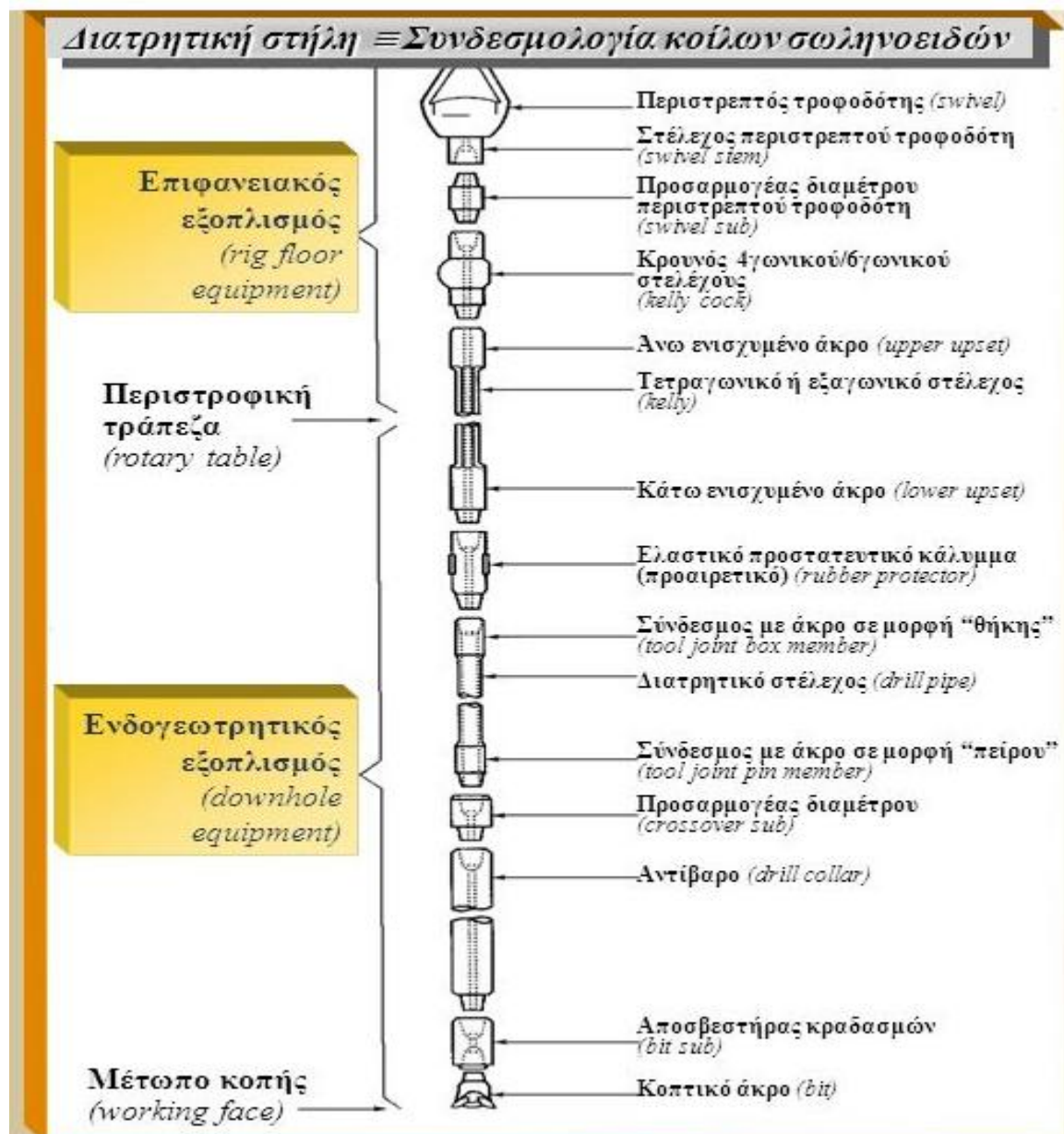
1. Το κοπτικό άκρο, κοινώς κορώνα (bit), μέσα στο οποίο τοποθετείται το ελατήριο θραύσης και συγκράτησης του δείγματος (core lifter)
2. Ο περικοπτήρας ή διευρυντήρας (reaming shell)
3. Τα στελέχη της διάτρησης (drilling rods)
4. Ο περιστρεπτός τροφοδότης νερού (water swivel) Ο τελευταίος βιδώνεται στην κορυφή του εκάστοτε ακραίου διατρητικού στελέχους και μέσω αυτού εξασφαλίζεται η διοχέτευση υπό πίεση νερού, πολφού, ή αέρα προς τον πυθμένα της γεώτρησης.

Κατά το κατέβασμα ή το ανέβασμα της διατρητικής στήλης στη θέση του περιστρεπτού τροφοδότη νερού τοποθετείται ο περιστρεπτός ανυψωτήρας (hoisting swivel), από τον οποίο κρέμεται η διατρητική στήλη μέσω του συρματόσχοινου του βαρούλκου.

Στη γεωτεχνική έρευνα όπου χρησιμοποιούνται ειδικοί δειγματολήπτες, αυτοί συνδέονται απευθείας στο κοπτικό άκρο χωρίς την παρεμβολή περικοπτήρα. Η επιμήκυνση της διατρητικής στήλης επιτυγχάνεται με διακοπή της γεώτρησης για λίγο χρόνο και σύνδεση στην κορυφή της διατρητικής στήλης νέου διατρητικού στελέχους [13].

### **3.3 ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΗΣ ΣΤΗΛΗΣ**

Η διατρητική στήλη είναι μια μηχανική συνδεσμολογία κοίλων σωληνοειδών. Αποτελεί ένα πολύ σημαντικό κομμάτι στη διαδικασία της περιστροφικής διάτρησης, καθώς συνδέει το γεωτρύπανο με το κοπτικό άκρο. Μέσω της διατρητικής στήλης επιτυγχάνεται η μετάδοση της περιστροφικής κίνησης στο κοπτικό και εξασφαλίζεται η κυκλοφορία της λάσπης. Η διατρητική στήλη αποτελεί έναν από τα πιο ακριβά τμήματα του εξοπλισμού που είναι απαραίτητος στην περιστροφική διάτρηση. Κατά συνέπεια, ο προσεγμένος σχεδιασμός και η σωστή χρήση και συντήρηση μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό το συνολικό κόστος της διάτρησης (εικόνα 3.1) [15].



**Εικόνα 3.1:**Τυπική συνδεσμολογία διατρητικής στήλης [15].

Η διατρητική στήλη γενικά εξυπηρετεί τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Μεταδίδει την περιστροφική κίνηση που χρειάζεται το κοπτικό για τη θραύση του σχηματισμού.
- Ασκεί θλιπτική δύναμη πάνω στο κοπτικό (βάρος-επί-του-κοπτικού) που διευκολύνει την αποσύνθεση του πετρώματος.
- Καθοδηγεί και ελέγχει την πορεία του κοπτικού.
- Αποτελεί τον αγωγό διαβίβασης των ρευστών διάτρησης από την επιφάνεια στο κοπτικό, εξασφαλίζοντας τις ελάχιστες δυνατές απώλειες πίεσης.
- Συμβάλλει στην ανέλκυση και καθέλκυση του κοπτικού.



Μπορεί , ωστόσο, να εξυπηρετήσει και ορισμένες πιο ειδικές λειτουργίες, όπως:

- Να παρέχει ευστάθεια στην κατώτερη συνδεσμολογία περιορίζοντας τους κραδασμούς και τις αναπηδήσεις του κοπτικού.
- Να διευκολύνει τον έλεγχο των πιέσεων και της κυκλοφορίας των ρευστών του σχηματισμού.
- Να διευκολύνει την αξιολόγηση του σχηματισμού μέσω ειδικών οργάνων τοποθετημένων επί της διατρητικής στήλης.

Εξετάζοντας τη διατρητική στήλη, από την επιφάνεια προς τον πυθμένα της γεώτρησης, περιλαμβάνει τρία διακριτά μέρη:

- a) το τετραγωνικό ή εξαγωνικό στέλεχος (kelly),
- b) τη σειρά των διατρητικών στελεχών,
- c) την κατώτερη συνδεσμολογία (Bottom Hole Assembly - BHA) [13].

Στην επιφάνεια η διατρητική στήλη αναρτάται από τον γάντζο (hook) του στροφέα ή άλλως, περιστρεπτού τροφοδότη (swivel). Η περιστροφική κίνηση μεταδίδεται στη διατρητική στήλη από το τετραγωνικό (ή εξαγωνικό) στέλεχος (kelly). Η κατώτερη συνδεσμολογία συντίθεται από το κοπτικό άκρο (drill bit), τα αντίβαρα (drill collars) και βοηθητικά εξαρτήματα, όπως σταθεροποιητές (stabilisers), jars, αποξεστήρες (reamers), προσαρμογείς διαμέτρου (crossover subs) και αποσβεστήρες κρούσεων και κραδασμών (shock subs, bit subs). Μεταξύ της σειράς των διατρητικών στελεχών και της κατώτερης συνδεσμολογίας παρεμβάλλονται συχνά τα βαριά διατρητικά στελέχη (heavy weight drill pipes). Τόσο η κατώτερη συνδεσμολογία, όσο και η σειρά των διατρητικών στελεχών μπορούν να περιλαμβάνουν ειδικά όργανα, όπως όργανα MWD (measurement-while-drilling ή monitor-while-drilling), καθώς και όργανα ελέγχου της διατρητικής στήλης (drillstem testing tools). Αξίζει να σημειωθεί ότι, όλες οι συνδέσεις που παρεμβάλλονται μεταξύ του στροφέα και μέχρι το ανώτερο τμήμα του kelly είναι αριστερόστροφες, ενώ όλες οι συνδέσεις από το κατώτερο τμήμα του kelly και μέχρι το κοπτικό είναι δεξιόστροφες.

- *Τετραγωνικό ή εξαγωνικό στέλεχος (kelly)*

Το kelly χρησιμοποιείται για να μεταφέρει την περιστροφή και το βάρος-επί-του-κοπτικού (weight-on-bit) μέσω των διατρητικών στελεχών και των αντιβάρων (εικόνα 3.2). Το kelly φέρει επίσης το συνολικό βάρος της διατρητικής στήλης και για το λόγο αυτό αποτελεί το τμήμα που καταπονείται περισσότερο. Μπορεί να είναι τετραγωνικής, εξαγωνικής ή ακόμα και τριγωνικής διατομής. Κατασκευάζεται από ανοξείδωτο χάλυβα με υψηλή περιεκτικότητα σε χρώμιο και μολυβδένιο. Το kelly είναι το μακρύτερο από τα σωληνοειδή εξαρτήματα της διατρητικής στήλης και κατασκευάζεται σε δύο μήκη: 40 ft (12,2 m) και 54 ft (16,5 m) και σε διάφορα μεγέθη [13].

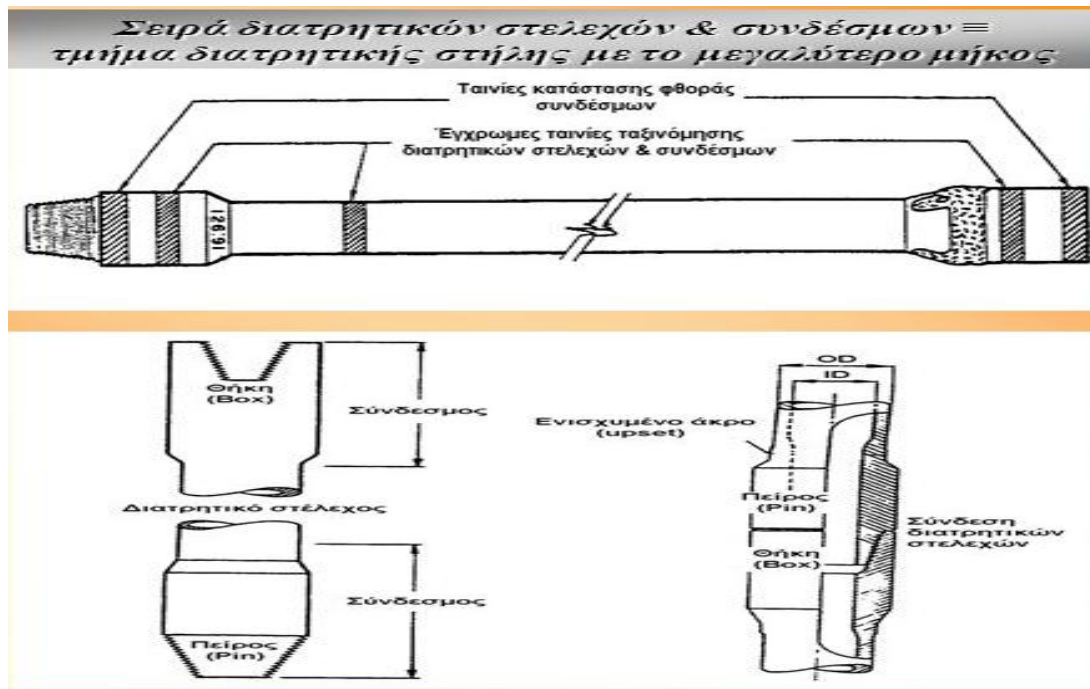


πέντε αυτές κατηγορίες κατασκευάζεται σε διαφορετικά μεγέθη που η εξωτερική τους διάμετρος (outside diameter-OD) κυμαίνεται από 23/8 in (60,3 mm) έως 6 5/8 in (168,3 mm). Τυπικά μεγέθη εξωτερικής διαμέτρου των διατρητικών στελεχών είναι (σε in): 23/8, 27/8, 31/2, 4, 41/2, 5, 51/2. Τα διατρητικά στελέχη που χρησιμοποιούνται πιο συχνά στη βιομηχανία του πετρελαίου είναι: 31/2 και 5 in (στις ΗΠΑ χρησιμοποιούνται επίσης συχνά και στελέχη εξωτερικής διαμέτρου 41/2 in). Κάθε κατηγορία και μέγεθος διατρητικού στελέχους περιγράφεται από τις ακόλουθες παραμέτρους [13]:

1. ονομαστικό βάρος (nominal weight) ανά πόδι (ή μέτρο),
2. εσωτερική διάμετρος (internal diameter - ID),
3. αντοχή σε θλίψη (collapse resistance),
4. εσωτερική πίεση παραμόρφωσης (internal yield pressure),
5. όριο ελαστικότητας (yield strength)

Γενικά, όσο μεγαλύτερο είναι το ονομαστικό βάρος ενός στελέχους, τόσο μεγαλύτερο είναι το πάχος των τοιχωμάτων του και, κατά συνέπεια, τόσο μεγαλύτερο το εμβαδόν της διατομής του και τόσο μεγαλύτερη η μηχανική αντοχή του. Τα διατρητικά στελέχη διαφέρουν από τα υπόλοιπα σωληνοειδή που χρησιμοποιούνται στις γεωτρήσεις (σωλήνωση, σωληνοειδή παραγωγής), ως προς το γεγονός ότι έχουν τη δυνατότητα να επαναχρησιμοποιούνται. Όμως η διάρκεια ζωής των μερών μεταβάλλονται συναρτήσει του χρόνου, εξαιτίας των σύνθετων φορτίων που εφαρμόζονται στα διατρητικά στελέχη κατά τη διάρκεια της διάτρησης, της πυρηνοληψίας κ.λπ.

Τα φορτία αυτά συμβάλουν στη φθορά των διατρητικών στελεχών και, κατά συνέπεια, στη μείωση της αντοχής των. Για το λόγο αυτό το API έχει καθιερώσει ένα σύστημα ταξινόμησης και κωδικοποίησης των διατρητικών στελεχών ανάλογα με το βαθμό φθοράς σε κλάσεις (classes) (πίνακας 3.1). Το ίδιο σύστημα χρησιμοποιείται και για την ταξινόμηση και κωδικοποίηση των συνδέσμων.



**Εικόνα 3.3:** Σειρά διατρητικών στελεχών και συνδέσμων [15].

Τα διατρητικά στελέχη αγοράζονται συνήθως σε μεγάλες παρτίδες. Για κάθε παρτίδα πρέπει να τηρείται ένα αρχείο, έτσι ώστε ανά πάσα στιγμή να μπορεί να ελέγχεται ο βαθμός χρήσης του κάθε στελέχους.

**Πίνακα 3.1:** Το βαθμό φθοράς σε κλάσεις (classes) [13].

**ΚΛΑΣΗ I:** λευκή ταινία. Εντελώς καινούργιο διατρητικό στέλεχος που δεν έχει χρησιμοποιηθεί ποτέ πριν. Ονομαστικές διαστάσεις καινούργιου στελέχους.

**ΚΛΑΣΗ PREMIUM:** δύο λευκές ταινίες. Παραμένον πάχος τοιχωμάτων όχι λιγότερο από 80% λόγω ομοιόμορφης περιφερικής φθοράς. Παραμένον πάχος τοιχωμάτων όχι λιγότερο από 80% λόγω ανομοιόμορφης περιφερικής (έκκεντρης) φθοράς. Εμβαδόν διατομής όχι λιγότερο από 20% λόγω μείωσης από ομοιόμορφη περιφερική φθορά. (Στην πράξη, από τη στιγμή που ένα διατρητικό στέλεχος εισέλθει σε μια γεώτρηση κατατάσσεται αυτομάτως στην κλάση Premium)

**ΚΛΑΣΗ II:** κίτρινη ταινία. Παραμένον πάχος τοιχωμάτων όχι λιγότερο από 80% λόγω ομοιόμορφης φθοράς. Παραμένον πάχος τοιχωμάτων όχι λιγότερο από 65% λόγω ανομοιόμορφης περιφερικής (έκκεντρης) φθοράς. Εμβαδόν διατομής όχι λιγότερο από 20% λόγω μείωσης από ομοιόμορφη φθορά.

**ΚΛΑΣΗ III:** μπλε ταινία. Παραμένον πάχος τοιχωμάτων όχι λιγότερο από 62,5% λόγω ομοιόμορφης φθοράς. Παραμένον πάχος τοιχωμάτων όχι λιγότερο από 55% λόγω ανομοιόμορφης περιφερικής (έκκεντρης) φθοράς. Εμβαδόν διατομής όχι λιγότερο από 37,5% λόγω μείωσης από ομοιόμορφη φθορά.

**ΚΛΑΣΗ IV:** πράσινη ταινία. Παραμένον πάχος τοιχωμάτων όχι λιγότερο από 62,5% λόγω ομοιόμορφης φθοράς. Παραμένον πάχος τοιχωμάτων όχι λιγότερο από 55% λόγω ανομοιόμορφης περιφερικής (έκκεντρης) φθοράς. Εμβαδόν διατομής όχι λιγότερο από 37,5% λόγω μείωσης από ομοιόμορφη φθορά.

*Σημειώσεις: (1) Σε οποιαδήποτε από τις παραπάνω κλάσεις όταν εμφανίζονται ρωγμές λόγω κόπωσης, το στέλεχος σηματοδοτείται με κόκκινη ταινία και θεωρείται ακατάλληλο για περαιτέρω χρήση. (2) Έκκεντρη φθορά σημαίνει ότι όλη η φθορά σημειώνεται στη μια πλευρά, με τρόπο ώστε το εξωτερικό τμήμα του στελέχους να παραμένει κυκλικό, αλλά με το κέντρο του εξωτερικού κύκλου να μη συμπίπτει με το κέντρο του εσωτερικού κύκλου. (3) Η εσωτερική διάμετρος θεωρείται ότι παραμένει σταθερή και ότι η ονομαστική εσωτερική διάμετρος του στελέχους διατηρείται σε όλη τη διάρκεια ζωής του.*

- *Σύνδεσμοι (tool joints)*

Οι σύνδεσμοι (tool joints ή couplings) είναι μικρού μήκους κύλινδροι (εικόνα 3.4) που προσαρμόζονται στις άκρες των διατρητικών στελεχών. Γενικά, χωρίζονται στις ίδιες κατηγορίες και κλάσεις με τα διατρητικά στελέχη. Οι σύνδεσμοι διαθέτουν είτε εξωτερικό είτε εσωτερικό σπείρωμα. Το άκρο του συνδέσμου που είναι εφοδιασμένο με εξωτερικό σπείρωμα περιγράφεται σαν “πέιρος” (“pin”), ενώ το άκρο του συνδέσμου που είναι εφοδιασμένο με εσωτερικό σπείρωμα περιγράφεται σαν “θήκη” (“box”). Η σύνδεση των συνδέσμων δύο διαδοχικών στελεχών γίνεται χρησιμοποιώντας ειδικές τανάλιες (δαγκάνες, tongs), οι οποίες προσαρμόζονται περιμετρικά του συνδέσμου κατά τη σύνδεση. Η σημαντική ροπή στρέψης που ασκείται πάνω στους συνδέσμους κατά το βίδωμα υπαγορεύει την αυξημένη αντοχή τους. Παράλληλα, στα σημεία σύνδεσης αναπτύσσονται σημαντικά φορτία λόγω κόπωσης του μετάλλου, με αποτέλεσμα να καθίσταται επιτακτική η ανάγκη για επαύξηση της αντοχής του στελέχους στα άκρα του [13].



**Εικόνα 3.4:** Σύνδεσμος από χαλυβα [17].

Οι σύνδεσμοι, όπως και τα διατρητικά στελέχη, σχεδιάζονται ώστε να λειτουργούν υπό εφελκυσμό [13]. Το API ορίζει ότι όλοι οι σύνδεσμοι πρέπει να διαθέτουν τα ακόλουθα μηχανικά χαρακτηριστικά, όταν είναι καινούργιοι:

- Ø ελάχιστο όριο ελαστικότητας (minimum yield strength)= 120.000 psi,
- Ø ελάχιστη αντοχή σε εφελκυσμό (minimum tensile strength) = 140.000 psi,
- Ø ελάχιστο ποσοστό επιμήκυνσης υπό εφελκυσμό (minimum elongation percentage)=13%.

· *Κατώτερη συνδεσμολογία (bottom hole assembly - BHA)*

Τα τελευταία 25 χρόνια η κατώτερη συνδεσμολογία εξελίχθηκε από μια σειρά ενός ή δύο απλών αντιβάρων σε μια αρκετά πολύπλοκη συνδεσμολογία εξαρτημάτων που τοποθετούνται πάνω από το κοπτικό και καταλαμβάνουν μήκος από 500 ft (150m) έως 1000 ft (300m). Σήμερα η κατώτερη συνδεσμολογία, εκτός από την απλή απαίτηση για αποτελεσματική φόρτιση του κοπτικού με το βάρος των αντιβάρων (βάρος-επί-του-κοπτικού), (εικόνα 3.5) εξυπηρετεί και άλλες ανάγκες, ανάλογα και με το σχεδιασμό της [13]:

- Ø Να εμποδίζει τη δημιουργία κεκαμμένων τμημάτων (dog legs) και τμημάτων μειωμένης διαμέτρου (keyseats)
- Ø Να εξασφαλίζει μια ομαλή κατά το δυνατό διατομή, προβλεπόμενης διαμέτρου, σε όλο το μήκος της γεώτρησης
- Ø Να βελτιώνει την απόδοση του κοπτικού
- Ø Να ελαχιστοποιεί τα προβλήματα διάτρησης
- Ø Να ελαχιστοποιεί τους κραδασμούς
- Ø Να ελαχιστοποιεί το διαφορικό κόλλημα (differential sticking) της διατρητικής στήλης με τα τοιχώματα της γεώτρησης



**Εικόνα 3.5:** Κατώτερη συνδεσμολογία [35].

- *Βαριά διατρητικά στελέχη (heavy weight drill pipes - HWDP)*

Η σειρά των διατρητικών στελεχών σχεδιάζεται για να λειτουργεί υπό εφελκυσμό, ενώ η κατώτερη συνδεσμολογία λειτουργεί υπό θλίψη, προκειμένου να ασκεί το απαιτούμενο βάρος πάνω στο κοπτικό. Προκειμένου να μην υπάρχει μεγάλη διαφορά ακαμψίας μεταξύ των αντιβάρων (σωληνοειδή με παχιά τοιχώματα) και των διατρητικών στελεχών (σωληνοειδή με λεπτά τοιχώματα), παρεμβάλλονται ορισμένα ειδικού τύπου διατρητικά στελέχη, με πιο παχιά τοιχώματα από τα συνήθη στελέχη, τα οποία καλούνται βαριά διατρητικά στελέχη (heavy weight drill pipes) (εικόνα 3.6). Με τον τρόπο αυτό η μετάβαση από την κατάσταση εφελκυσμού στην κατάσταση θλίψης γίνεται πιο ομαλά και το ουδέτερο σημείο (μηδενικός εφελκυσμός-μηδενική θλίψη) μετατοπίζεται μέσα στο μήκος των βαριών διατρητικών στελεχών που έχουν αυξημένη αντοχή σε σχέση με τα συνήθη στελέχη. Εξαιτίας του μεγάλου βάρους και της κατασκευής τους τα βαριά διατρητικά στελέχη λειτουργούν με ασφάλεια υπό θλίψη και όπως και τα αντίβαρα [13].

Εξαιτίας του αυξημένου πάχους των τοιχωμάτων τους, έχουν 2-3 φορές μεγαλύτερο βάρος από τα τυπικά διατρητικά στελέχη. Κατασκευάζονται σε τέσσερα μεγέθη, με εξωτερική διάμετρο από 3½ έως 5 in (3,5 in/88,9 mm, 4 in/101,6 mm, 4,5 in/114 mm και 5 in/127 mm) και μήκος 30,5 ft (9,3 m) αν και υπάρχουν διαθέσιμα και διάφορα άλλα μήκη για ειδικές περιπτώσεις. Ξεχωρίζουν από τα τυπικά διατρητικά στελέχη, γιατί περιλαμβάνουν συνδέσμους μεγαλύτερου μήκους και, προαιρετικά, φέρουν στο κέντρο τους, όπως και στο κέντρο του συνδέσμου, ένα πιο ενισχυμένο τμήμα με πρόσοψη από σκληρό υλικό, το οποίο ενεργεί ως σταθεροποιητής, με συνέπεια να αυξάνει τη συνολική ακαμψία της διατρητικής στήλης [13].

Γενικά, τα βαρέα διατρητικά στελέχη παρέχουν τα εξής σημαντικά οφέλη στη διατρητική στήλη:

- Μειώνουν το κόστος διάτρησης, εξαλείφοντας πλήρως την αστοχία των διατρητικών στελεχών στη μεταβατική ζώνη (το τμήμα της διατρητικής στήλης ακριβώς πάνω από τα αντίβαρα).

- Αυξάνουν σημαντικά την απόδοση και το βάθος διάτρησης των μικρών γεωτρυπάνων (διευκολύνουν το χειρισμό και την αντικατάσταση των αντιβάρων).
- Εξασφαλίζουν σημαντική μείωση του κόστους της κατευθυνόμενης διάτρησης, καθώς υποκαθιστούν το μεγαλύτερο τμήμα των αντιβάρων, μειώνουν τη ροπή στρέψης στον πυθμένα της γεώτρησης, περιορίζουν την τάση για αλλαγή της κατεύθυνσης διάτρησης και μειώνουν την τάση για κόλλημα της διατρητικής στήλης.

Στις κατευθυνόμενες γεωτρήσεις τα χρησιμοποιούνται, επίσης, για να παρέχουν βάρος επί του κοπτικού, επιπλέον του βάρους που παρέχουν στο κοπτικό τα αντίβαρα.



**Εικόνα 3.6:** Βαριά διατρητικά στελέχη [38].

- *Αντίβαρα (drill collars)*

Τα αντίβαρα είναι το πιο σημαντικό τμήμα της κατώτερης συνδεσμολογίας και χρησιμοποιούνται για:

- Να παρέχουν βάρος στο κοπτικό
- να διατηρούν τη σειρά των διατρητικών στελεχών υπό εφελκυσμό
- να ελαχιστοποιούν τα προβλήματα ευστάθειας του κοπτικού, που δημιουργούνται από κραδασμούς, ταλαντώσεις και αναπηδήσεις
- να ελαχιστοποιούν τα προβλήματα ελέγχου της κατεύθυνσης της διάτρησης, παρέχοντας ακαμψία στην κατώτερη συνδεσμολογία [13].

Πρέπει να σημειωθεί ότι και τα αντίβαρα (εικόνα 3.7) μπορεί να αστοχήσουν και κυρίως γύρω από τους συνδέσμους, καθώς το σώμα του αντίβαρου είναι πολύ πιο άκαμπτο και ανθεκτικό.

*Λειτουργία των αντιβάρων:*

- παρέχουν το απαιτούμενο βάρος επί του κοπτικού.
- Χρησιμοποιούνται σε επαρκές μήκος, ώστε να διατηρούν τα διατρητικά στελέχη υπό εφελκυσμό. Αν το μήκος των αντιβάρων δεν είναι επαρκές το βάρος επί του κοπτικού μεταβάλλεται απότομα, με αποτέλεσμα τα διατρητικά

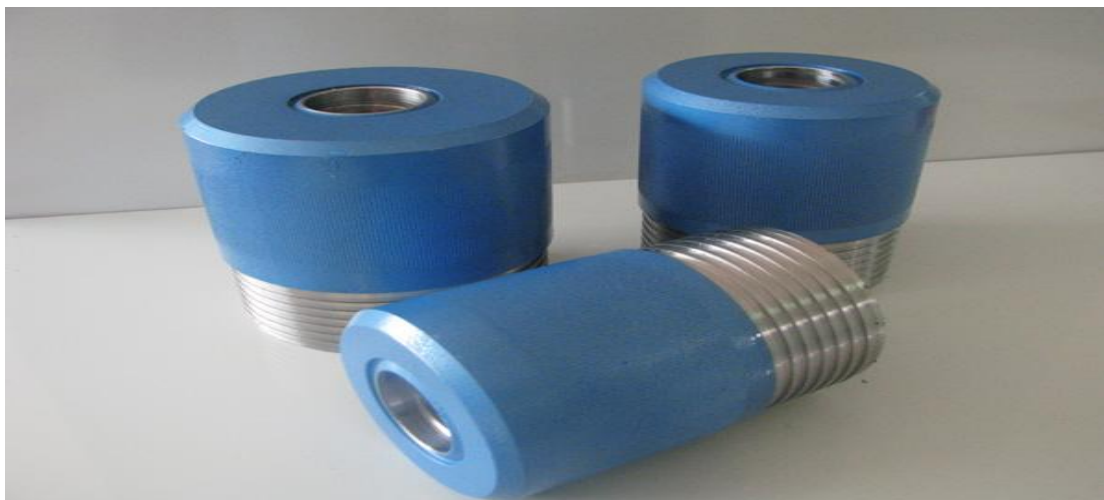


στελέχη να βρίσκονται υπό θλίψη, προκαλώντας αυξημένη φθορά. Επειδή οι σύνδεσμοι είναι τα πιο άκαμπτα τμήματα της διατρητικής στήλης κάμπτονται ελάχιστα. Ωστόσο, θα πρέπει να διαθέτουν επαρκή αντοχή για να ανθίστανται στην κάμψη [13].

#### *Διαστασιολόγηση αντιβάρων:*

Όπως τα διατρητικά στελέχη έτσι και τα αντίβαρα κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη και βάρη, αν και το συνηθισμένο μήκος αντιβάρων είναι 30 ft (~9 m). Κατασκευάζονται από κράμα χάλυβα με χρώμιο και μολυβδένιο, το οποίο υφίσταται θερμική κατεργασία σε όλο το μήκος του αντίβαρου ώστε να αποκτήσει σκληρότητα κατά Brinell 255-341. Συνήθως, τα καινούργια αντίβαρα έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: – εξωτερική διάμετρος: 27/8 έως 12 in, εσωτερική διάμετρος 1 έως 4 in (συνήθως 2-3 in), πάχος τοιχώματος  $\frac{3}{4}$  έως 4  $\frac{1}{2}$  in, βάρος 15 έως 350 lb/ft (συγκριτικά με 5 έως 25 lb/ft των στελεχών) Όπως στα διατρητικά στελέχη οι σύνδεσμοι είναι προσαρμοσμένοι πάνω στα αντίβαρα και δεν αποτελούν ξεχωριστά κομμάτια. Η μείωση της εσωτερικής διαμέτρου της στήλης (από τα στελέχη στα αντίβαρα) προκαλεί απώλειες πίεσης της κυκλοφορούσας λάσπης, καθώς διέρχεται από τα αντίβαρα. Για το λόγο αυτό επιλέγονται αντίβαρα με τη μεγαλύτερη δυνατή εσωτερική διάμετρο. Η επιλογή αυτή σημαίνει ότι θα απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός αντιβάρων προκειμένου να ασκείται το κατάλληλο βάρος πάνω στο κοπτικό, αν και το συνολικό μήκος της συνδεσμολογίας των αντιβάρων δεν υπερβαίνει συνήθως τα 1000 ft (~ 305 m) (τυπικό μήκος μεταξύ 600 και 700 ft ή ~183-213 m) [13].

Η μέγιστη εξωτερική διάμετρος που μπορεί να επιλεγεί κάθε φορά εξαρτάται κυρίως από τη διάμετρο της γεώτρησης και από την επιτρεπόμενη ταχύτητα των ρευστών στο δακτύλιο μεταξύ των τοιχωμάτων της γεώτρησης και των εξωτερικών τοιχωμάτων του αντίβαρου. Η ελάχιστη διάμετρος σχετίζεται άμεσα με την ακαμψία της συνδεσμολογίας των αντιβάρων το μήκος κάθε αντίβαρου έχει τυποποιηθεί στα 30 ft ή 9,144 m.



**Εικόνα 3.7:** Αντίβαρα [27].

**ΠΙΝΑΚΑΣ3.2:** Επιλογή διαμέτρου αντιβάρου ανάλογα με τη διάμετρο διάτρησης (σε ίντσες) [13].

Διαμετρος γεωτρησης (in)	Εξωτερ. Αντιβαρου(in)	Διαμετρ. Εσωτ. Αντιβαρου.(in)
24 εως $12\frac{1}{4}$	$9\frac{1}{2}$	3
$9\frac{7}{8}$	$7\frac{2}{4}$ εως 8	$2\frac{13}{26}$
$8\frac{2}{4}$ εως $8\frac{1}{2}$	$6\frac{2}{4}$	$2\frac{13}{26}$
$6\frac{2}{4}$ εως 6	$4\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{4}$

Σήμερα, τα μεγάλα αντίβαρα χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό της κατώτερης συνδεσμολογίας πιο συχνά. Τα πλεονεκτήματα είναι πολλά καθώς απαιτούνται λιγότερα αντίβαρα για την επίτευξη του επιθυμητού βάρους επί του κοπτικού, λιγότερες συνδέσεις μεταξύ τους. Επομένως και η αστοχία λόγω κόπωσης των συνδέσεων περιορίζεται, απατείται μικρότερος χρόνος για το χειρισμό των αντιβάρων κατά την ανέλκυση και καθέλκυση της διατρητικής στήλης και διατρύονται πιο ευθύγραμμες γεωτρήσεις όταν τα αντίβαρα έχουν διάμετρο παραπλήσια της διαμέτρου της γεώτρησης. Στην περίπτωση αυτή ο σχεδιασμός της κατώτερης συνδεσμολογίας πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή. Η συνολική ακαμψία της συνδεσμολογίας μπορεί να προκαλέσει κόπωση των διατρητικών στελεχών εξαιτίας της διαφοράς ακαμψίας μεταξύ στελεχών και αντιβάρων. Για να μειωθεί η διαφορά ακαμψίας χρησιμοποιούνται μικρότερα αντίβαρα στην κορυφή της κατώτερης συνδεσμολογίας ή βαριά διατρητικά στελέχη πάνω από τα αντίβαρα.

#### · Τύποι αντιβάρων

Κατασκευάζονται σε ποικίλα σχήματα και μορφές. Τα λεία και στρογγυλά αντίβαρα (slick drill collars) είναι ο απλούστερος τύπος αντιβάρων (εικόνα 3.8). Παρουσιάζουν σταθερή ονομαστική εξωτερική διάμετρο σε όλο το μήκος τους. Τα αντίβαρα με σπειροειδείς αυλακώσεις (spiral grooving) παρουσιάζουν μικρότερη επιφάνεια επαφής με τα τοιχώματα της γεώτρησης, γεγονός που μειώνει σημαντικά το μέγεθος των δυνάμεων που οδηγούν σε διαφορική συγκόλληση (differential sticking) πάνω στα τοιχώματα της γεώτρησης. Οι σπειροειδείς αυλακώσεις, ενώ μειώνουν την επιφάνεια επαφής κατά 40-50%, ελαττώνουν το βάρος του αντίβαρου μόλις κατά 4-10% σε σχέση με το βάρος του λείου αντίβαρου. Παράλληλα επιτρέπουν την ομαλή κυκλοφορία των ρευστών γύρω από το σώμα του αντίβαρου.



**Εικόνα 3.8:**Αριστερά λεία αντίβαρα & δεξιά σπειράλ αντίβαρα [34].

Τα τετράγωνα αντίβαρα (square drill collars) (εικόνα 3.9). παρουσιάζουν μεγάλη ακαμψία και βοηθούν ώστε η γεώτρηση να διατηρείται ευθύγραμμη, καθώς η απόσταση του εξωτερικού τους τοιχώματος από το τοίχωμα της γεώτρησης είναι 1/32 in. Το μέγεθός τους είναι κατά 1/16 in μικρότερο από το μέγεθος του κοπτικού. Έχουν υψηλό κόστος και είναι δύσκολα στους χειρισμούς και γι' αυτό οι χειριστές τα αντικαθιστούν με υπερμεγεθή κυλινδρικά αντίβαρα ή πολλαπλούς σταθεροποιητές. Τα τετράγωνα αντίβαρα χρησιμοποιούνται σε σχηματισμούς που έχουν την τάση να προσδίδουν παρέκκλιση (crooked hole formations), έτσι ώστε να διασφαλίζεται η διατήρηση της διεύθυνσης που πρέπει να ακολουθεί η γεώτρηση [13].



**Εικόνα 3.9:**τετράγωνα αντίβαρα [34].

Τα μη μαγνητικά αντίβαρα (non-magnetic drill collars) (εικόνα 3.10), χρησιμοποιούνται στην κατευθυνόμενη διάτρηση. Τα αντίβαρα αυτά κατασκευάζονται από μη μαγνητικά κράματα χάλυβα (K-Monell ή άλλα) και χρησιμοποιούνται για να προστατεύουν τα όργανα ελέγχου της κατευθυνόμενης διάτρησης από την επίδραση του γήινου μαγνητικού πεδίου.



**Εικόνα 3.10:** Μη μαγνητικά αντίβαρα[33].

Τα αντίβαρα με αλιευτικούς αυχένες (fishing necks) είναι μεγάλου μεγέθους με εξωτερική διάμετρο που υπερβαίνει τις 8 in. Επιτρέπει την αλίευση των αντιβάρων σε περίπτωση αστοχίας συνδέσμου, καθώς και τη χρήση των ίδιων οργάνων για το βίδωμα και το ξεβίδωμα των αντιβάρων, που χρησιμοποιούνται και για τα στελέχη (δαγκάνες και στροφείς). Ο όρος “fishing neck” προέρχεται από την αρχική χρήση για την οποία προορίζονταν αυτά τα αντίβαρα που αφορούσε σε περιπτώσεις αποτυχημένης σύνδεσης όποτε συλλαμβάνονταν εύκολα και συγκρατούνταν με αρπάγη, προκειμένου να αλιευθούν.

- Βοηθητικός εξοπλισμός [13]:

#### **Σταθεροποιητές (stabilizers):**

Οι σταθεροποιητές είναι εργαλεία που τοποθετούνται πάνω από το κοπτικό και κατά μήκος της κατώτερης συνδεσμολογίας. Συμβάλλουν στον έλεγχο της τροχιάς της γεώτρησης περιορίζοντας ή ελέγχοντας την τάση για παρέκλιση και για μεταβολή της καμπυλότητας. Πετυχαίνουν όλες τις παραπάνω λειτουργίες κεντράροντας και παρέχοντας επιπλέον ακαμψία στην κατώτερη συνδεσμολογία. Η σταθεροποίηση επιτρέπει, επίσης, στο κοπτικό να περιστρέφεται κάθετα στον πυθμένα της γεώτρησης και, επομένως, να βελτιώνει την απόδοσή του.



**Εικόνα 3.11:** Σταθεροποιητής [32].

Τα σχήματα και η κατασκευή των σταθεροποιητών ποικίλει (εικόνα 3.11). Όλοι οι σταθεροποιητές περιλαμβάνουν έναν προσαρμογέα (sub) που στην εξωτερική του επιφάνεια φέρει ευθύγραμμο ή σπειροειδή πτερύγια. Το υλικό κατασκευής και το μήκος των πτερυγίων είναι δύο σημαντικές παράμετροι των σταθεροποιητών, που εξαρτώνται από την εφαρμογή για την οποία προορίζονται. Οι σταθεροποιητές ικανοποιούν, ανάλογα με τον τύπο της γεώτρησης, τους ακόλουθους σκοπούς:

Στις κατακόρυφες γεωτρήσεις σκοπό έχουν να διατηρήσουν ομόκεντρα τα αντίβαρα εντός της γεώτρησης ώστε να μειωθεί οποιαδήποτε κάμψη της στήλης και κατά συνέπεια να ελαχιστοποιηθεί η γωνία κλίσης (drift angle). Διατηρώντας ομόκεντρα τα αντίβαρα η πιθανότητα να κολλήσει η στήλη πάνω στα τοιχώματα μειώνεται.

Σε μια «κατακόρυφη» γεώτρηση η κατώτερη συνδεσμολογία συνήθως περιλαμβάνει μόνο έναν ή δύο σταθεροποιητές που τοποθετούνται πάνω από το κοπτικό σε απόσταση, π.χ. 40 και 100 ft. Ωστόσο, αν είναι αναγκαίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότεροι σταθεροποιητές σε αποστάσεις 90 ft, με τον κορυφαίο σταθεροποιητή ακριβώς κάτω από την κορυφή της κατώτερης συνδεσμολογίας. Στις κατακόρυφες γεωτρήσεις προτιμούνται σταθεροποιητές ανοιχτού τύπου (open) με 3 πτερύγια, καθένα από τα οποία έρχεται σε επαφή με τα τοιχώματα της γεώτρησης υπό γωνία 140° [13].

Στις κεκλιμένες γεωτρήσεις η τοποθέτηση των σταθεροποιητών γίνεται με τρόπο ώστε να βοηθούν στον έλεγχο της απόκλισης και η θέση τους εξαρτάται σημαντικά από το μέγεθος της απαιτούμενης απόκλισης, την αποδεκτή καμπυλότητα του κεκαμμένου τμήματος (dog legging acceptable) και τις συνθήκες διάτρησης. Η αρχή πίσω από το σχεδιασμό μιας σταθεροποιημένης στήλης για κεκλιμένες γεωτρήσεις είναι ο συνδυασμός της απαιτούμενης ακαμψίας και της ευελιξίας σε διαφορετικά σημεία της κατώτερης συνδεσμολογίας. Στις κεκλιμένες γεωτρήσεις προτιμούνται σταθεροποιητές συμπαγούς τύπου (tight) με 3 πτερύγια, καθένα από τα οποία έρχεται σε επαφή με τα τοιχώματα της γεώτρησης υπό γωνία 360° [13].

### **Αποσβεστήρες (reamers):**

Οι αποσβεστήρες (εικόνα 3.12) τοποθετούνται συνήθως ακριβώς πάνω από το κοπτικό, για να:

- 1) εξασφαλίζουν την επιθυμητή διατομή της γεώτρησης (gauge hole), όταν διατρύονται σκληροί και λειαντικοί σχηματισμοί,
- 2) και κεντράρουν την κατώτερη συνδεσμολογία μέσα στη γεώτρηση στη θέση όπου είναι τοποθετημένοι. Κατά συνέπεια, είτε λειτουργούν σαν σταθεροποιητές, είτε βοηθούν στη διατήρηση της κατάλληλης διαμέτρου της γεώτρησης.



**Εικόνα 3.12:** Αποσβεστήρες [31].

**Αποσβεστήρες κρούσεων & κραδασμών (shock subs, bit subs):** Τοποθετούνται μεταξύ κοπτικού και αντιβάρων. Χρησιμοποιούνται για να απορροφούν (εικόνα 3.13) τις δονήσεις και τους κραδασμούς που προκαλούνται από την κίνηση της διατρητικής στήλης. Οι αποσβεστήρες κραδασμών είναι εφοδιασμένοι με χαλύβδινα ή ελαστικά ελατήρια που έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να απορροφούν τις στρεπτικές και τις κατακόρυφες δονήσεις. Σε πολλές περιπτώσεις τα αντίβαρα μεγάλης εξωτερικής διαμέτρου μπορεί να αποδειχτούν αποτελεσματικά στη μείωση των κραδασμών στον πυθμένα της γεώτρησης [13].



**Εικόνα 3.13:** Αποσβεστήρας κρούσεων [30].

### 3.4 ΚΟΠΤΙΚΑ ΑΚΡΑ

Το κοπτικό άκρο αποτελεί την «καρδιά» της διατρητικής διαδικασίας. Το κοπτικό θραύει το πέτρωμα υπό τη συνδυασμένη δράση του βάρους που ασκείται επί αυτού και της περιστροφικής κίνησης [8]. Το κοπτικό και η συνεργασία του με τη διατρητική στήλη (βάρος επί του κοπτικού, ευστάθεια και ακαμψία της κατώτερης συνδεσμολογίας), καθώς και η λάσπη διάτρησης (απομάκρυνση των θρυμμάτων, λίπανση και ψύξη του κοπτικού) αποτελούν παράγοντες πρωτεύουσας σημασίας για την περιστροφική όρυξη γεωτρήσεων [11]. Κατά συνέπεια, η επιλογή του κατάλληλου κοπτικού είναι καθοριστικής σημασίας για την επιτυχία ενός προγράμματος όρυξης και θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα ακόλουθα:

- Εφόσον η βασική λειτουργία κάθε κοπτικού είναι η θραύση (ή η κοπή) του πετρώματος, θα πρέπει να επιλέγεται το κοπτικό που θα εκμεταλλεύεται καλύτερα τα φυσικά χαρακτηριστικά, τις αδυναμίες και τη δομή του πετρώματος, και θα επιτυγχάνει έτσι αποτελεσματικότερη όρυξη.
- Τα θρύμματα που παράγονται από τη δράση του κοπτικού θα πρέπει να απομακρύνονται όσο το δυνατό πιο άμεσα από την πυθμένα της γεώτρησης και να μεταφέρονται στην επιφάνεια.
- Καθώς η αντικατάσταση ενός κοπτικού επισύρει μανούβρες (μη παραγωγικός χρόνος - αύξηση του κόστους), θα πρέπει να εξετάζεται προσεκτικά η διάρκεια ζωής του κοπτικού που επιλέγεται κάθε φορά.

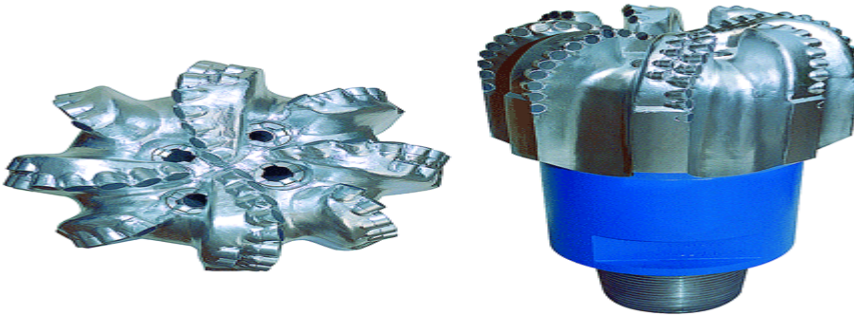
Οι βασικοί τύποι κοπτικών που χρησιμοποιούνται σήμερα στην περιστροφική όρυξη βαθιών γεωτρήσεων και σε ενδογεωτρητικές εργασίες (down-the-hole operations – DHT operations) είναι:

- Κοπτικά με περιστρεφόμενους κώνους (Roller Cone Bits-RCB ή Rolling Cutter Bits ή rock bits) (εικόνα 3.14).



**Εικόνα 3.14:**Κοπτικό με περιστρεφόμενους κώνους [29].

- Αδαμαντοκορώνες (diamond bits)



**Εικόνα 3.15:** Κοπτικό με αδαμαντοκορώνες [21].

- Πολυκρυσταλλικά συμπαγή αδαμαντοτρύπανα (Polycrystalline Diamond Compact bits PDC)



**Εικόνα 3.16:** Πολυκρυσταλλικά συμπαγή αδαμαντοτρύπανα [22].

Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται επίσης augers (ελικοειδή κοπτικά) και κοπτικά με ελάσματα (drag bits), τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως και στη μεταλλευτική βιομηχανία. Τα κοπτικά αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται κυρίως κατά την έναρξη όρυξης μιας βαθιάς γεώτρησης ή κατά την όρυξη γεωτρήσεων μικρού βάθους [7].

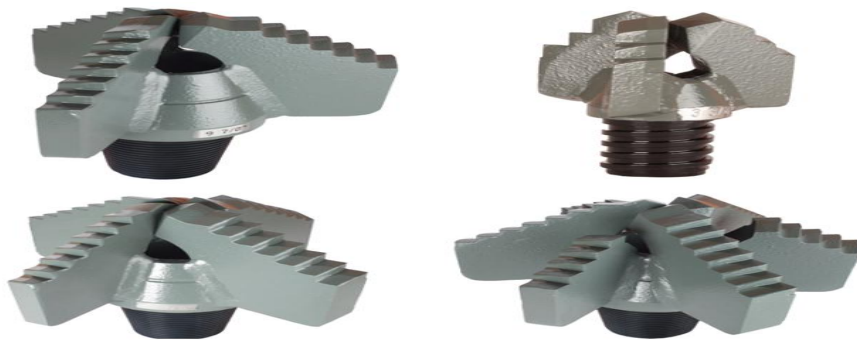
- Κοπτικά με ελάσματα (drag bits)

Τα κοπτικά με ελάσματα αποτελούν τον παλαιότερο τύπο κοπτικών που χρησιμοποιήθηκαν στην περιστροφική όρυξη γεωτρήσεων. Το πρώτο κοπτικό αυτού του τύπου διέθετε δύο ελάσματα (two-blade fishtail bit). Σήμερα κατασκευάζονται σε πολλούς τύπους, με ένα ή περισσότερα κοπτικά ελάσματα (cutter blades) διαφόρων σχημάτων. Τα κοπτικά ελάσματα είτε είναι ενσωματωμένα στο κυρίως σώμα του



κοπτικού, είτε στερεώνονται πάνω σε αυτό και περιστρέφονται όλα μαζί σαν μια μονάδα μαζί με τη διατρητική στήλη. [13]

Το κοπτικό με ελάσματα (εικόνα 3.17) χρησιμοποιείται κυρίως σε μαλακούς και κολλώδεις (gummy), μη συνεκτικούς σχηματισμούς. Τα παραγόμενα από την όρυξη θρύμματα τείνουν να προσκολλώνται πάνω στα ελάσματα του κοπτικού, ελαττώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητά του. Η απόδοση του κοπτικού βελτιώνεται σημαντικά με την επιλογή του κατάλληλου μεγέθους ακροφυσίων (bit nozzles), έτσι ώστε να είναι διαθέσιμη στο κοπτικό η μέγιστη δυνατή υδραυλική ισχύς. Σε σκληρότερους και πιο συνεκτικούς σχηματισμούς επιταχύνεται σημαντικά η φθορά του κοπτικού και μειώνεται ο ρυθμός προχώρησης [13].



**Εικόνα 3.17:** Κοπτικό με ελάσματα [28].

- Κοπτικά με περιστρεφόμενους κώνους (roller cone bits-RCB ή rolling cutter bits ή rock bits)

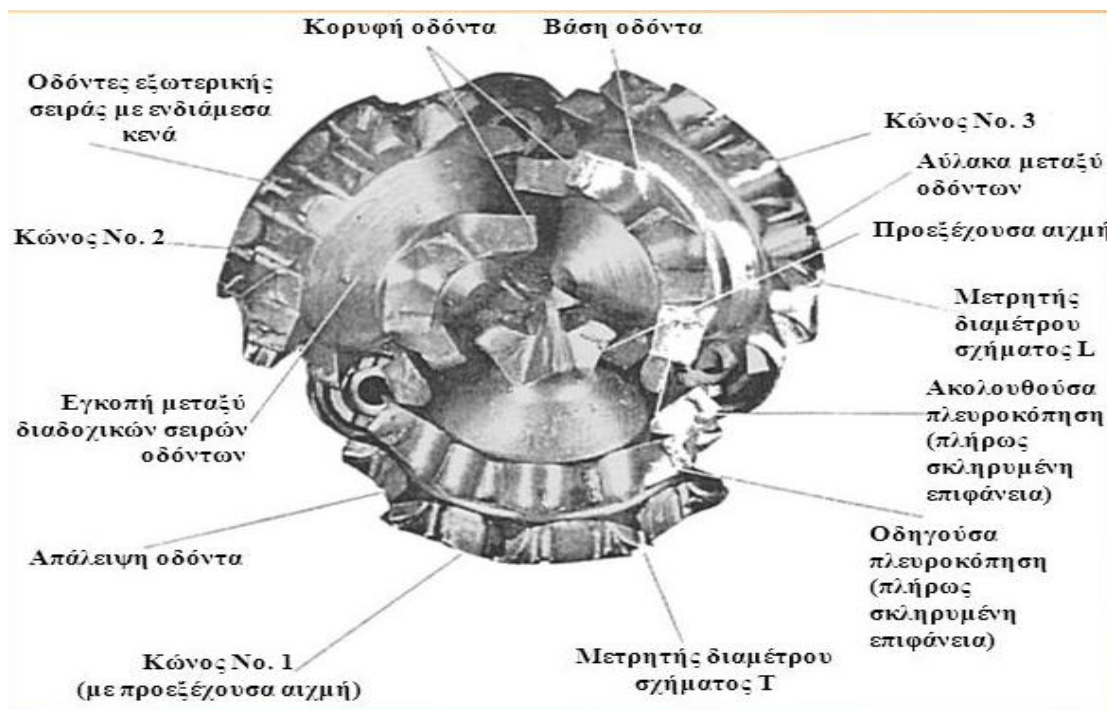
Τα κοπτικά με περιστρεφόμενους κώνους (cones) ή κοπτήρες (cutters) περιόρισαν σημαντικά, μετά την εμφάνισή τους το 1920, τη χρήση των κοπτικών με ελάσματα. Αυτό οφείλεται στην αυξημένη προσαρμοστικότητά τους, καθώς μπορούν να διατρύουν όλους τους τύπους των σχηματισμών και στο ότι επιτυγχάνουν έλεγχο στην κατευθυνόμενη διάτρηση. Επιπλέον, οι τεχνολογικές εξελίξεις επαύξησαν τη διάρκεια της λειτουργικής ζωής του κοπτικού, μειώνοντας σημαντικά το χρόνο αντικατάστασής του (χρόνος μανούβρας). Ένα κοπτικό με περιστρεφόμενους κώνους αποτελείται από τρία τμήματα: την άτρακτο (shank), τα σκέλη (bit legs), πάνω στα οποία προσαρμόζονται οι κώνοι, και τους τριβείς (journal pins). Κάθε κώνος έχει ομόκεντρες σειρές οδόντων οι οποίοι αλληλοεμπλέκονται (interfit) με τους οδόντες του γειτονικού κώνου. Οι οδόντες είτε είναι ενσωματωμένοι πάνω στον κώνο και κατασκευασμένοι από το ίδιο μέταλλο με αυτόν (milled teeth bit) είτε είναι ένθετοι, από καρβίδιο του βολφραμίου (tungsten carbide insert bit). Καθώς η άτρακτος του κοπτικού περιστρέφεται με τη διατρητική στήλη, οι κώνοι περιστρέφονται επίσης γύρω από τον άξονά τους. Κατά την περιστροφή του κώνου οι οδόντες που φέρει έρχονται διαδοχικά σε επαφή με τον πυθμένα της γεώτρησης προκαλώντας τοπικά τη θραύση του πετρώματος [12]. Οι κώνοι και οι οδόντες έχουν σχήμα και θέση που βελτιώνει την αποδοτικότητα της όρυξης και την απομάκρυνση των θρυμμάτων. Η

λάσπη διάτρησης εκρέει μέσω ακροφυσίων που βρίσκονται πάνω στην άτρακτο του κοπτικού με αποτέλεσμα την απαγωγή των θρυμμάτων και την ψύξη του κοπτικού, ενώ βοηθάει επίσης σημαντικά στη βελτίωση της θραύσης του πετρώματος. Τα κοπτικά με ενσωματωμένους οδόντες είναι εφοδιασμένα με οδόντες οι οποίοι έχουν διαμορφωθεί πάνω στους κώνους με μηχανουργική επεξεργασία (milled). Συχνά η πρόσοψη (leading face) των οδόντων είναι επενδεδυμένη με καρβίδιο του βολφραμίου που επιμηκύνει τη διάρκεια ζωής τους. Σε μαλακά πετρώματα, όπου τα θρύμματα παράγονται με χαμηλά θλιπτικά φορτία, αλλά δεν απομακρύνονται αμέσως, χρησιμοποιούνται κοπτικά με αραιή διάταξη λεπτών και μακριών οδόντων. Για σκληρότερα πετρώματα μέσης αντοχής, χρησιμοποιούνται κοπτικά με κοντούτερους οδόντες διατεταγμένους σε μικρότερες αποστάσεις μεταξύ τους. Γενικά τα κοπτικά με ενσωματωμένους οδόντες είναι κατάλληλα για πιο μαλακούς σχηματισμούς, οι οποίοι απαιτούν για την όρυξή τους μέτριο βάρος επί του κοπτικού. Τα κοπτικά με ένθετους (εμφυτευμένους) οδόντες περιλαμβάνουν παρεμβύσματα (inserts) ή κομβία (buttons) από καρβίδιο του βολφραμίου τα οποία πρεσάρονται μέσα σε ειδικές οπές διαμορφωμένες πάνω στους περιστρεφόμενους κώνους. Ανάλογα με το σχήμα και την πυκνότητα των παρεμβυσμάτων, τα κοπτικά αυτού του τύπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μαλακούς ή σκληρούς σχηματισμούς [13]. Γενικά οι πιο μαλακοί σχηματισμοί απαιτούν για την όρυξή τους κοπτικά με αιχμηρά, ημιοξύληκτα (sharp, semipointed) παρεμβύσματα σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ οι σκληροί σχηματισμοί ορύσσονται καλύτερα με κοπτικά που φέρουν μεγάλο αριθμό στρογγυλεμένων κομβίων. Υπάρχουν τρεις τύποι κοπτικών με περιστρεφόμενους κώνους: Το δίκωνο κοπτικό (two cone bit), το οποίο χρησιμοποιείται μόνο από την πετρελαϊκή βιομηχανία και κατασκευάζεται μόνο με ενσωματωμένους οδόντες, ενώ η χρήση του περιορίζεται σε μαλακούς σχηματισμούς (όπου ο καθαρισμός του κοπτικού από τα θρύμματα είναι δύσκολος). Το τρίκωνο κοπτικό (three cone bit), το οποίο είναι το πιο ευρέως διαδεδομένο και περιλαμβάνει είτε ενσωματωμένους, είτε ένθετους οδόντες από καρβίδιο του βολφραμίου. Το τετράκωνο κοπτικό (four cone bit), το οποίο κατασκευάζεται μόνο με ενσωματωμένους οδόντες και χρησιμοποιείται σε γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου (26 in ή μεγαλύτερες), μέσα σε μαλακούς κυρίως σχηματισμούς.

- *Το τρίκωνο κοπτικό (three cone bit)*

Το τρίκωνο κοπτικό περιλαμβάνει τρεις κώνους (εικόνα 3.18), καθένας από τους οποίους είναι προσαρμοσμένος πάνω σε ένα σκέλος, μέσω κατάλληλης διάταξης τριβών (ρουλεμάν). Ο κάθε κώνος περιστρέφεται γύρω από έναν πείρο (pin) που αποτελεί προέκταση του σκέλους του κοπτικού. Τα τρία σκέλη είναι συγκολλημένα μεταξύ τους και σχηματίζουν την κυλινδρική άτρακτο του κοπτικού, που φέρει εξωτερικό σπείρωμα ώστε να βιδώνεται στο άκρο της διατρητικής στήλης. Κάθε σκέλος είναι εφοδιασμένο με ένα άνοιγμα (για την κυκλοφορία των ρευστών), το μέγεθος του οποίου μπορεί να μειωθεί με την προσαρμογή ακροφυσίων διαφορετικών μεγεθών [13]. Τα ακροφύσια επιτρέπουν την έξοδο της λάσπης με

μεγάλη ταχύτητα ώστε να επιτυγχάνεται αποτελεσματική απομάκρυνση των θρυμμάτων. Η λάσπη κυκλοφορεί μέσω της διατηρητικής στήλης, περνάει μέσα από το άνοιγμα του κυλινδρικού στελέχους και μέσα από τα τρία ακροφύσια. Αν όλα τα ακροφύσια έχουν το ίδιο μέγεθος, καθένα παραλαμβάνει το ένα τρίτο της ποσότητας του ρευστού. Μεγάλης σημασίας είναι η διάταξη των οδόντων σε κάθε κώνο και η σχέση των οδόντων των κώνων μεταξύ των. Οι εσωτερικές γραμμές των οδόντων τοποθετούνται σε κάθε κώνο με τρόπο που να επιτρέπεται να αλληλεμπλέκονται. Τούτο βοηθά στο να εξασφαλίζεται περισσότερη διαθέσιμη επιφάνεια για τον καλύτερο σχεδιασμό του κοπτικού, καλύτερος καθαρισμός και μεγαλύτερη κάλυψη στην επιφάνεια προσβολής από δεδομένο αριθμό οδόντων (από τα περισσότερα κοπτικά καλύπτεται το 70% της επιφάνειας προσβολής). Η εξωτερική σειρά οδόντων σε κάθε κώνο δεν αλληλεμπλέκεται. Αυτή η σειρά καλείται να επιτελέσει την πιο σκληρή εργασία. Λόγω της κυκλικής γεωμετρίας, περισσότερο πέτρωμα πρέπει να απομακρύνεται από τον εξωτερικό δακτύλιο του πυθμένα γεγονός δύσκολο διότι το πετρώματα έχει την τάση να μένει προσαρτημένο στα τοιχώματα του πυθμένα. Κάποια από τα δόντια της εξωτερικής σειράς σχεδιάζονται με ενδιάμεσα κενά (interruption) που επιτρέπουν στο δόντι να δημιουργεί κατά την κοπή μικρότερα θρύμματα από το μέγεθος που θα αντιστοιχούσε στο κανονικό μέγεθος του δοντιού έτσι ώστε τα αυτά να μην ενσφηνώνονται μεταξύ των δοντιών.



**Εικόνα 3.18:** Τμήματα κοπτικού με 3 κώνους [27].

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το σχεδιασμό ενός τρίκωνου κοπτικού αφορούν στον τύπο και τη σκληρότητα του σχηματισμού που ορύσσεται και τη διάμετρο της γεώτρησης. Η σκληρότητα του σχηματισμού υπαγορεύει τον τύπο και τις ιδιότητες του υλικού κατασκευής των οδόντων του κοπτικού [13].

· Ταξινόμηση τρίκωνων κοπτικών

Ο Διεθνής Σύνδεσμος Εργοληπτών Γεωτρήσεων-ΔΣΕΓ (*International Association of Drilling Contractors-IADC*) ενέκρινε το 1972 ένα σύστημα ταξινόμησης των κοπτικών με περιστρεφόμενους κώνους. Σύμφωνα με αυτό, κάθε κοπτικό χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο τριών (3) αριθμητικών κωδικών. Το 1987 ο IADC περιέλαβε κι έναν τέταρτο αλφαριθμητικό κωδικό. Το 1992, το σύστημα επεκτάθηκε περαιτέρω για να περιλαμβάνει περισσότερους τύπους κοπτικών. Ο πρώτος κωδικός ή ψηφίο ορίζει τη σειρά ταξινόμησης που σχετίζεται με τη δομή των οδόντων [13].

Για τα κοπτικά με ενσωματωμένους οδόντες (milled tooth):

Ο *πρώτος κωδικός* φέρει τα νούμερα 1 έως 3, που περιγράφουν μαλακά, μέτρια και σκληρά πετρώματα, αντίστοιχα. Τα μαλακά πετρώματα (αριθμός 1) απαιτούν μακριούς, λεπτούς και αραιούς οδόντες για αποδοτική διάτρηση. Οι μέτριοι σχηματισμοί (αριθμός 2) απαιτούν κοντούς και λιγότερο αραιούς οδόντες προκειμένου να αντέχουν τα υψηλά θλιπτικά φορτία. Οι σκληρότεροι σχηματισμοί (αριθμός 3) απαιτούν πολύ κοντούς και πυκνούς οδόντες για μέγιστη διάρκεια ζωής του κοπτικού και αποδοτική διάτρηση. Τα κοπτικά με ένθετους οδόντες φέρουν ως πρώτο κωδικό τους αριθμούς 4 έως 8, ανάλογα επίσης με την σκληρότητα των σχηματισμών.

Ο *δεύτερος κωδικός* σχετίζεται με την περαιτέρω υποδιαίρεση της σκληρότητας του σχηματισμού και φέρει τους αριθμούς 1 έως 4. Οι αριθμοί αυτοί υποδηλώνουν διαβάθμιση σκληρότητας από το μαλακότερο στο σκληρότερο σχηματισμό της κάθε ομάδας [13].

Ο  *τρίτος κωδικός* περιγράφει τα μηχανολογικά και σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του κοπτικού, όπως π.χ. στεγανούς ή μη στεγανούς τριβείς, τύπος λιπαντικού των τριβέων κ.λπ. Ο τέταρτος κωδικός περιγράφει επιπλέον στοιχεία των κοπτικών σε σχέση με τις κοπτικές ακμές, τους τριβείς, τα στεγανά (seals), την υδραυλική συμπεριφορά και τις ειδικές εφαρμογές. Τα τρίκωνα κοπτικά είναι διαθέσιμα σχεδόν σε οποιαδήποτε διάσταση μεταξύ 33/8 – 25 in. Στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι επίσης διαθέσιμα σε οποιοδήποτε τύπο κοπτικών δομών και συστήματος ακροφυσίων.

· Αδαμαντοκορώνες ή αδαμαντοκοπτικά (*diamond bits*)

Υπάρχουν τρεις τύποι αδαμαντοκοπτικών, ανάλογα με το είδος των φερόμενων διαμαντιών:

- Αδαμαντοκορώνες με φυσικά ή συνθετικά διαμάντια,
- Πολυκρυσταλλικά συμπαγή αδαμαντοκοπτικά (polycrystalline diamond compact bits – PDC bits),
- Θερμικά σταθερά πολυκρυσταλλικά αδαμαντοκοπτικά (thermally stable polycrystalline diamond bits –TSP bits).

Οι παραπάνω τρεις τύποι κοπτικών διαφέρουν ως προς τη φύση των κοπτικών στοιχείων τα οποία θραύουν το πέτρωμα με μηχανικά διαφορετικό τρόπο. Οι αδαμαντοκορώνες παρουσιάζουν διαφορετική δομή από τα κοπτικά με περιστρεφόμενους κώνους. Δεν περιλαμβάνουν κινούμενα μέρη και καθώς το διαμάντι είναι το πιο σκληρό γνωστό ορυκτό, τα αδαμαντοκοπτικά είναι κατάλληλα για μέτριους και σκληρούς, λειαντικούς σχηματισμούς. Τα αδαμαντοκοπτικά παρουσιάζουν επίσης εξαιρετικά μεγάλη διάρκεια ζωής σε σύγκριση με τους άλλους τύπους κοπτικών, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η ανάγκη αντικατάστασής τους. Χρησιμοποιούνται έτσι στις περιπτώσεις που απαιτείται το κοπτικό να λειτουργεί για περισσότερο χρόνο, μειώνοντας το χρόνο μανούβρας, (π.χ. βαθιές γεωτρήσεις και θαλάσσιες γεωτρήσεις, όπου το κόστος λειτουργίας του γεωτρήσανου είναι πολύ υψηλό) (εικόνα 3.19) [13].

Τα κοπτικά στοιχεία ενός αδαμαντοκοπτικού αποτελούνται από έναν μεγάλο αριθμό διαμαντιών μικρού μεγέθους, γεωμετρικά κατανομημένων μέσα σε μια μήτρα από καρβίδιο του βολφραμίου και χάλυβα. Η γεωμετρική κατανομή των διαμαντιών στη μετώπη του κοπτικού βοηθά στο να βελτιώνεται η κοπτική αλληλεπίδρασή τους (cutting interaction). Οι αδαμαντοκορώνες κατασκευάζονται είτε ως κοπτικά διάτρησης, είτε ως κοπτικά πυρηνοληψίας, σε συνδυασμό με δειγματοσυλλέκτη (core barrel) για τη λήψη πυρήνων από τον υπό έρευνα σχηματισμό. Όταν τα διαμάντια είναι σχετικά μεγάλου μεγέθους (έως και 130 λίθοι/καράτι)<sup>1</sup>, τότε εμφυτεύονται στην επιφάνεια της στεφάνης και κατασκευάζονται τα κοπτικά κόκκου. Τα κοπτικά αυτά είναι κατάλληλα για τη διάτρηση μαλακών και μέτριας σκληρότητας σχηματισμών. Όταν τα διαμάντια είναι μικρά, 200-4500 λίθοι/καράτι, είτε παρουσιάζουν κοκκομετρία 18-50 mesh, αναμειγνύονται με το υλικό της στεφάνης και κατεργάζονται σε υψηλές θερμοκρασίες όπου και συσσωματώνονται [13]. Έτσι κατασκευάζονται τα κοπτικά κόνεως. Τα κοπτικά κόνεως είναι κατάλληλα για τη διάτρηση πολύ σκληρών, φθοροποιών ή ρωγματομένων σχηματισμών. Κατά τη διάτρηση, με την ομαλή φθορά και της στεφάνης, νέες κοπτικές ακμές εκτίθενται προς χρήση, με αποτέλεσμα να διατηρείται μια σχετικά σταθερή διατρητική συμπεριφορά του κοπτικού μέχρι την πλήρη φθορά του. Το διαμάντι είναι το πιο σκληρό ορυκτό που είναι γνωστό και έχει τιμή 10 στην κλίμακα Mohs της σκληρότητας των ορυκτών. Η κλίμακα Mohs κυμαίνεται από την τιμή 1 για πολύ μαλακό πέτρωμα (τάλκης), έως την τιμή 10 για τα σκληρότερα ορυκτά (διαμάντι). Η θερμική αγωγιμότητα του διαμαντιού είναι επίσης η μεγαλύτερη μεταξύ όλων των ορυκτών, γεγονός που επιτρέπει στο διαμάντι να απορροφά θερμότητα από τις κοπτικές ακμές πολύ γρήγορα. Αυτή είναι μια σημαντική ιδιότητα στην προστασία από την απώλεια διαμαντιών λόγω καύσης ή θερμικής θραύσης. Η αντοχή του σε συμπίεση είναι περίπου 80000 bar (το καρβίδιο του βολφραμίου έχει αντοχή σε συμπίεση 50000 bar, ενώ ο χάλυβας C.45 έχει 15000 bar). Το σημείο τήξης του είναι πολύ υψηλό (3650°C), αλλά σε θερμοκρασία 1450°C μετατρέπεται επιφανειακά σε γραφίτη (γραφίτιση). Ο περιορισμός σε φυσικά διαμάντια και η υψηλή τιμή τους, οδήγησε στην ανάπτυξη συνθετικών διαμαντιών (από γραφίτη σε υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες) τα οποία είναι σήμερα ανταγωνιστικά με τα μικρού μεγέθους φυσικά διαμάντια. Όσο μεγαλώνει το μέγεθος

του κόκκου τόσο το φυσικό διαμάντι υπερτερεί. Η κατασκευή συνθετικών διαμαντιών περιορίζεται στην πράξη σε κοκκομετρίες από 200 λίθους/καράτι και άνω [13]. Ο σχεδιασμός της πρέπει να εξασφαλίζει σωστή κοπή του πετρώματος, έγκαιρη απομάκρυνση των θρυμμάτων, σωστή ψύξη του κοπτικού και αντιμετώπιση πλευρικών καταπονήσεων (σταθερότητα). Στρογγυλά ή ημιστρόγγυλα προφίλ παρέχουν καλύτερη εκμετάλλευση των διαμαντιών, μεγαλύτερη σχετικά ταχύτητα διάτρησης και χρήση σε μεγάλο εύρος σκληρότητας των σχηματισμών. Το μέγεθος των διαμαντιών που χρησιμοποιούνται καθορίζει τον τύπο του πετρώματος που θα διατρηθεί. Η ποιότητα των διαμαντιών, το φορτίο της στεφάνης (το συνολικό βάρος των διαμαντιών που φέρει το κοπτικό σε καράτια) και ο σπλισμός (αριθμός λίθων/μονάδα επιφάνειας κοπής) σε ένα δεδομένο αδαμαντοκοπτικό εξαρτώνται από τον προγραμματιζόμενο ρυθμό προχώρησης και το μέγεθος των θρυμμάτων. Όταν ορίζονται σκληροί σχηματισμοί σε αργούς ρυθμούς προχώρησης, τα θρύμματα είναι πολύ μικρά και πιο εύκολο να καθαριστούν. Στην περίπτωση αυτή προτιμώνται μικρά διαμάντια για να εξασφαλίσουν μέγιστη πίεση θλίψη) στο μέτωπο όρυξης, χωρίς να εμποδίζουν την απομάκρυνση των θρυμμάτων. Στους πιο μαλακούς σχηματισμούς, απαιτείται μικρότερο θλιπτικό φορτίο πάνω στο μέτωπο όρυξης. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται μεγαλύτερα διαμάντια για να κόβουν μεγαλύτερα κομμάτια πετρώματος και να αφήνουν περισσότερο χώρο για τη διέλευση των θρυμμάτων. Αν και υπάρχουν γενικοί κανόνες για την επιλογή των διαμαντιών, ο καλύτερος οδηγός είναι η εμπειρία από τα προηγούμενα κοπτικά. Όπως για κάθε κοπτικό, η απόφαση χρήσης αδαμαντοκορώνας θα πρέπει να βασίζεται σε ανάλυση κόστους [13]. Η εμπειρία δείχνει ότι τα αδαμαντοκοπτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν οικονομικά στις ακόλουθες περιπτώσεις:

1. Όπου η ζωή των κοπτικών με περιστρεφόμενους κώνους είναι πολύ μικρή, είτε εξαιτίας φθοράς των τριβέων ή των οδόντων, είτε εξαιτίας θραύσης των οδόντων.
2. Όταν ο ρυθμός προχώρησης είναι πολύ αργός (1,5 m/h ή λιγότερο), είτε επειδή η πυκνότητα της λάσπης είναι υψηλή, είτε επειδή το γεωτρήσιμο δεν διαθέτει επαρκή υδραυλική ισχύ.
3. Σε γεωτρήσεις με διάμετρο 6 in ή μικρότερη, όταν η ζωή των κοπτικών με περιστρεφόμενους κώνους είναι περιορισμένη.
4. Κατά την αύξηση της κλίσης στις κατευθυνόμενες γεωτρήσεις.
5. Όταν το βάρος πάνω στο κοπτικό είναι περιορισμένο.
6. Στην όρυξη με ενδογεωτρητικούς κινητήρες (τουρμπίνες), όπου οι υψηλές ταχύτητες περιστροφής ενισχύουν την εισχώρηση της κορώνας μέσα στο σχηματισμό.

Η χρήση των αδαμαντοκορώνων περιορίζεται σε ορισμένους μέτριους έως πολύ σκληρούς και ρωγματισμένους σχηματισμούς, όπου τα διαμάντια μπορούν να εκτεθούν σε ισχυρές προσκρούσεις. Οι σχηματισμοί που περιέχουν πυρίτη ή θειούχο σίδηρο μειώνουν τη ζωή των κοπτικών αυτών καταστρέφοντας τα διαμάντια [13].

- Τα πολυκρυσταλλικά συμπαγή αδαμαντοκοπτικά (*Polycrystalline Diamond Compact – PDC Bits*)

Αποτελούν ουσιαστικά τη νέα γενιά του παλαιού κοπτικού με ελάσματα (drag ή fishtail bit) και δεν περιλαμβάνουν κινούμενα μέρη. Αποτελούνται από ένα αριθμό κοπτικών στοιχείων καθένα από τα οποία περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό κοπτικών ακμών. Οι κοπτικές ακμές κατασκευάζονται με συγκόλληση μιας στρώσης (πάχους λίγων δεκάτων του χιλιοστού) βιομηχανικών (πολυκρυσταλλικών) διαμαντιών (με τυχαίο προσανατολισμό) πάνω σε ένα υπόστρωμα κόνεως καρβιδίων του βολφραμίου, υπό υψηλή πίεση και θερμοκρασία. Η κοπτική ακμή εμπεριέχει πολλούς κρυστάλλους διαμαντιών ενωμένους μεταξύ των έτσι ώστε να σχηματίζουν ένα τετράεδρο. Οι κοπτικές ακμές έχουν τη σκληρότητα και την αντίσταση σε φθορά του διαμαντιού ενισχυμένη και από την αντοχή σε πρόσκρουση της συγκεκριμένης διακόνεως στρώσης καρβιδίων του βολφραμίου. Οι ακμές είτε συγκολλούνται μέσα στη μήτρα του κοπτικού η οποία είναι από καρβίδιο του βολφραμίου, είτε εμφυτεύονται ως ειδικά διαμορφωμένα βίδια (studs) καρβιδίων του βολφραμίου (κοπτήρες-cutters) επί χαλύβδινης μήτρας του κοπτικού. Τα πολυκρυσταλλικά αδαμαντοκοπτικά παρουσιάζουν ορισμένα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά που ενισχύουν τη διατηρητική τους ικανότητα όπως:

Η έλλειψη κινούμενων μερών μειώνει την πιθανότητα αστοχίας του κοπτικού.

Δεν απαιτούνται μεγάλα βάρη πάνω στο κοπτικό. Αυτό το χαρακτηριστικό τα καθιστά κατάλληλα στον έλεγχο της απόκλισης της τροχιάς, σε κεκλιμένες γεωτρήσεις.

Ο συνδυασμός χαμηλού βάρους στο κοπτικό και μη κινούμενων μερών τα καθιστά κατάλληλα για όρυξη με ενδογεωτρητικούς κινητήρες.

Όσο αυξάνει η εμπειρία από τη χρήση τους και βελτιώνονται τα χαρακτηριστικά τους τα πολυκρυσταλλικά αδαμαντοκοπτικά μπορούν να ορύσσουν (χωρίς αλλαγή) 3-4 φορές μεγαλύτερο πάχος σχηματισμού, σε σύγκριση με τα κοπτικά με περιστρεφόμενους κώνους (αν δεν παρουσιάζονται προβλήματα με κολλώδεις σχηματισμούς) και μάλιστα με 2/πλάσιους ή 3/πλάσιους ρυθμούς. Το κυριότερο μειονέκτημα των πολυκρυσταλλικών αδαμαντοκοπτικών είναι ότι είναι ευαίσθητα σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 800°C.



**Εικόνα 3.19:** Διάφορα είδη κοπτικών άκρων [18].

- Τα θερμικά σταθερά πολυκρυσταλλικά αδαμαντοκοπτικά (*thermally stable polycrystalline diamond bits –TSP bits*)

Αποτελούν την πιο πρόσφατη εξέλιξη στα αδαμαντοκοπτικά. Σε αντίθεση με τα πολυκρυσταλλικά αδαμαντοκοπτικά, τα αδαμαντοκοπτικά TSP έχουν υποστεί κατεργασία που εξαλείφουν τα μη συμβατά στοιχεία από την άποψη της θερμικής διαστολής και γι' αυτό μπορούν να αντέχουν στις θερμοκρασίες που απαιτούνται για την κατασκευή μια μήτρας καρβιδίου. Το τριγωνικό τους σχήμα έχει οξύληκτες ακμές για τη διάτμηση του πετρώματος. Τα διαμάντια TSP χρησιμοποιούνται συχνά σε συνδυασμό με τα φυσικά διαμάντια [13].

- Ταξινόμηση αδαμαντοκοπτικών

Η ταξινόμηση των αδαμαντοκοπτικών, σύμφωνα με τον Διεθνή Σύνδεσμο Εργοληπτών Γεωτρήσεων-ΔΣΕΓ (International Association of Drilling Contractors-IADC) βασίζεται σε ένα σύστημα τεσσάρων κωδικών, ώστε να είναι συνεπής με την ταξινόμηση των κοπτικών με περιστρεφόμενους κώνους.



**Ο πρώτος κωδικός** είναι ένας αλφαριθμητικός χαρακτήρας που ορίζει τον τύπο του κοπτικού στοιχείου ως εξής:

**D**: με φυσικά διαμάντια

**M**: με μήτρα από καρβίδιο του βολφραμίου και διαμάντια PDC

**S**: με μήτρα από χάλυβα και διαμάντια PDC

**T**: με θερμικά διαμάντια TSP

**O**: άλλος τύπος

**Ο δεύτερος κωδικός** είναι ένας αριθμός από το 1 έως το 4 και εκφράζει τη σκληρότητα των πετρωμάτων από μαλακά έως σκληρά.

**Ο τρίτος κωδικός** σχετίζεται με την περαιτέρω υποδιαίρεση της σκληρότητας του σχηματισμού και φέρει τους αριθμούς 1 έως 4. Οι αριθμοί αυτοί υποδηλώνουν διαβάθμιση σκληρότητας από το μαλακότερο στο σκληρότερο σχηματισμό της κάθε ομάδας.

**Ο τέταρτος κωδικός** είναι από 1 έως το 9 και ορίζει το προφίλ της στεφάνης και το πεδίο χρήσης του κοπτικού (με ενδογεωτρητικούς κινητήρες, για πλευρική όρυξη, για δειγματοληψία, άλλες εφαρμογές). Τα αδαμαντοκοπτικά δεν είναι γενικά διαθέσιμα σε οποιοδήποτε μέγεθος πάνω από τις 15 in. Τα αδαμαντοκοπτικά γενικά κατασκευάζονται κατά παραγγελία [13].

#### · **Μηχανισμός αποσύνθεσης του πετρώματος**

Για την αποτελεσματική λειτουργία ενός κοπτικού, ο μηχανικός γεωτρήσεων θα πρέπει να αντιληφθεί τους βασικούς μηχανισμούς αποσύνθεσης του πετρώματος οι οποίοι περιλαμβάνουν έννοιες όπως ενσφήνωση, απόξεση και λείανση, διάβρωση από εκτοξευόμενο ρευστό, κρούση και λειοτρίβηση. Κατά ένα τρόπο οι μηχανισμοί αυτοί είναι αλληλεξαρτώμενοι. Παρά το γεγονός ότι κάποιος από αυτούς είναι κυρίαρχος για ένα δεδομένου τύπου κοπτικό, στη διαδικασία της αποσύνθεσης υπεισέρχονται περισσότεροι του ενός μηχανισμοί. Τα κοπτικά με ελάσματα σχεδιάστηκαν για να διατρύουν με ενσφήνωση των ελασμάτων έτσι ώστε να φθείρονται με αργό ρυθμό [1]. Και τούτο διότι όταν σβαρνίζουν, αποξέουν και λειοτριβούν, η προχώρηση είναι αργή και η φθορά γρήγορη. Η ελικοειδής κίνησή των συμβάλλει στην αφαίρεση του τμήματος του πετρώματος από το κέντρο της γεώτρησης. Κατακόρυφη δύναμη (bit weight force) εφαρμόζεται στην κοπτική ακμή ως αποτέλεσμα του βάρους που ασκείται στο κοπτικό. Οριζόντια δύναμη (turning force) εφαρμόζεται επίσης στην κοπτική ακμή λόγω της ροπής στρέψης που αναπτύσσεται κατά την περιστροφή του κοπτικού [1]. Το αποτέλεσμα της δράσης των δύο δυνάμεων αυτών είναι η δύναμη διείδυσης (thrust force). Η διείδυση της κοπτικής ακμής προκαλεί πλευρική θραύση του πετρώματος (υπερνίκηση της διατμητικής αντοχής του σχηματισμού-shear strength), η οποία ξεκινά από τη θέση

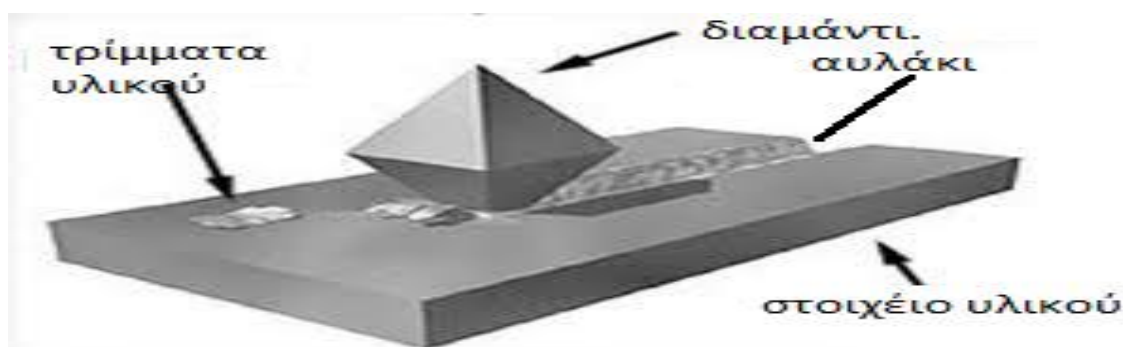
της εγκοπής με κατεύθυνση τη φορά της περιστροφής. Η γωνία μεταξύ της κοπτικής ακμής και της επιφάνειας προσβολής (bottom clearance angle) αποτρέπει το σβάρνισμα του πυθμένα και επομένως τη φθορά του κοπτικού. Η γωνία αυτή δεν πρέπει, εντούτοις, να είναι μεγάλη για να αποφεύγεται η έντονη διείδυση της ακμής (βαθύ σκάψιμο), όταν ο λόγος βάρους επί του κοπτικού/ροπή στρέψης είναι πολύ μεγάλος.

Τα κοπτικά με περιστρεφόμενους κώνους και με μηδενική μετατόπιση κώνων (offset) σχεδιάστηκαν για την διάτρηση σκληρών και ψαθυρών σχηματισμών, όπως έχει ήδη αναφερθεί, και όπου οι ρυθμοί προχώρησης είναι σχετικά μικροί και το κόστος μεγάλο. Η μελέτη του μηχανισμού της αποσύνθεσης του πετρώματος στην περίπτωση της χρήσης τέτοιου τύπου κοπτικών βασίστηκε στην εκτέλεση βασικών πειραμάτων όπου έγινε προσπάθεια να προσομοιωθούν οι συνθήκες που επικρατούν στον πυθμένα της γεώτρησης. Ο Maurer (1965), μελέτησε τα φαινόμενα θεωρώντας τη συμπεριφορά ενός διείδυτη (οδόντα-σφήνα) υπό αξονική φόρτιση επί ενός πετρώματος και διατύπωσε τη θεωρία των κρατήρων. Παρατήρησε, κατά τη διάρκεια των πειραμάτων του, ότι ο μηχανισμός των κρατήρων επηρεάζεται σημαντικά από τη διαφορά της πίεσης που επικρατεί στον πυθμένα και της πίεσης του σχηματισμού. Όσο μικρότερη ήταν αυτή η διαφορά, το θρυμματισμένο πέτρωμα κάτω από τον κοπτήρα εκτοξεύετο από τον κρατήρα, ενώ σε μεγάλες διαφορές πιέσεων το θρυμματισμένο πέτρωμα παραμορφώνονταν, επιδεικνύοντας μια πλαστική συμπεριφορά και δεν μπορούσε να απομακρυνθεί με ευκολία. Καθώς εφαρμόζεται αξονική φόρτιση στον κοπτήρα (bit tooth), η πίεση κάτω από αυτόν αυξάνει έως ότου υπερβεί τη θλιπτική αντοχή του πετρώματος οπότε, κάτω από τον κοπτήρα δημιουργείται μια περιοχή η οποία έχει συνθλιβεί και έχει μορφή κρατήρα (crushed wedge). Καθώς η αξονική δύναμη αυξάνει, το υλικό κάτω από τον κοπτήρα συμπιέζεται και ασκεί έντονες πλευρικές δυνάμεις στο συμπαγές τμήμα του πετρώματος (solid rock), το οποίο περιβάλλει την περιοχή του κρατήρα, έως ότου η διατμητική τάση υπερβεί τη διατμητική αντοχή του και το πέτρωμα ρωγματοωθεί (fracture).

Με τη συνεχή αύξηση της φόρτισης του κοπτήρα, προκύπτουν συνακόλουθες (διαδοχικές) ρωγματώσεις δημιουργώντας μια έντονα θρυμματισμένη ζώνη (broken rock). Σε χαμηλές διαφορές πιέσεων, το θρυμματισμένο πέτρωμα απομακρύνεται (ejection) εύκολα από τον κρατήρα. Ο κοπτήρας ακολούθως μετατοπίζεται προς τον πυθμένα του κρατήρα και ο ίδιος μηχανισμός επαναλαμβάνεται. Σε υψηλές διαφορές πιέσεων, η κατακόρυφη πίεση και η τριβή μεταξύ των θρυμμάτων εμποδίζει την απομάκρυνσή τους από τον κρατήρα. Καθώς η φόρτιση του κοπτήρα αυξάνει, επέρχεται μετατόπιση των επιπέδων ρωγμάτωσης παράλληλα προς το επίπεδο της αρχικής ρωγμάτωσης. Έτσι εμφανίζεται μια πλαστική παραμόρφωση και οι κρατήρες που δημιουργούνται καλούνται ψευδοπλαστικοί κρατήρες. Τα κοπτικά με περιστρεφόμενους κώνους και με μεγάλη μετατόπιση των κώνων (offset) εμπεριέχουν όλους τους μηχανισμούς για την αποσύνθεση του πετρώματος. Η διατρητική συμπεριφορά των κοπτικών αυτών είναι περισσότερο πολύπλοκη από

αυτή που χαρακτηρίζει τα κοπτικά χωρίς offset (για σκληρούς σχηματισμούς). Κάθε κώνος κυλά και σβανίζει εναλλάξ με αποτέλεσμα να εμφανίζεται και διείδυση και απόξεση (εικόνα 3.20) [13].

Οι αδαμαντοκορώνες λόγω του μικρού μεγέθους των διαμαντιών και του κατά κάποιο τρόπο τυχαίου και ακανόνιστου σχήματός τους, θραύουν το πέτρωμα με ένα συνδυασμό διάτμησης (shearing) και σύνθλιψης (crushing). Οι Appl, Rowley και Bridwell (1974) ανέπτυξαν μια θεωρία για τη δράση των αδαμαντοκορωνών θεωρώντας διαμάντια σφαιρικού σχήματος. Σύμφωνα με αυτή, η αποσύνθεση του πετρώματος επιτυγχάνεται αρχικά με τη διείδυση των διαμαντιών στο σχηματισμό και στη συνέχεια με το έντονο σβάνισμά των. Είναι μια λειτουργία όμοια με το όργωμα του χώματος με αλέτρι (plowing action).



**Εικόνα 3.20:** Αποσύνθεση πετρώματος με αδαμαντοκορώνα [42].

Ο μηχανισμός θραύσης του πετρώματος από ένα πολυκρυσταλλικό αδαμαντοκοπτικό (PDC bit). Οι κοπτικές ακμές είναι συναρμολογημένες με τέτοιο τρόπο ώστε να αποσυνθέτουν το πέτρωμα λόγω διατμητικής αστοχίας, γεγονός που περιορίζει τη χρήση των πολυκρυσταλλικών αδαμαντοκοπτικών σε μαλακούς και μέτριας σκληρότητας σχηματισμούς. Κατά την όρυξη η κοπτική επιφάνεια παρέχει μία συνεχή αιχμηρή κοπτική ακμή, που οφείλεται στο συνεχές ακόνισμα (micro chipping) της αδαμάντινης πλευράς, ως αποτέλεσμα της φθοράς, και στη σταδιακή αποκάλυψη νέων κοπτικών επιφανειών. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι απαραίτητο για την αποδοτική κοπή του πετρώματος [13].

#### • **Παράμετροι λειτουργίας των κοπτικών**

Η ταχύτητα προχώρησης της γεώτρησης (ταχύτητα διάτρησης) εξαρτάται από μια σειρά παραμέτρων που αφορούν στη λειτουργία του κοπτικού και ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες:

- Τεχνικές παράμετροι διάτρησης:

- Μηχανικές παράμετροι (βάρος-επί-του-κοπτικού, ταχύτητα περιστροφής, τύπος κοπτικού)

Ø Υδραυλικές παράμετροι (παροχή λάσπης, πίεση λάσπης, τύπος και χαρακτηριστικά ρευστού διάτρησης, όπως πυκνότητα, ιξώδες κ.λπ.)

- Ιδιότητες πετρώματος (μηχανικές, ορυκτολογικές, φθοροποιές)

Στις ερευνητικές γεωτρήσεις, τα χαρακτηριστικά των σχηματισμών είναι σχετικά άγνωστος παράγοντας.

Επομένως, δεν μπορεί να υπάρξει ιδανικός συνδυασμός κοπτικού και πετρώματος. Για την όρυξη των ερευνητικών γεωτρήσεων απαιτείται στενή συνεργασία μεταξύ γεωλόγων και μηχανικών γεωτρήσεων. Στις γεωτρήσεις περιχάραξης οι σχηματισμοί είναι γνωστοί αφού έχει προηγηθεί ερευνητική γεώτρηση. Η φύση και το πάχος των στρώσεων που θα ορυχθούν μπορούν, κατά συνέπεια, να προβλεφθούν με ικανοποιητικό βαθμό βεβαιότητας και το κοπτικό επιλέγεται ώστε να ταιριάζει στον τύπο του πετρώματος. Υπάρχουν αρκετοί τύποι κοπτικών που μπορούν να διατρήσουν σωστά ένα δεδομένο σχηματισμό. Η συγκριτική μελέτη της συμπεριφοράς των κοπτικών στις προηγηθείσες γεωτρήσεις επιτρέπει οι υπόλοιπες γεωτρήσεις περιχάραξης να ορυχθούν ταχύτερα και πιο οικονομικά. Η βέλτιστη επιλογή θα είναι το κοπτικό που δίνει τη χαμηλότερη τιμή ανά πόδι ορυσσόμενης γεώτρησης, κάτω από καλές τεχνολογικές συνθήκες. Στις γεωτρήσεις περιχάραξης καταρτίζεται ένα πρόγραμμα κοπτικών που λαμβάνει υπόψη όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες, όπως τα αποτελέσματα των διαγραφιών, τα δεδομένα χρήσης και απόδοσης των προηγούμενων κοπτικών, τις τεχνικές παραμέτρους της διάτρησης των ερευνητικών γεωτρήσεων της περιοχής, τη γεωλογική και πετροφυσική περιγραφή των σχηματισμών. Οι μηχανικοί γεωτρήσεων πάντα τείνουν να επιλέγουν κοπτικά για σκληρότερους σχηματισμούς από αυτά που χρειάζονται πραγματικά [13]. Καθώς αυτά τα κοπτικά είναι ανθεκτικότερα, υπάρχει λιγότερος κίνδυνος αποχωρισμού των κώνων και των οδόντων. Ο έλεγχος της φθοράς του κοπτικού όταν αυτό ανελκυθεί στην επιφάνεια οδηγεί σε χρήσιμα συμπεράσματα, όπως:

- Ένα κοπτικό του οποίου οι τριβείς έχουν φθαρεί θα πρέπει να αντικατασταθεί από άλλο κατάλληλο για πιο μαλακούς σχηματισμούς.
- Ένα κοπτικό με δραματική πτώση του ρυθμού προχώρησης, το οποίο ανελκύεται με εντελώς φθαρμένους οδόντες, αλλά χωρίς να παρατηρείται σημαντική χαλάρωση στους κώνους, θα πρέπει να αντικατασταθεί από άλλο για σκληρότερους σχηματισμούς.
- Ένα κοπτικό με σημαντική απώλεια διαμέτρου, αλλά κανονική φθορά στους οδόντες και τους τριβείς, θα πρέπει να αντικατασταθεί από άλλο το οποίο να προστατεύεται καλά γύρω από το εξωτερικό του και να έχει ελάχιστη εκκεντρότητα.

Επειδή, τις περισσότερες φορές, είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η συνολική κατάσταση του κοπτικού λόγω ανομοιόμορφης φθοράς των οδόντων (κάποιοι έχουν φθαρεί

περισσότερο ή άλλοι έχουν σπάσει), το κοπτικό χαρακτηρίζεται από τη σειρά των οδόντων που έχει υποστεί τη μεγαλύτερη φθορά (εικόνα 3.21). Οι εμφυτευμένοι οδόντες έχουν σκληρές κοπτικές δομές με αποτέλεσμα να λειαινούνται δυσκολότερα. Η φθορά που υφίστανται είναι συνήθως εκρίζωση ή θραύση. Διαβαθμίζονται κατά τρόπο ανάλογο με τον προαναφερθέντα, οι συμβολισμοί όμως εκφράζουν το κλάσμα των οδόντων που έχουν εκρίζωθεί ή σπάσει επί του συνόλου των οδόντων που εξαρχής είχε το κοπτικό.



**Εικόνα 3.21:** Φθορά κοπτικών [27].

### 3.5: ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΣΩΛΗΝΩΜΕΝΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Η παραγωγική σωλήνωση είναι η στήλη η οποία επενδύει τη γεώτρηση σε όλο το βάθος της και καλύπτει και την παραγωγική ζώνη. Τοποθετείται στο πηγάδι και τσιμεντώνεται. Η σωλήνωση, με το πέρας της τοποθέτησής της, παραμένει γεμάτη λάσπη από τη διάτρηση αλλά και από την τσιμέντωση. Το σύστημα καθαρίζεται με την κυκλοφορία ρευστών περισσότερο συμβατών με το περιβάλλον της παραγωγικής ζώνης, όπως νερό ή πετρέλαιο. Για την αποκατάσταση της επικοινωνίας μεταξύ του παραγωγικού σχηματισμού και του τμήματος της γεώτρησης γύρω από τον πυθμένα της, η σωλήνωση διατρύπεται περιμετρικά (perforation) [13].

Για τον σκοπό αυτό ειδική συσκευή καταβιβάζεται στη γεώτρηση με συρματόσχοινο, εκपुरσοκροτεί και διατρύπεί τη σωλήνωση, την τσιμέντωση και τον σχηματισμό. Το αποτέλεσμα είναι η διαμόρφωση ενός διάτρητου τμήματος στη γειτονία του παραγωγικού σχηματισμού, έτσι ώστε το πετρέλαιο ή το αέριο να μπορεί να ρέει από την παραγωγική ζώνη μέσα στη γεώτρηση και από εκεί να αντλείται στην επιφάνεια.

### 3.6: ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΜΗ ΣΩΛΗΝΩΜΕΝΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Αν και δεν αποτελεί πλέον συνηθισμένη διαδικασία, ακολουθείται στις περιπτώσεις όπου μόνιμη σωλήνωση μέσα στον παραγωγικό σχηματισμό δεν είναι απαραίτητη.

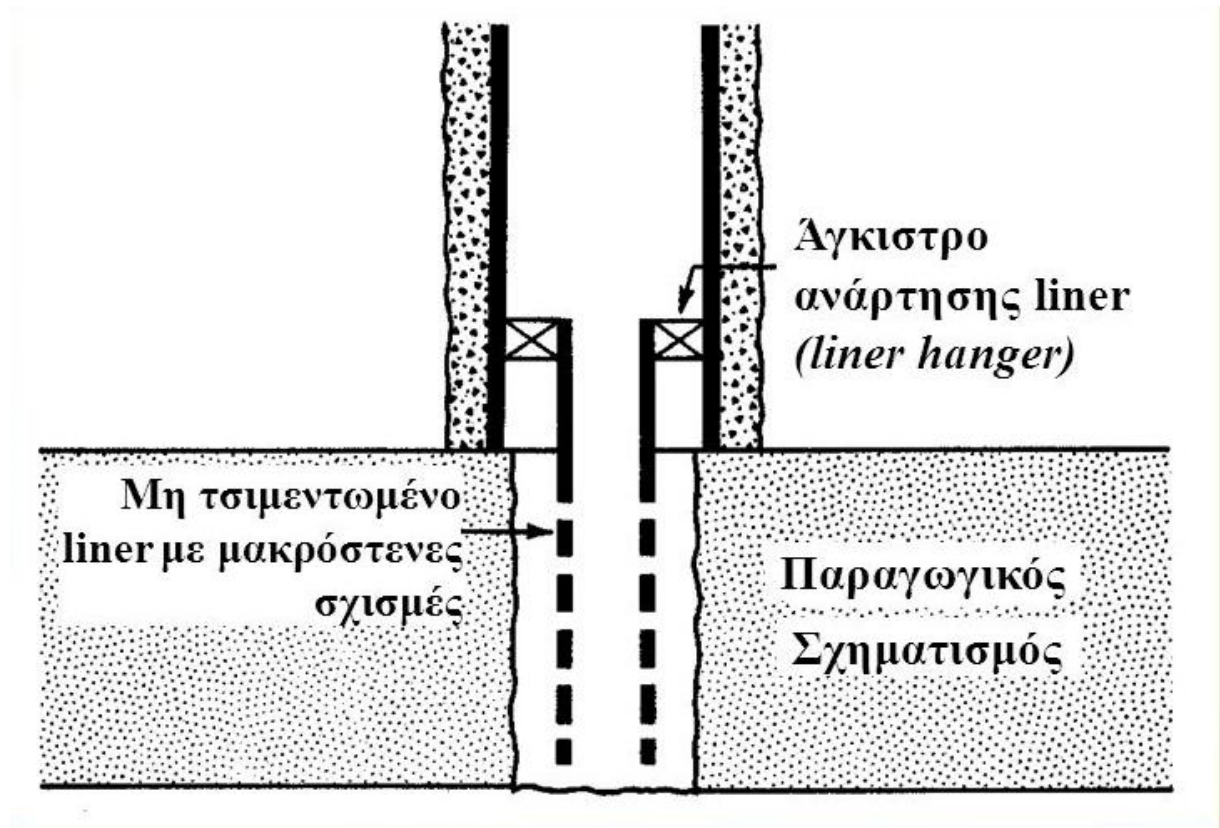
Η ολοκλήρωση μιας μη σωληνωμένης γεώτρησης (απουσία της παραγωγικής σωλήνωσης) περιλαμβάνει τις ακόλουθες εργασίες [13]:

- Η γεώτρηση ορύσσεται κανονικά και επενδύεται με σωλήνωση έως το βάθος που βρίσκεται η οροφή του παραγωγικού σχηματισμού.
- Η διάτρηση της παραγωγικής ζώνης γίνεται με κοπτικό άκρο μικρότερης διαμέτρου από τη διάμετρο της τελευταίας σωλήνωσης δεν σωληνώνεται και αποτελεί το τμήμα επικοινωνίας και ροής των ρευστών προς τη γεώτρηση.

Η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε συνεκτικούς σχηματισμούς, άλλως είναι επικίνδυνο να προκληθούν μεγάλες καταπτώσεις από την πίεση και τη ροή των ρευστών.

### **3.7: ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΤΡΗΤΟΥ LINER**

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, η γεώτρηση ορύσσεται και σωληνώνεται κανονικά έως το βάθος που συναντάται η παραγωγική ζώνη. Διαφοροποιείται στο ότι το τμήμα του παραγωγικού σχηματισμού δεν αφήνεται ελεύθερο (χωρίς σωλήνωση), αλλά επενδύεται με διάτρητο liner (φέρει μακρόστενες σχισμές) (εικόνα 3.), το οποίο αναρτάται από ειδικά άγκιστρα στο εσωτερικό της τελευταίας σωλήνωσης. Το διάτρητο liner βοηθά στην αποφυγή κατάρρευσης των τοιχωμάτων ή εμφράξεων του κατώτερου μέρους της γεώτρησης. Η τεχνική αυτή δεν είναι εφαρμόσιμη σε μαλακούς σχηματισμούς που έχουν την τάση να διαμερίζονται σε μικρού μεγέθους τεμαχίδια τα οποία μπορούν να διέλθουν το διάτρητο liner. Είναι γενικά χρήσιμη τεχνική, διότι αφήνει ελεύθερο το σχηματισμό και επιτρέπει την παραγωγή από όλο το τμήμα του το οποίο βρίσκεται σε επαφή με τη γεώτρηση [13].

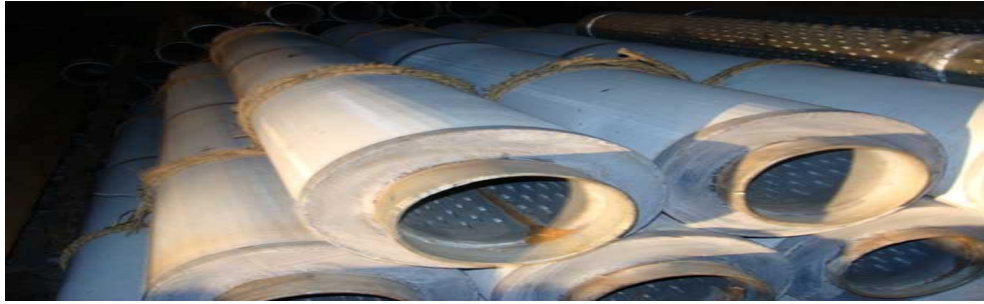


**Εικόνα 3.22:** Παραγωγικός Σχηματισμός Μη τσιμεντωμένο liner με μακρόστενες σχισμες [27].

### 3.8: ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΑΜΜΟΥ (sand control)

Στην περίπτωση μαλακών παραγωγικών σχηματισμών συχνά συναντάται το φαινόμενο της αποσάθρωσης του σχηματισμού από τη ροή των ρευστών. Ως αποτέλεσμα, κόκκοι άμμου να συμπαρασύρονται και να εισέρχονται στη γεώτρηση. Το φαινόμενο αυτό είναι δυνατόν να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα είτε στις εγκαταστάσεις άντλησης που είναι τοποθετημένες μέσα στο πηγάδι, είτε στον εξοπλισμό παραγωγής και επεξεργασίας που είναι στην επιφάνεια [13]. Οι τεχνικές που συνδυάζονται με τις εργασίες ολοκλήρωσης και οι οποίες συμβάλλουν στην αποφυγή της εισόδου της άμμου μέσα στη γεώτρηση είναι:

- Η χρήση χαλικοφίλτρων (gravel packing) (εικόνα 3.23)



**Εικόνα 3.23:**Χαλικόφιλτρα [26].

- Η συγκόλληση των κόκκων της άμμου (sand consolidation)

Σε κάθε περίπτωση αναφερόμαστε σε εργασίες που ακολουθούν αυτές που εκτελούνται σε σωληνωμένο τμήμα της γεώτρησης. Κατά την εφαρμογή της τεχνικής με χαλικόφιλτρα (gravel packing), το διάτρητο τμήμα της σωλήνωσης περιβάλλεται από ένα στρώμα χαλίκων που δρα σαν φίλτρο. Τα χαλικόφιλτρα είτε δημιουργούνται επί τόπου, είτε είναι προκατασκευασμένα και τοποθετούνται στη γεώτρηση μαζί με τη σωλήνωση [13]. Στην περίπτωση όπου τα χαλικόφιλτρα δημιουργούνται επί τόπου, η εισαγωγή των χαλίκων στη γεώτρηση μπορεί να γίνει με τους παρακάτω τρόπους:

- Με αντίστροφη κυκλοφορία. Η λάσπη, στην οποία έχουν προστεθεί χαλίκια διοχετεύεται προς τον πυθμένα της γεώτρησης, μέσω του δακτύλιου και επιστρέφει στην επιφάνεια, μέσω της διατρητικής στήλης, αφού τα χαλίκια συγκρατηθούν από τις οπές του διάτρητου τμήματος της σωλήνωσης.
- Με κανονική κυκλοφορία. Η λάσπη με τα χαλίκια διοχετεύεται από τη διατρητική στήλη και επιστρέφει από τον δακτύλιο. Στην περίπτωση αυτή, όπως και στην προηγούμενη, μπορεί να προηγηθεί έκπλυση του σχηματισμού πίσω από τη σωλήνωση ώστε να σχηματιστεί κοιλότητα και τα χαλίκια στη συνέχεια εισπιέζονται και εισχωρούν και στο χώρο πίσω από το διάτρητο τμήμα της σωλήνωσης.
- Με τη βαρύτητα. Τα χαλίκια εισάγονται στο δακτύλιο και καθιζάνουν με την επίδραση της βαρύτητας [13].

Μετά την τοποθέτηση ή τη δημιουργία των χαλικόφιλτρων, τοποθετείται πρόσθετη επένδυση/σωλήνωση επίσης διάτρητη (το κατώτερο τμήμα της έχει μορφή σίτας) με ανοίγματα πολύ μικρότερα του μεγέθους των χαλίκων, έτσι ώστε να αποτρέπεται η είσοδος των χαλίκων μέσα στη γεώτρηση αλλά να επιτρέπεται η ροή των ρευστών. Προστατευτικό πώμα (packer) απομονώνει το διάκενο μεταξύ των δύο διάτρητων σωληνώσεων, έτσι ώστε η ροή των ρευστών να γίνεται αποκλειστικά μέσω της εσωτερικής σωλήνωσης. Η τεχνική της συγκόλλησης (consolidation) των κόκκων της



άμμου βασίζεται στην εισπίεση εποξικών ρητινών μέσα στη γεώτρηση, οι οποίες, διοχετεύονται μέσω της διάτρητης σωλήνωσης εντός του παραγωγικού σχηματισμού, συγκολλούν τους κόκκους της άμμου και σταθεροποιούν τα τοιχώματα του σχηματισμού. Επιτρέπουν δε τη ροή των ρευστών [13].

### **3.9: ΑΥΞΗΣΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΡΩΓΜΑΤΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΟΞΕΩΝ**

Στην περίπτωση της αύξησης της διαπερατότητας με υδραυλική ρωγμάτωση (hydraulic fracturing) χρησιμοποιείται υγρό, συνήθως πετρέλαιο ή νερό που έχει υποστεί κατάλληλη επεξεργασία για να αυξηθεί το ιξώδες του. Το ρευστό εισπιέζεται (υπό μεγάλη πίεση) μέσα στη γεώτρηση. Διεισδύει στις ρωγμές και τους πόρους του παραγωγικού σχηματισμού μέσω του διάτρητου τμήματος της σωλήνωσης, διευρύνει και επιμηκύνει τις ρωγματώσεις. Στο υγρό προστίθεται συνήθως άμμος ή μικρά μεταλλικά ή γυάλινα σφαιρίδια τα οποία επικάθονται στις ρωγμές και τις διατηρούν ανοικτές (ρωγμή υποστηριζόμενη με κόκκους άμμου (sand propped fracture)). Τούτο είναι απαραίτητο δεδομένου ότι κατά τη διάρκεια της παραγωγής και τη σταδιακή μείωση της πίεσης του κοιτάσματος, επέρχεται συμπίεση του παραγωγικού σχηματισμού με αποτέλεσμα τη βαθμιαία μείωση του πορώδους και της διαπερατότητας του πετρώματος [13]. Η περίπτωση της αύξησης της διαπερατότητας με χρήση οξέων (acid treatment), εφαρμόζεται όταν ο παραγωγικός σχηματισμός είναι ασβεστόλιθος ή δολομίτης. Χρησιμοποιείται υδροφθορικό ή υδροχλωρικό οξύ ή/και μίγμα των δύο. Στο οξύ προστίθενται και ειδικά πρόσθετα για τη μείωση της διάβρωσης των χαλύβδινων εξαρτημάτων της γεώτρησης. Σε μερικές περιπτώσεις γίνεται συνδυασμός της πρώτης τεχνικής (υψηλή πίεση) με τη χρήση οξέως που εισπιέζεται στο πέτρωμα. Επίσης μπορεί να γίνει και διαδοχική εφαρμογή των δύο μεθόδων: πρώτα εισπίεση πετρελαίου ή νερού και στη συνέχεια κατεργασία με οξύ. Οι τεχνικές αυτές μπορούν να εφαρμόζονται και κατά τη διάρκεια της παραγωγικής ζωής του κοιτάσματος, όποτε εκτιμάται ότι προκύπτουν προβλήματα ροής των ρευστών [13].

### **3.10: ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ (Christmas tree)**

Το τελευταίο στάδιο στην ολοκλήρωση της διαδικασίας για την μετατροπή της γεώτρησης σε παραγωγικό σύστημα, αποτελεί η εγκατάσταση στην κορυφή (κεφαλή) της γεώτρησης του εξοπλισμού, ο οποίος συνδέει τον πυθμένα της γεώτρησης με τις εγκαταστάσεις διαχωρισμού και επεξεργασίας στην επιφάνεια [13]. Ο εξοπλισμός αυτός αποτελεί το σύστημα ελέγχου και ρύθμισης της ροής των ρευστών και αποτελείται κυρίως από βαλβίδες, μανόμετρα, όργανα ρύθμισης της πίεσης

(παροχής), ροόμετρα και γραμμές ροής. Η διάταξή τους στο χώρο δίδει την αίσθηση χριστουγεννιάτικου δένδρου και έχει επικρατήσει η περιγραφή του με την ορολογία Christmas tree. Η κύρια βαλβίδα (master valve) αποτελεί το βασικό μηχανισμό ελέγχου της πίεσης. Διαθέτει χειροκίνητο χειρισμό και φέρει αυτόματο σύστημα διακοπής της λειτουργίας της για λόγους ασφάλειας. Η πλευρική βαλβίδα (wing valve) επίσης συμβάλλει στην απομόνωση της γεώτρησης. Η διάταξη μπορεί να φέρει περισσότερες από μία κύριες ή πλευρικές βαλβίδες. Η βαλβίδα στραγγαλισμού (choke) είναι εκείνη που ρυθμίζει τη ροή του ρευστού κατά τη μετάβασή του από την υψηλότερη πίεση που επικρατεί στην κεφαλή της γεώτρησης, στη χαμηλότερη που διαμορφώνεται στον αγωγό μεταφοράς του στις εγκαταστάσεις διαχωρισμού.

### **3.11 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ**

Επιβολή περιοριστικών και απαγορευτικών μέτρων στις χρήσεις και τη λειτουργία έργων αξιοποίησης υδατικών πόρων και καθορισμός προϋποθέσεων για την έκδοση αδειών και την προστασία του υδατικού δυναμικού [46].

#### **A: ΓΕΝΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ**

1. Η λήψη των απαγορευτικών, περιοριστικών και άλλων ρυθμιστικών μέτρων στη χρήση νερού και εκτέλεση έργου, έχουν σκοπό τη βελτίωση, διατήρηση ή αποκατάσταση των επιφανειακών και υπογείων υδατικών πόρων.
2. Κάθε φυσικό ή νομικό πρόσωπο του ιδιωτικού και δημόσιου τομέα και για οποιαδήποτε χρήση νερού (ύδρευση, αγροτική, βιομηχανική, Υδροηλεκτρική ενέργεια κλπ), όπως αυτές ορίζονται στο παρ. Ι της ΚΥΑ 43504/2005 (ΦΕΚ 1784/Β/20-12-2005), απαιτείται να εξασφαλίσει άδεια, πριν από την εκτέλεση έργου αξιοποίησης Υδατικών πόρων και τη χρήση νερού στο Ν. Αχαΐας. Η άδεια εκδίδεται από τη Δ/ση Υδάτων Δυτικής Ελλάδας με σχετική απόφαση του Γενικού Γραμματέα της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Πελ/σου, Δυτ. Ελλάδας και Ιονίου.
3. Η χορήγηση άδειας εκτέλεσης έργου αξιοποίησης υδατικού δυναμικού και άδεια χρήσης νερού, δεν απαλλάσσει τον ενδιαφερόμενο από την υποχρέωση λήψης άλλων προβλεπόμενων εγκρίσεων ή αδειών και τήρησης όρων και περιορισμών για την εγκατάσταση και λειτουργία του συνολικού έργου, όπως καθορίζονται κατά περίπτωση από την ισχύουσα νομοθεσία [46].
4. Κάθε χρήση πρέπει να αποβλέπει στην βιώσιμη και ισόρροπη ικανοποίηση των αναπτυξιακών αναγκών και να διασφαλίζει την μακροπρόθεσμη προστασία των υδάτων και την επάρκεια των αποθεμάτων τους και τη διατήρηση της ποιότητά τους, ιδιαίτερα δε τη μείωση και την αποτροπή της ρύπανσής τους.
5. Η ικανοποίηση της ζήτησης του νερού, γίνεται με βάση τα όρια και τις δυνατότητες των υδατικών αποθεμάτων, λαμβανομένων υπόψη των αναγκών για την διατήρηση

των οικοσυστημάτων, καθώς της ισορροπίας που απαιτείται μεταξύ άντλησης και ανατροφοδότησης των υπογείων υδάτων.

6. Στη χορήγηση αδειών χρήσης νερού ή εκτέλεσης έργων αξιοποίησης επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, προτεραιότητα έχουν το Δημόσιο, η Τοπική Αυτοδιοίκηση, οι ΔΕΥΑ, Συλλογικοί φορείς (ΤΟΕΒ – Αγροτικοί Συνεταιρισμοί, Σύνδεσμοι κλπ), με απόλυτη όμως προτεραιότητα της ύδρευσης σε σχέση με τις άλλες χρήσεις.

## **B. ΕΚΔΟΣΗ ΑΔΕΙΩΝ - ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

1) Άδεια εκτέλεσης έργου αξιοποίησης υδατικών πόρων απαιτείται για κάθε έργο που σχετίζεται με:

- I. απόληψη υπόγειων νερών (γεωτρήσεις, πηγάδια, τάφροι, έργα υδρομάστευσης πηγών) ή επιφανειακών νερών (έργα συλλογής νερού από επιφανειακές απορροές υδατορευμάτων),
- II. Έργα μεταφοράς νερού (αγωγοί μεταφοράς προς τα κέντρα διανομής και συναρτώμενα έργα),
- III. Δίκτυα (Δίκτυα διανομής, υδρευτικά, αρδευτικά, αποστραγγιστικά κλπ. ),
- III. Έργα ρύθμισης – αποθήκευσης (έργα ρύθμισης υπόγειων νερών, αναρρυθμιστικά ή έργα τεχνητού εμπλουτισμού, έργα ρύθμισης επιφανειακών νερών, έργα αποθήκευσης επιφανειακών νερών (φράγματα, λιμνοδεξαμενές),
- IV. Έργα επεξεργασίας νερού (φυσικοχημικού ή μηχανικού καθαρισμού, εξυγίανση, αφαλάτωση, τεχνητοί υγρότοποι),
- V. Έργα τροφοδότησης σε περιπτώσεις υδατοκαλλιεργειών και έργων διαβίωσης ψαριών, εγκαταστάσεων αθλητισμού και αναψυχής πέραν της ύδρευσης,
- VI. Έργα προστασίας – συντήρησης (αντιπλημμυρικά έργα, ορεινής υδρονομίας κλπ),

2) Η κατασκευή έργου υδροληψίας θα εκτελείται σε χώρο που ανήκει στην κυριότητα, νομή και κατοχή του ενδιαφερομένου ή σε χώρο μισθωμένο με ενοικιαστήριο συμβόλαιουλάχιστο 10ετίας, σε τύπο συμβολαιογραφικού εγγράφου με πρόσφατη μεταγραφή στο Υποθηκοφυλακείο [46].

3) Όταν υποβάλλονται δύο ή περισσότερες αιτήσεις παραγωγών για τη χορήγηση άδειας κατασκευής έργου υδροληψίας (γεώτρηση, πηγάδι κλπ.) στην ίδια περιοχή και δεν ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις που προβλέπονται (καλλιεργήσιμη έκταση, αποστάσεις, κ.ά.) για χορήγηση ατομικών αδειών, μπορεί να χορηγείται άδεια ενός μόνο έργου υδροληψίας, κοινής εκμετάλλευσης από το σύνολο των ενδιαφερομένων, εφόσον στην τελευταία περίπτωση πληρούνται οι απαιτούμενες προϋποθέσεις.

4) Οι άδειες χρήσης νερού και εκτέλεσης έργου αξιοποίησης υδατικών πόρων διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες :

- I. Άδειες χρήσης νερού.
- II. Άδειες εκτέλεσης έργου αξιοποίησης υδατικών πόρων.

III. . Ενιαίες άδειες χρήσης νερού και εκτέλεσης έργου αξιοποίησης υδατικών πόρων, σε περιπτώσεις υδροηλεκτρικών έργων. Τα απαιτούμενα δικαιολογητικά για την έκδοση των ανωτέρω αδειών, αναφέρονται στα παραρτήματα IV, V και VI της ΚΥΑ 43504/2005, αντίστοιχα .

5) Οι άδειες αφορούν αυστηρά μόνο τη χρήση ή/ και το έργο για το οποίο εκδόθηκαν.

6) Κάθε έργο που εκτελείται χωρίς την σχετική άδεια, είναι παράνομο, και η πράξη επισύρει τις διοικητικές και ποινικές κυρώσεις των άρθρων 13 και 14 του Ν. 3199/2003.

7) Η απολήψιμη ποσότητα νερού από κάθε έργο υδροληψίας καθορίζεται στην άδεια χρήσης. Η ποσότητα θα ελέγχεται με υδρόμετρο που υποχρεωτικά θα τοποθετείται από τον ενδιαφερόμενο, στο σωλήνα εξαγωγής του νερού από την υδροληψία και σε σημείο εμφανές ώστε να μπορεί να ελεγχθεί από την αρμόδια Υπηρεσία.

8) Η τοποθέτηση του πιεζομετρικού σωλήνα στις γεωτρήσεις είναι υποχρεωτική, γίνεται σύμφωνα με τα τεχνικά στοιχεία της χορηγηθείσας άδειας και πρέπει να βρίσκεται σε λειτουργία ώστε να είναι εφικτή η μέτρηση της στάθμης από την Υπηρεσία.

9) Προθεσμία εκτέλεσης του έργου: Η άδεια παύει να ισχύει σε περίπτωση που παρέλθει η προθεσμία έξι (6) μηνών, χωρίς το έργο να έχει ολοκληρωθεί. Είναι δυνατόν να δοθεί παράταση εκτέλεσης του έργου η οποία όμως δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει την διάρκεια της αρχικής προθεσμίας, εφόσον βέβαια έχει υποβληθεί αίτηση του ενδιαφερόμενου πριν τη λήξη της αρχικής προθεσμίας.

10) Εξαιρούνται της προθεσμίας εκτέλεσης του έργου των έξι (6) μηνών:

1. τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα όπου η προθεσμία εκτέλεσης του έργου πρέπει να συνάδει με την άδεια εγκατάστασης αυτού και
2. μεγάλα έργα συλλογικών φορέων όπου η προθεσμία εκτέλεσης του έργου πρέπει να συνάδει με το χρονοδιάγραμμα του έργου.

11) Η διάρκεια ισχύος των αδειών χρήσης νερού δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 10 χρόνια από την ημερομηνία έκδοσής τους ή τη διάρκεια ισχύος της απόφασης έγκρισης περιβαλλοντικών όρων, όπου αυτή απαιτείται.

12) Σε περίπτωση μεταγενέστερης κάλυψης των αναγκών σε νερό από συλλογικό δίκτυο αντίστοιχης χρήσης νερού, η άδεια ανακαλείται και το αντίστοιχο έργο τίθεται εκτός λειτουργίας.

13) Η ηλεκτροδότηση του έργου υδροληψίας θα γίνεται αφού ο ενδιαφερόμενος αποκτήσει την άδεια χρήσης νερού σύμφωνα με την ΚΥΑ υπ' αριθμ. 43504/5.12.2005 [46].

14) Σε περίπτωση εκτέλεσης μη επιτυχούς γεώτρησης, ο ενδιαφερόμενος πρέπει να υποβάλει (όπως και στην περίπτωση επιτυχούς ανόρυξης), στην Δ/νση Υδάτων και

σε χρονικό διάστημα 2 μηνών από την ημερομηνία εκτέλεσης του έργου, υπεύθυνη δήλωση του Ν. 1599/86, αναφέροντας ότι το έργο εκτελέστηκε με βάση την σχετική Απόφαση του Γενικού Γραμματέα Αποκεντρωμένης Διοίκησης Πελ/σου, Δυτ. Ελλάδας και Ιονίου, επισυνάπτοντας την έκθεση του επιβλέποντος του έργου γεωλόγου – μελετητή με λεπτομερή στρωματογραφική περιγραφή της στήλης της γεώτρησης και με όσα άλλα στοιχεία αποκτήθηκαν κατά την εκτέλεση του έργου. Επίσης στην έκθεση θα εκτιμώνται τα αίτια της μη επιτυχίας του και η Δ/ση Υδάτων θα μεριμνά για την ακύρωση του κωδικού αριθμού της άδειας που έχει εκδοθεί.

## **Γ . ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ**

1. Για την αντικατάσταση των νομίμως λειτουργούντων έργων υδροληψίας που λειτούργησαν έστω και περιοδικά κατά την τελευταία τουλάχιστον πενταετία τα οποία αποδεδειγμένα αχρηστεύθηκαν από φυσικά ή τεχνικά αίτια (πτώση στάθμης, προσάμμωση, διάβρωση σωλήνων κ.λ.π.), τηρείται η διαδικασία αδειοδότησης όπως αυτή καθορίζεται στην υπ' αριθμ. 43504/5.12.2005 Κοινή Υπουργική Απόφαση με τις προϋποθέσεις της παραγράφου 4, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η απόστασή τους από άλλα έργα υδροληψίας.

2. Δεν θεωρούνται ως υφιστάμενα έργα (γεώτρηση ή πηγάδι) όταν αυτά έχουν αποσωληνωθεί ή έχουν επιχωθεί και επομένως δεν είναι δυνατό να διαπιστωθεί η ύπαρξή τους.

3. Δεν θα χορηγείται άδεια αντικατάστασης παλαιών αρδευτικών ιδιωτικών γεωτρήσεων σεπεριοχές που καλύπτονται με αρδευτικό έργο ΤΟΕΒ, Συν/μων ΟΤΑ ή άλλων συλλογικών φορέων, εξαιρουμένων των περιπτώσεων που αναφέρονται στο κεφάλαιο των απαγορευτικών μέτρων.

4. Η αντικατάσταση επιτρέπεται σε όλες τις περιοχές του Νομού Αχαΐας, και των περιοχών όπου ισχύουν απαγορευτικά ή περιοριστικά μέτρα, εξαιρουμένων περιοχών που υπάρχει ήδη πρόβλημα ή άμεσος κίνδυνος υφαλμύρωσης, όπου ισχύουν τα περιγραφόμενα στην παρ. 8 του παρόντος κεφαλαίου.

5. Για αντικαταστάσεις έργων υδροληψίας για βιομηχανική και βιοτεχνική χρήση συμπεριλαμβανομένων και των επιχειρήσεων του ΠΔ 227/87 απαιτείται επιπλέον η υποβολή άδειας λειτουργίας της επιχείρησης και άδειας διάθεσης αποβλήτων

6. Η σχετική άδεια θα εκδίδεται με τους παρακάτω πρόσθετους όρους:

- Θα εξυπηρετεί την ίδια ακριβώς χρήση με το παλαιό έργο.
- Θα απέχει μέχρι 20 μ. από το παλαιό έργο, εκτός αν αιτιολογείται η περαιτέρω απομάκρυνση, στο ίδιο αγροτεμάχιο, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν άλλες γεωτρήσεις σε μικρή απόσταση από το υφιστάμενο έργο.
- Δεν θα απέχει λιγότερο από τις λειτουργούσες γειτονικές υδροληψίες σε σχέση με την παλαιά, στην περίπτωση που οι αποστάσεις είναι μικρότερες των προβλεπόμενων από τα ισχύοντα στην περιοχή μέτρα.

- Το νέο έργο θα κατασκευάζεται με τα ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά εκτός αν άλλως (ειδικότερα ως προς το βάθος) τεκμηριώνεται υδρογεωλογικά.
- Το έργο υδροληψίας (π.χ. γεώτρηση) που αντικαθίσταται με την προαναφερθείσα διαδικασία θα καταστρέφεται μέσα σε ένα μήνα από τη λειτουργία της νέας υδροληψίας με δαπάνη του ενδιαφερόμενου και δεν θα λαμβάνεται υπόψη στον καθορισμό των θέσεων των νέων γεωτρήσεων, ενώ η Δ.Ε.Η. θα διακόπτει την ηλεκτροδότησή του. Ο ενδιαφερόμενος μετά την λειτουργία της νέας υδροληψίας θα προσκομίζει στην υπηρεσία υπεύθυνη δήλωση του ν. 1599/1986 για την πραγματοποίηση της καταστροφής της.

7. Αν η αιτία της αχρήστευσης είναι η υπαλμύρωση ή θα χορηγείται άδεια με άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά και ειδικούς όρους εκμετάλλευσης (μικρό βάθος άντλησης, μείωση παροχής εκμετάλλευσης κ.λ.π.) κατά περίπτωση, ή δεν θα χορηγείται άδεια εφόσον εκτιμάται ότι η αντικατάσταση της υδροληψίας θα επιδεινώσει το πρόβλημα.

8. Η αντικατάσταση λειτουργούσας υδροληψίας που απαλλοτριώθηκε από φορείς του δημοσίου τομέα ή οργανισμούς κοινής ωφελείας, γίνεται για την ίδια χρήση και κατ' εξαίρεση των ισχυόντων στην περιοχή περιοριστικών μέτρων της παρούσας, αλλά στη μεγαλύτερη δυνατή απόσταση από τα γειτονικά έργα υδροληψίας στη περίπτωση μικρής εναπομένουσας έκτασης .

9. Αν κατά την αντικατάσταση ο ενδιαφερόμενος κάνει επέκταση χρήσης ή αλλαγή χρήσης που απαιτεί αυξημένες ανάγκες νερού σε σχέση με την υφιστάμενη, το έργο εντάσσεται στους όρους και προϋποθέσεις νέου έργου για τη συγκεκριμένη χρήση σύμφωνα με τα οριζόμενα στη παρούσα Απόφαση.

10. Η αντικατάσταση νόμιμης υφιστάμενης υδροληψίας γίνεται με νέα ίδιου τύπου (γεώτρηση αντικαθίσταται με γεώτρηση και πηγάδι με πηγάδι).

#### **Δ. ΤΗΡΗΣΗ ΟΡΩΝ ΑΔΕΙΑΣ – ΚΥΡΩΣΕΙΣ**

Στους παραβάτες των όρων και περιορισμών των αδειών επιβάλλονται από την αρμόδια υπηρεσία Υδάτων οι διοικητικές κυρώσεις που αναφέρονται στο άρθρο 13 παρ. 1 του Ν. 3199/2003.

#### **Ε. ΑΠΑΓΟΡΕΥΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ**

*Α. Απαγορεύεται η εκτέλεση έργων υδροληψίας (γεωτρήσεων – πηγαδιών ) και χρήσης νερού στις παρακάτω περιπτώσεις:*

1. Εντός εγκεκριμένου Ρυμοτομικού σχεδίου. Εξαιρούνται οι περιπτώσεις για άρδευση πρασίνου δημόσιων κοινοχρήστων χώρων, νοσοκομείων, στρατοπέδων, ιδρυμάτων, πλούσιμο πλατειών ή δημοσίων κοινόχρηστων χώρων ώστε να εξοικονομείται νερό από το υδρευτικό δίκτυο καθώς και για πυρόσβεση.

2. Σε απόσταση μικρότερη των 400 μέτρων, σε όλη ακτογραμμή από την εκβολή του Πείρου μέχρι το δυτικό όριο του Νομού και 200 μ. από την ακτογραμμή για το υπόλοιπο του νομού, εκτός των περιπτώσεων που αφορούν μικρές ανάγκες νερού (ατομικές, οικογενειακές, ανάγκες λουομένων κ.λ.π.) και οι οποίες κατά περίπτωση θα εξετάζονται με τεκμηριωμένη γεωλογική έκθεση. Εξαιρούνται οι γεωτρήσεις άντλησης αλμυρού νερού παράκτιων ιχθυοτροφικών μονάδων όπως αυτό αναλύεται στο κεφάλαιο III, παράγραφος Β3.2 της παρούσας απόφασης.

3. Σε απόσταση μικρότερη των 400 μέτρων στα ανάντη και 100 μέτρων στα κατόντη από πηγές που αξιοποιούνται με συλλογικό έργο ύδρευσης. Οι αποστάσεις αυτές θα μπορούν να μεταβάλλονται ανάλογα με το υδρογεωλογικό καθεστώς της κάθε πηγής (ακτίνα τροφοδοσίας αυτής), εφόσον αυτό τεκμηριώνεται με υδρογεωλογική μελέτη. Εξαιρείται αυτής της απαγόρευσης η εκτέλεση έργου από τον φορέα που διαχειρίζεται το συγκεκριμένο υδρευτικό έργο [46].

4. Σε απόσταση μικρότερη των 400 μέτρων στα ανάντη και 100 μέτρων στα κατόντη από πηγές που αξιοποιούνται με συλλογικό έργο από φορέα άρδευσης. Εξαιρείται της απαγόρευσης αυτής ο φορέας άρδευσης που διαχειρίζεται το εν λόγω έργο. Ομοίως σε περίπτωση αιτήματος εκτέλεσης γεώτρησης ύδρευσης (ΟΤΑ, ΔΕΥΑ, Συνδέσμων ύδρευσης ) γύρω από πηγές χρήσης, δύναται να αποκλίνουν οι ως άνω αποστάσεις ανάλογα με το υδρογεωλογικό καθεστώς της κάθε πηγής.

5. Απαγορεύεται η ανόρυξη γεωτρήσεων, πλην υδρευτικών ΟΤΑ, σε απόσταση μικρότερη των 400 μέτρων στα ανάντη και 100 μέτρων στα κατόντη από πηγές και με τον όρο ότι δεν θα τοποθετούνται φίλτρα στα πρώτα 30μ. των γεωτρήσεων που θα ανορυχθούν ανάντη.

6. Στις περιοχές που λειτουργούν συλλογικά αρδευτικά έργα ΤΟΕΒ, Συνεταιρισμών και ΟΤΑ, εκτός αν πρόκειται για έργο για το οποίο απαιτείται:

- αρδευτική χρήση νερού εκτός αρδευτικής περιόδου που θα προκύπτει από τη μελέτη του έργου και
- άλλη χρήση νερού εκτός της αρδευτικής που δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί από τη λειτουργία του αρδευτικού έργου. Στις ανωτέρω περιπτώσεις απαιτείται αιτιολογημένη θετική γνωμοδότηση του φορέα του αρδευτικού έργου.

7. Σε απόσταση μικρότερη των 500 μέτρων γύρω από θερμοπηγές ή γενικώς αναβλύσεις ιαματικών νερών. Η απόσταση αυτή μπορεί να μεταβάλλεται εφόσον τεκμηριώνεται υδρογεωλογικά ο μη επηρεασμός των θερμοπηγών.

8. Στις περιοχές που κατασκευάζεται ή έχει δημοπρατηθεί συλλογικό αρδευτικό έργο το οποίο πρόκειται να λειτουργήσει εντός της προσεχούς διετίας.

9. Στις περιοχές που έχουν κηρυχθεί ή είναι υπό αναδασμό σύμφωνα με το Ν. 674/77, μέχρι την ολοκλήρωση των σχετικών διαδικασιών, μέχρι δηλαδή την παραλαβή από τους ιδιοκτήτες των νέων αγροτεμαχίων. Στις περιοχές που έχουν κηρυχθεί υπό απαλλοτρίωση, σύμφωνα με το Ν. 707/77

10. Απαγορεύεται η άντληση νερού χωρίς άδεια από γεωτρήσεις που έγιναν για ερευνητικούς σκοπούς.

11. Απαγορεύεται η ανόρυξη υδροληψίας για οποιαδήποτε χρήση, πλην υδρευτικών ΟΤΑ, σε απόσταση μικρότερη των 50μ. από νόμιμες υφιστάμενες υδρευτικές υδροληψίες που καλύπτουν αποκλειστικά ατομικές και οικογενειακές ανάγκες.

12. Απαγορεύεται η ανόρυξη νέων γεωτρήσεων (πλην υδρευτικών) εντός της προστατευόμενης περιοχής Εθνικού Πάρκου, εκτός εάν από Ειδική Υδρογεωλογική Μελέτη προκύπτει ότι δεν θα υπάρξει διαταραχή του υδατικού ισοζυγίου. Στις ως άνω προστατευόμενες περιοχές επιτρέπεται η αντικατάσταση υφιστάμενης γεώτρησης, εφόσον προορίζεται για χρήση που έχει ζωτική σημασία για την οικονομία της περιοχής. Στις περιοχές αυτές προτεραιότητα θα δίνεται στα έργα τεχνητού εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφόρων καθώς και αποθήκευσης επιφανειακού νερού απορροών, όμβριων, σταγιστήριων τάφρων κλπ, κατά περίπτωση ανάλογα με τις τοπικές υδρολογικές και γεωμορφολογικές συνθήκες και σύμφωνα πάντα με τα περιγραφόμενα στις σχετικές Κοινές Υπουργικές Αποφάσεις των Εθνικών Πάρκων.

14. Απαγορεύεται η διάθεση ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων καθ' οιανδήποτε τρόπο σε υπόγεια ή επιφανειακά υδατικά συστήματα ή στο έδαφος. Η διάθεση υγρών αποβλήτων γίνεται κατόπιν αδείας σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις.

*B.Ελάχιστες αποστάσεις νέων υδροληψιών (γεωτρήσεων, πηγαδιών, τάφρων) από:*

- Δρόμους, Χείμαρρους, Δίκτυα ΔΕΗ – ΟΣΕ, υποδομές κλπ.
- από τον άξονα των Εθνικών δρόμων 45 μέτρα και σε περίπτωση παράπλευρης οδού πέραν της οριζόμενης απόστασης από τον άξονα της κύριας οδού και 5 μέτρα από το όριο της παράπλευρης οδού,
- από τον άξονα των Επαρχιακών οδών 20 μέτρα,
- από τον άξονα των Δημοτικών ή Κοινοτικών οδών 6 μέτρα,
- από το όριο των αγροτικών δρόμων 5 μέτρα,
- από τον άξονα της σιδηροδρομικής γραμμής 20 μέτρα
- από τα όρια γειτονικής ιδιοκτησίας 5 μέτρα,
- από την όχθη επενδεδυμένων αρδευτικών τάφρων 15 μέτρα,
- από την όχθη ποταμών 20 μέτρα, και από την όχθη των φυσικών λιμνών 200 μέτρα
- από νόμιμες κατοικίες και κτίρια κοινής ωφέλειας και υποδομές έργων (π.χ. υδατόπυργους κ.λ.π.) 30 μέτρα, εκτός των υδρευτικών υδροληψιών για κάλυψη ατομικών – οικογενειακών αναγκών που ανορύσσονται στη μεγαλύτερη δυνατή απόσταση από κτίρια, μέσα στο χώρο του οικοπέδου.
- από την περίμετρο κοιμητηρίων 300 μέτρα. Δύναται να χορηγηθεί άδεια εκτέλεσης έργου και σε απόσταση μικρότερη των 300 μ και μέχρι 200μ., εφόσον υπάρχει υδρογεωλογική τεκμηρίωση περί μη δυσμενούς επηρεασμού



της ποιότητας του νερού. Γεώτρηση που θα καλύπτει αποκλειστικώς τις ανάγκες πρασίνου κ.λ.π. χρήσεων του κοιμητηρίου, πλην ύδρευσης, μπορεί να ανορυχθεί σε κατάλληλο σημείο και εντός του χώρου του κοιμητηρίου με απομόνωση των πρώτων 20 μέτρων με περιφραγματικό σωλήνα και τσιμέντωση και με ρητή και εμφανή απαγόρευση για άλλες χρήσεις νερού. Κατ' εξαίρεση, η απόσταση αυτή δύναται να διαφοροποιείται (μεγαλύτερη ή μικρότερη) εφόσον τεκμηριώνεται με γεωλογική μελέτη μη επηρεασμός της προς έγκριση υδροληψίας.

- από την περίμετρο Χ.Υ.Τ.Α., Χ.Α.Δ.Α. 400 μέτρα, και εγκεκριμένων δημόσιων χώρων διάθεσης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, 300 μέτρα. Οι παραπάνω αποστάσεις μπορούν να μεταβάλλονται ανάλογα με τις ειδικότερες υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής και τον σκοπό για τον οποίο προορίζεται η χρήση του νερού, όπως θα αναλύεται διεξοδικά σε ειδική τεχνική – γεωλογική έκθεση.
- από κεντρικούς υπόγειους αγωγούς κοινής ωφελείας (ύδρευσης, άρδευσης, φυσικού αερίου, κ.λ.π.) 30 μέτρα.
- από γραμμές μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας μέσης τάσης 20 μέτρα. και από γραμμές υψηλής τάσης 50 μέτρα.

Οι παραπάνω αποστάσεις σε περίπτωση αδυναμίας τήρησής τους μπορούν να αυξομειωθούν κατά 5% κατά την κρίση της υπηρεσίας που χορηγεί την άδεια.

### *Γ. Προστασία της ποιότητας του νερού υδροληψιών Συλλογικών Φορέων Ύδρευσης*

Για την προστασία της ποιότητας του νερού υδροληψιών Συλλογικών φορέων Ύδρευσης, το οποίο προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση ορίζονται τα κάτωθι:

I. Απαγορεύεται η χωροθέτηση δυνητικά ρυπογόνων δραστηριοτήτων και η διάθεση υγρών αποβλήτων μονάδων :

- Σε απόσταση μικρότερη των 200 μέτρων γύρω από πηγάδια και 350 μέτρων από γεωτρήσεις ύδρευσης ΟΤΑ ή ΔΕΥΑ ή Συνδέσμων ύδρευσης.
- Σε απόσταση μικρότερη των 400 μέτρων στα ανάντη και 100 μέτρων στα κατόντη γύρω από πηγές που αξιοποιούνται με συλλογικό έργο ύδρευσης από φορέα ύδρευσης. Οι αποστάσεις αυτές θα μπορούν να μεταβάλλονται ανάλογα με το υδρογεωλογικό καθεστώς της κάθε πηγής (ακτίνα τροφοδοσίας αυτής).

II .Απαγορεύεται η χωροθέτηση ΧΥΤΑ και εγκαταστάσεων συστημάτων επεξεργασίας και διάθεσης υγρών αστικών αποβλήτων σε απόσταση τουλάχιστον 400 μέτρων από υδρευτικές υδροληψίες συλλογικών φορέων. Οι αποστάσεις αυτές θα μπορούν να μεταβάλλονται ανάλογα με το υδρογεωλογικό καθεστώς της υδροληψίας [46].

III . Για όλες τις πηγαίες αναβλύσεις που χρησιμοποιούνται για ύδρευση ή μελετάται και σχεδιάζεται η ένταξή τους σε έργο ύδρευσης και εφόσον στη ζώνη τροφοδοσίας τους σε νερό πρόκειται να χωροθετηθούν δραστηριότητες που είναι δυνατόν να επηρεάσουν ποιοτικώς τα νερά, η Δ/ση Υδάτων σε συνεργασία και με άλλες Υπηρεσίες (π.χ. δασαρχεία, ΟΤΑ, κ.λ.π.) μπορούν να καθορίζουν κατά περίπτωση ζώνες προστασίας με συγκεκριμένα μέτρα, που θα επιβάλλονται σε συνάρτηση με το συγκεκριμένο υδρογεωλογικό καθεστώς της πηγής. Η ακτίνα προστασίας μπορεί να υπερβαίνει κατά πολύ τα ανωτέρω μέτρα

## **Z. ΠΕΡΙΟΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ**

Για αδειοδότηση εκτέλεσης νέων υδροληψιών και χορήγηση άδειας χρήσης νερού, ισχύουν τα παρακάτω:

Για τη χορήγηση άδειας εκτέλεσης έργου σε νέες υδροληψίες και άδειας χρήσης νερού, πέραν των προϋποθέσεων που ορίζονται στο κεφάλαιο II της παρούσας, ισχύουν επί πλέον και οι κάτωθι όροι προϋποθέσεις ανά κατηγορία χρήσης :

### **A. Αδειοδότηση Υδροληψιών Υδρευτικής Χρήσης**

1. Οι υδροληψίες των φορέων ύδρευσης (ΔΕΥΑ, ΟΤΑ, Συνδέσμων Ύδρευσης κλπ) αποτελούν έργα προτεραιότητας. Για κάλυψη των αναγκών των φορέων ύδρευσης η ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση μεταξύ υδρευτικών έργων υδροληψίας (γεωτρήσεων) από υπόγειους υδροφορείς για διαφορετικούς φορείς ύδρευσης είναι 350 μέτρα, για τον ίδιο φορέα 100 μέτρα, και για υδροληψίες λοιπών χρήσεων πλην ύδρευσης 200μ.

2. Σε περιπτώσεις αποκλειστικής και μόνον έργων υδροληψίας για υδρευτικούς σκοπούς για κάλυψη ατομικών ή οικογενειακών οικιακών αναγκών, χορηγείται άδεια εκτέλεσης έργου και χρήσης νερού, εφόσον υπάρχουν οι παρακάτω προϋποθέσεις :

- i. Η υφιστάμενη ή υπό ανέγερση κατοικία είναι νόμιμη (άδεια οικοδομής).
- ii. Δεν υπάρχει δυνατότητα για σύνδεση με υδρευτικό δίκτυο, όπως αυτό θα πιστοποιείται από την αρμόδια Δημοτική Αρχή ή ΔΕΥΑ, ούτε προβλέπεται κατασκευή ή επέκτασή του στα επόμενα 1-2 έτη: Σε περίπτωση όμως μεταγενέστερης κάλυψης των αναγκών σε νερό από δίκτυο αντίστοιχης χρήσης νερού, η άδεια θα ανακαλείται και το αντίστοιχο έργο τίθεται εκτός λειτουργίας.
- iii. Η κατανάλωση νερού δεν θα υπερβαίνει τα τρία (3) κυβικά μέτρα ημερησίως.
- iv. Υπάρχει σαφής αναφορά στον τρόπο διάθεσης των λυμάτων της κατοικίας κατά τρόπον ώστε να διασφαλίζεται η ποιότητα του νερού του έργου υδροληψίας ή γειτονικών υδροληψιών, του υδροφόρου ορίζοντα, αλλά και της περιοχής γενικότερα.

3. Για την ύδρευση Ιδρυμάτων Κοινής Ωφέλειας (Νοσοκομεία, Γηροκομεία, ΑΕΙ, ΤΕΙ, κ.λ.π.) ή εγκαταστάσεων άλλων δραστηριοτήτων (Ξενοδοχεία – Κάμπινγκ - Στρατόπεδα κλπ) μπορεί να χορηγείται άδεια εκτέλεσης έργου για υδρευτική χρήση (πόση, διατροφή, καθαριότητα, πότισμα πρασίνου) ανεξάρτητα αν υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης με υδρευτικό δίκτυο, προκειμένου η υδροληψία να μπορεί να χρησιμοποιείται συμπληρωματικά ή εναλλακτικά με το δίκτυο του φορέα ύδρευσης, ώστε να εξοικονομείται νερό κατάλληλης ποιότητας για ανθρώπινη κατανάλωση.
4. Τα ανωτέρω έργα θα γίνονται στην μεγαλύτερη δυνατή απόσταση από τα υφιστάμενα νόμιμα γειτονικά έργα υδροληψίας, όπου αυτό είναι εφικτό, σύμφωνα με τις υποβαλλόμενες μελέτες και το ιδιαίτερο υδρογεωλογικό καθεστώς της περιοχής, δεδομένου ότι η χρήση για ύδρευση έχει προτεραιότητα έναντι κάθε άλλης χρήσης.
5. Η άδεια χρήσης νερού στις παραπάνω περιπτώσεις θα χορηγείται εφόσον πιστοποιηθεί από διαπιστευμένο εργαστήριο ότι το νερό είναι κατάλληλο σύμφωνα με τα οριζόμενα στη Νομοθεσία για την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης.

## ΣΤ. ΟΡΙΣΜΟΙ

Εκτεταμένα έργα υδροληψίας από υπόγειους υδροφορείς:

Υδρομαστεύσεις πηγών, στοές, συνδυασμός φρεάτων - στοών ή φρεάτων - τάφρων κλπ.

Τάφος : Κάθε επιμήκης εκσκαφή βάθους μέχρι 5 μέτρων που σκοπό έχει την εκμετάλλευση φρεάτιου υδροφορέα.

Σημειακά έργα υδροληψίας από υπόγειους υδροφορείς: είναι τα πηγάδια και οι γεωτρήσεις.

Πηγάδι : Κάθε επενδεδυμένη εκσκαφή βάθους 5 - 20 μέτρων και διαμέτρου τουλάχιστον 1 μέτρο, που εκμεταλλεύεται φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα.

Μικρή γεώτρηση: βάθους έως 20μ. εσωτερική διάμετρος σωλήνωσης 4'', άντληση με αντλία φυγόκεντρο ή βαθέων φρεάτων έως 2,5''.

Μεγάλη γεώτρηση: βάθους >20μ., εσωτερική διάμετρος τελικής σωλήνωσης > 4'' [46].

3. Πηγή: Κάθε φυσική εκφόρτιση νερού που έχει παροχή κατά την κρίσιμη περίοδο του υδρολογικού έτους (Αύγουστο – Σεπτέμβριο) μεγαλύτερη ή ίση των 4 m<sup>3</sup>/h.
4. Έργα υδροληψίας επιφανειακών νερών Πρόκειται για έργα αποθήκευσης νερών (σε ορύγματα, υδαταποθήκες/ μικρές ομβροδεξαμενές) , έργα απόληψης νερού για τεχνητό εμπλουτισμό καθώς και έργα απόληψης νερού από χειμάρρους, ποταμούς, λίμνες.

Όρυγμα είναι εκσκαφή, βάθους έως 3μ., μήκους έως 20μ. και πλάτους έως 4μ. για συγκέντρωση – αποθήκευση απορροών επιφανειακών νερών σε περιοχές όπου επικρατούν γεωλογικοί σχηματισμοί χαμηλής υδροπερατότητας.

Υδαταποθήκη [ομβροδεξαμενή] : διαμορφούμενη με εκσκαφή βάθους έως 5μ. ανοικτή δεξαμενή που θα στεγανοποιείται τεχνητά (αν η φυσική στεγανότητα δεν κρίνεται επαρκής), ώστε να συγκεντρώνονται επιφανειακά νερά πάσης φύσεως (όμβρια, νερά ανάντι ευρισκόμενων μικροπηγών κ.λ.π.) χωρητικότητας έως 5000 m<sup>3</sup>. Η θέση, τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τα μέτρα ασφάλειας του έργου θα περιγράφονται αναλυτικά στην τεχνική γεωλογική μελέτη, που θα υποβάλλεται.

Τα έργα τεχνητού εμπλουτισμού νερού αφορούν στη μεταφορά νερού επιφανειακής απορροής προς υπόγειο υδροφορέα μέσω τάφρων, πηγαδιών, γεωτρήσεων, λεκανών κατάκλυσης κατά περίπτωση, που αποσκοπούν στην βελτίωση του υδατικού ισοζυγίου υδροφόρων συστημάτων, στα οποία υπάρχει πρόβλημα υπεράντλησης, κίνδυνος υφαλμύρωσης και γενικά ποσοτικής – ποιοτικής υποβάθμισης του νερού. Το νερό μπορεί να προέρχεται και από στεγασμένες επιφάνειες κτιρίων, βιομηχανικών εγκαταστάσεων, εκπαιδευτικών ιδρυμάτων κλπ. Η Δ/ση Υδάτων μπορεί να επιβάλει κατά προτεραιότητα την εκτέλεση τέτοιων έργων (ιδιαίτερα έργων εμπλουτισμού), ή να θέσει ως προϋπόθεση την εκτέλεσή τους, όταν κρίνει ότι έργα απόληψης υπογείων νερών (γεωτρήσεις κ.λ.π.) θέτουν σε κίνδυνο το υδατικό ισοζύγιο ή ελλοχεύει κίνδυνος υποβάθμισης/ υφαλμύρωσης του υπόγειου υδροφορέα. Τα έργα τεχνητού εμπλουτισμού υπόκεινται στη διαδικασία αδειοδότησης, ανεξαρτήτως όμως αποστάσεως από υφιστάμενα υδροληπτικά έργα, ενώ μπορούν να χωροθετούνται κατόπιν ειδικής κατά περίπτωση τεχνικής γεωλογικής μελέτης και εντός κοίτης υδατορευμάτων. Για την κατασκευή ορύγματος ή υδαταποθήκης και για οποιαδήποτε χρήση δεν ισχύουν περιορισμοί αποστάσεων από άλλα έργα υδροληψίας, ή έκτασης ιδιοκτησίας [46].

*Νόμιμα έργα υδροληψίας είναι:*

- i. Τα έργα υδροληψίας για τα οποία έχει εκδοθεί ενιαία άδεια χρήσης νερού - εκτέλεσης έργου αξιοποίησης υδατικών πόρων σύμφωνα με το Ν. 1739/87 και έχουν κατασκευαστεί σύμφωνα με τα οριζόμενα στην άδεια αυτή.
- ii. Τα έργα υδροληψίας που αδειοδοτήθηκαν με βάση τον Ν. 3199/2003.
- iii. Τα έργα υδροληψίας που κατοχυρώνουν υφιστάμενο δικαίωμα χρήσης νερού σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις
- iv. Το έργο για το οποίο έχει εκδοθεί άδεια εκτέλεσής του και για τόσο χρόνο όσο ορίζεται σε αυτή για περάτωσή του.

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύσαμε πως ολοκληρώνουμε μια γεώτρηση αλλά και του νόμους και τους περιορισμούς που έχουν ψηφιστεί και θα πρέπει να ακολουθούνται ώστε να μπορούμε να παίρνουμε άδεια για την γεώτρηση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ:4 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΗΛΕΙΑΣ

### 4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η μελέτη ανήκει στην περιοχή του νομού Ηλείας στον δημοτικό διαμέρισμα Αμαλιάδας πιο συγκεκριμένα στην τοποθεσία Μαραθια (εικόνα 4.2). Στην θέση αυτή ο πελάτης κατέχει αγρό έκτασης 7 στρεμμάτων. Το ανάγλυφο της περιοχής είναι γενικά επίπεδο, ο αγρός βρίσκεται σε απόσταση 2km από τη λεκάνη απορροής του ρέματος 'ΣΟΧΙΑ' (εικόνα 4.1). Το υδρογραφικό δίκτυο στην ευρύτερη περιοχή είναι σχετικά ικανοποιητικό.



**Εικόνα 4.1:**Γεωτρηση νερού σύμφωνα με την παραπάνω μελέτη [17].

### 4.2 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ

Η χημική ανάλυση που έχει γίνει το νερό είναι σχετικά Σκληρό και παρουσιάζει υψηλές τιμές σιδηρού και Μαγγανίου είναι όμως κατάλληλο για άρδευση αφού παρουσιάζει χαμηλή Αγωγιμότητα.

### 4.3 ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Διατηρήθηκαν: αμμοπηλωδες έδαφος, Αργιλομαργα ,Ψαμμίτης ,Αργιλικά.

- Διάμετρος αρχικής διάτρησης : 8.5 inch
- Διάμετρος διεύρυνσης : 15.5 inch
- Περιφραγματικός σωλήνας : 14 inch και πάχος 4 cm
- Χαλικοφίλτρο 20 m<sup>3</sup> , διαμέτρου 3-10mm
- Πιεζόμετρο: διαμέτρου 1 inch μέχρι τα 100 m
- Δοκιμαστική άντληση 100 ωρών.

**Πίνακας 4.1:** Οικονομικά στοιχεία για την γεώτρηση.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ- ΥΛΙΚΑ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΚΟΣΤΟΣ	ΔΑΠΑΝΗ ΕΥΡΩ	ΣΕ
Διάτρηση με 8.5 inch	20 m	10euro/m	1.200	
Διεύρυνση στις 15.5 inch	120m	10 euro/m	1.200	
Γαλβάνιζε σωλήνες	90m	20 euro/m	1.800	
Φιλτροσωληνες 6inch γαλβάνιζε πάχους 4 mm	30m	23 euro/m	690	
Χαλικοφίλτρο 3- 10 mm	20m <sup>3</sup>	25 euro/m	500	
Παιδομετρικός σωλήνας 1inch	100m	5 euro/m	500	
Δοκιμαστική άντληση	100 h	30 euro/h	3.000	
Περιφραγματικός σωλήνας διαμέτρου 14inch πάχους 4 mm	15m	40 euro/m	600	
Γεωλογικές και λοιπές μελέτες και χάρτες για την έκδοση αδείας γεώτρησης			1.000	
Λοιπά έξοδα			500	
ΣΥΝΟΛΟ			10.990	
Φ.Π.Α 19%			2.088,10	
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>			<b>13.078,10</b>	

#### 4.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΤΩΣΕΩΝ

Επιπτώσεις στο υδατικό δυναμικό:

- η ευρύτερη περιοχή έχει αξιόλογο υδάτινο δυναμικό, τόσο επιφανειακά, όσο και σε μεγαλύτερο βάθος, που εμπλουτίζεται από τα υφιστάμενα ρέματα.
- Στην ευρύτερη περιοχή σήμερα λειτουργεί μικρός αριθμός πηγαδιών και γεωτρήσεων, με σημαντικές, όμως, παροχές άντλησης, αν και κυριαρχούν καλλιέργειες, χωρίς μεγάλες απαιτήσεις σε νερό.
- Η αιτούμενη παροχή άρδευσης του ενδιαφερόμενου είναι πολύ μικρή, ενώ στους βαθύτερους υδροφόρους κυριαρχεί η πλευρική τροφοδοσία έτσι η ταχύτητες ανανέωσης του νερού σε αυτούς είναι ιδιαίτερα υψηλές.
- Η περιοχή βρίσκεται σε καθαρό περιβάλλον χωρίς βιομηχανικά ή άλλους είδους απόβλητα.
- Θέμα προστασίας των υφιστάμενων γειτονικών υδροληψιών επίσης δεν έχει υπάρξει λόγω υπεραντληση του υδροφόρου.

Συνεκτιμώντας τα παραπάνω συμπεραίνετε ότι η συνέχιση της χρήσης του νερού από την συγκεκριμένη γεώτρηση δεν πρόκειται να επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις αλλοιώνοντας τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά του υδατικού περιβάλλοντος της ευρύτερης περιοχής.



**Εικόνα 4.2:**Χαρτης της περιοχής γεώτρησης [20].



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετήθηκε και αναλύθηκε ο μηχανολογικός εξοπλισμός και τα συστήματα γεώτρησης. Η πτυχιακή αυτή με την ολοκλήρωση της ανέδειξε κάποια σημαντικά συμπεράσματα:

- Υπάρχουν συγκεκριμένες αποστάσεις για θέσεις γεωτρήσεων από Εθνικά Πάρκα και Βιοτόπους για την αποφυγή εξάντλησης των αποθεμάτων νερού.
- Κατά την γεώτρηση χρησιμοποιούμε ρευστά διάτρησης τα οποία βοηθούν στην πιο εύκολη εισχώρηση του γεωτρήσανου στο έδαφος.
- Στις παλιές τεχνικές γεώτρησης είχαμε διάτρηση σε κάθετη μόνο διεύθυνση προς το έδαφος.
- Στις νέες τεχνικές γεώτρησης είμαστε σε θέση να κάνουμε διάτρηση σε οποία κατεύθυνση θέλουμε είτε οριζόντια είτε κεκλιμένη.
- Τα σύγχρονα κοπτικά άκρα αποτελούνται από πολλαπλούς κώνους περιστροφής και κατασκευάζονται από συνθετικά υλικά τα οποία αντέχουν σε περισσότερες καταπονήσεις και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.
- Με την χρήση νέων τεχνολογιών διάτρησης είμαστε σε θέση να μειώσουμε το κόστος όρυξης.
- Με την χρήση νέων τεχνολογιών διάτρησης ο χρόνος όρυξης είναι πολύ λιγότερος σε σχέση με τις παλιές τεχνικές διάτρησης.
- Με την χρήση νέων τεχνολογιών διάτρησης μπορούμε πλέον να έχουμε μεγαλύτερο βάθος όρυξης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γ.Α Καλλέργη, Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία τόμος Ι,ΙΙ,ΙΙΙ, Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδος, 2000.
2. Ν. Παπαχαρίσης, Ι. Γραμματικόπουλος, ,Γεωτεχνική μηχανική : Έρευνα, γεωτρήσεις, 2η έκδοση, Αδελφοί Κυριακίδη, 2003
3. Γεώργ. Χρ. Δημόπουλος, Τεχνική γεωλογία : με βασικές έννοιες βραχομηχανικής και γεωλογικές μελέτες τεχνικών έργων, Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπουλή.
4. Κάπος, Μιλτιάδης, Υπόγεια νερά, υδροέρευνες, γεωτρήσεις, Αθήνα.
5. Κώστας Στ. Βουδούρης, Τεχνική υδρογεωλογία και Υπόγεια νερά, Τζιόλα, 2013.
6. Σούλιος Γεώργιος Χ., Γενική υδρολογία τόμος V, University Studio Press , 2011
7. Παπαχαρίσης Ν., Μάνου-Ανδρεάδου Ν.,Γραμματικόπουλος Ι. , Γεωτεχνική Μηχανική, Εκδόσεις Αδελφοί Κυριακίδη, 1991
8. Χρηστάρας, Β., Γεωτρήσεις μεγάλου βάθους, Εκδόσεις ΓΕΩΤΕΕ, 1991
9. Βαφειάδης Π., Η τεχνική των υδρογεωτρήσεων,
10. Μαρίνου Π., Κεφάλαια τεχνικής γεωλογίας, Ε.Μ.Π, 1998
11. Wilson.Ε., Υδρολογία ,1977.
12. [http://www.geotrasi.net/geotrasi/geotrasi\\_nerou/](http://www.geotrasi.net/geotrasi/geotrasi_nerou/)
13. [http://www.metal.ntua.gr/index.pl/notes7d1d12d8\\_gr](http://www.metal.ntua.gr/index.pl/notes7d1d12d8_gr)
14. [http://www.mlsi.gov.cy/mlsi/dli/dli.nsf/All/248B0AD129F4F64CC2257168003765BC/\\$file/geotrasi.pdf](http://www.mlsi.gov.cy/mlsi/dli/dli.nsf/All/248B0AD129F4F64CC2257168003765BC/$file/geotrasi.pdf)
15. <http://slideplayer.gr/slide/2281919/>
16. <http://www.mysep.gr/?p=13528>
17. <http://www.google.gr> (σημείωση η μηχανή αναζήτησης χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις λειτουργίες όπως Google-εικόνες με όρους αναζήτησης γεωτρήσεις και παρόμοιους όρους)
18. [www.pixshark.com](http://www.pixshark.com)
19. [http://bizmology.hoovers.com/wp-content/uploads/2011/05/BOP4574653007\\_daa388494c.jpg](http://bizmology.hoovers.com/wp-content/uploads/2011/05/BOP4574653007_daa388494c.jpg)
20. <https://www.google.gr/maps/place/Μαραθία>
21. [www.diamondland.be](http://www.diamondland.be)
22. [www.geomore.com](http://www.geomore.com)
23. <http://www.topdreamer.com>
24. <http://news.in.gr/science-technology/article/?aid=1231212172>
25. <http://physicsgg.me>
26. [www.bombayharbor.com](http://www.bombayharbor.com)
27. <http://images.slideplayer.gr>
28. [www.americawestdrillingsupply.com](http://www.americawestdrillingsupply.com)
29. [www.drillingformulas.com](http://www.drillingformulas.com)
30. [www.tubetechnologiesinc.com](http://www.tubetechnologiesinc.com)

31. [www.cougards.com](http://www.cougards.com)
32. [www.tix.co.jp](http://www.tix.co.jp)
33. [www.cnaf.com](http://www.cnaf.com)
34. [www.dhoiltools.com](http://www.dhoiltools.com)
35. [www.networkintl.com](http://www.networkintl.com)
36. <http://www.geotrasi.net>
37. [www.geo.auth.gr](http://www.geo.auth.gr)
38. <http://www.consumersenergy.com>
39. [www.osha.gov](http://www.osha.gov)
40. [www.xtremecoil.com](http://www.xtremecoil.com)
41. [es.dreamstime.com](http://es.dreamstime.com)
42. <http://it.wikipedia.org>
43. [www.precisiondrill.com](http://www.precisiondrill.com)
44. <http://autoline-eu.gr>
45. [exprogroup.com](http://exprogroup.com)
46. <http://www.apd-depin.gov.gr/index.php/component/k2/item/156.html?Itemid=841>