

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τίτλος εργασίας: " Διατηρησιμότητα των πετρωμάτων κατά τη διαδικασία
όρυξης γεωτρήσεων πετρελαίου και φυσικού αερίου "



Ονοματεπώνυμο: Τσοπούλου Χρυσή-Στυλιανή
Α.Ε.Μ: 5055

Επιβλέπων καθηγητής: κ. Γεωργακόπουλος Ανδρέας

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1

Ενότητα 1: Ο ρόλος των γεωτρήσεων στην εκτίμηση και ανάπτυξη των κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου

1. Γενικά.....	4
1.2 Ερευνητικές γεωτρήσεις.....	6
1.3 Παραγωγικές γεωτρήσεις.....	7

Ενότητα 2: Η σχέση μεταξύ της γεωλογίας και της τεχνολογίας γεωτρήσεων

2. Γενικά.....	8
2.1 Εφαρμογή της γεωλογικής τεχνολογίας για μηχανικούς γεωτρήσεων.....	8
2.2 Κατά τη διάρκεια της γεωτρητικής διαδικασίας.....	10

Ενότητα 3: Ο σχεδιασμός της γεώτρησης.....11

Κεφάλαιο 2

Ενότητα 1: Ταξινόμηση και γενικές ιδιότητες των πετρωμάτων

1. Εισαγωγή.....	13
1.2 Πυριγενή πετρώματα.....	13
1.3 Μεταμορφωμένα πετρώματα.....	14
1.4 Ιζηματογενή πετρώματα.....	14
1.5 Φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων-μερικά γενικά χαρακτηριστικά.....	15

Ενότητα 2: Ιδιότητες του χώρου των πόρων ενός πετρώματος

2. Εισαγωγή.....	16
------------------	----

2.1 Πορώδες.....	17
2.2 Πορώδες κλαστικών πετρωμάτων.....	18
2.3 Πορώδες ανθρακικών πετρωμάτων.....	18
2.4 Ρευστά στο χώρο των πόρων.....	18
2.5 Διαπερατότητα.....	19
2.6 Κατανομή ρευστού-Τριχοειδής πίεση σε ταμιευτήρα.....	19
2.7 Γενικές αρχές.....	20

Κεφάλαιο 3

Ενότητα 1: Διατρησιμότητα των πετρωμάτων

1. Ρυθμός διείσδυσης (ROP).....	21
1.2 Δείκτες διατρησιμότητας.....	22

Ενότητα 2: Γεωλογικές και μηχανικές παράμετροι της διατρησιμότητας

2.Γενικά.....	23
2.1 Οι μηχανικές ιδιότητες και ο ρυθμός διάτρησης των πετρωμάτων.....	25
2.2 Ειδικό έργο καταστροφής.....	25
2.3 Επίδραση της ανισοτροπίας.....	26
2.4 Φθορά του κοπτικού άκρου.....	26

Ενότητα 3: Μέθοδοι εκτίμησης και πρόβλεψης της διατρησιμότητας

3. Γενικά.....	27
3.1 Θεωρητική σχέση μεταξύ της διατρησιμότητας του κοπτικού με περιστρεφόμενους κώνους και της διατρησιμότητας του κοπτικού τριβής PDC.....	29
3.2 Σχέση μεταξύ της διατρησιμότητας και της ταχύτητας των καταγραφόμενων R κυμάτων της οπής της γεώτρησης.....	30
3.3 Ειδική ενέργεια.....	31

Κεφάλαιο 4

Συμπεράσματα.....	32
-------------------	----

Κεφάλαιο 1ⁱ

Ενότητα 1: Ο ρόλος των γεωτρήσεων στην εκτίμηση και ανάπτυξη των κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου

1. Γενικά

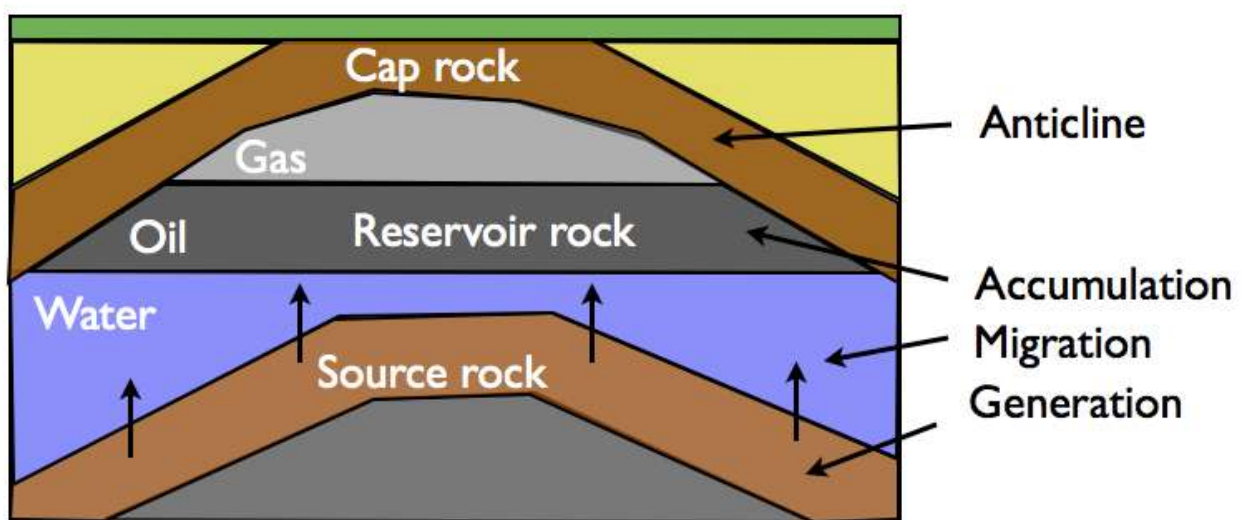
Η εκτίμηση και η επακόλουθη ανάπτυξη των ταμιευτήρων πετρελαίου και φυσικού αερίου είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που απαιτεί μια σειρά τεχνικών ικανοτήτων και δεξιοτήτων. τελικός στόχος είναι να δημιουργηθεί ένα σχέδιο για την ανάπτυξη και τη μετέπειτα εκμετάλλευση του σχηματισμού ενδιαφέροντος. Γενικότερα οι κύριοι στόχοι της εκτίμησης και ανάπτυξης είναι:

α) Ο προσδιορισμός, η εκτίμηση κι η επιβεβαίωση της φύσης και της ποσότητας των κοιτασμάτων πετρελαίου, όπως και της παραγωγικότητας του ταμιευτήρα.

β) Ο σχεδιασμός και η εγκατάσταση των φρεατίων γεώτρησης, ώστε να γίνει η παραγωγή τόσο οικονομικά όσο και με ασφάλεια, ικανοποιώντας τους στόχους της εταιρείας.

Παρόλα αυτά στην αρχή των παραπάνω διαδικασιών η ποσότητα των δεδομένων είναι πολύ περιορισμένη. Για την απόκτηση μιας σαφέστερης εικόνας σχετικά με τον ταμιευτήρα και τη δυνητική παραγωγή του γίνεται περεταίρω έρευνα. Ο στόχος της ερευνητικής φάσης είναι να προσδιοριστεί η υπόγεια δομή που είναι πιθανό να λειτουργήσει ως παγίδα για το πετρέλαιο, κατά τη μετακίνηση του από το μητρικό πέτρωμα στον ταμιευτήρα.

Σχετικές ενδείξεις μπορεί να προκύψουν από γεωλογικές διερευνήσεις γειτονικών



Εικόνα 1: Παράδειγμα δομής ενός πετρελαϊκού συστήματος

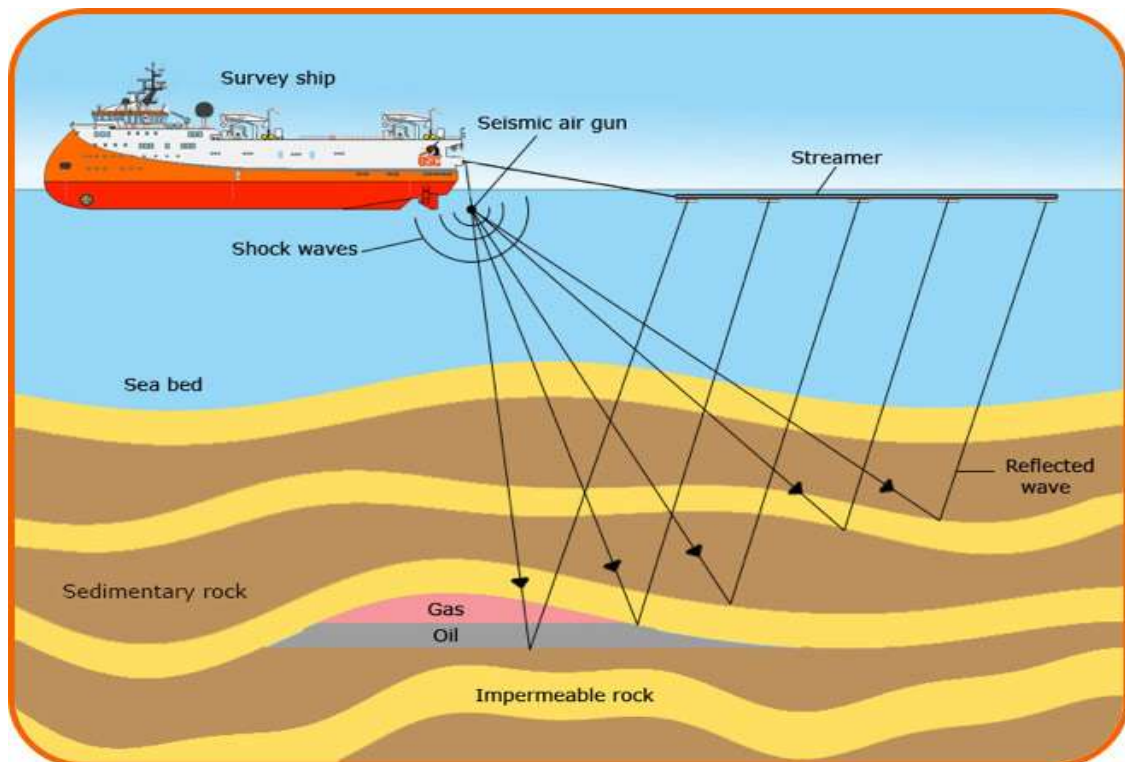
πετρωμάτων ή και περιοχών, δίνοντας λεπτομερέστερες πληροφορίες. Αυτό επιτυγχάνεται

με τις ακόλουθες τεχνικές:

α) Προηγούμενη γεωλογική/γεωφυσική πληροφορία: σε γενικές γραμμές, οι περισσότεροι ταμιευτήρες συναντώνται σε ιζηματογενείς λεκάνες όπου οι γενικές αποθετικές συνθήκες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρουσία άλλων θέσεων ταμιευτήρων.

β) Σεισμικές έρευνες: η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός ακουστικού ηχητικού κύματος που κατευθύνεται στην υπόγεια επιφάνεια. Η κίνηση του σεισμικού κύματος εξαρτάται από την πυκνότητα των υπόγειων στρωμάτων και ακόμη αλλάζει ανάλογα με τη δομή του υπεδάφιου στρώματος. Τα ακουστικά κύματα λοιπόν θα ανακλώνται από αλλαγές στη λιθολογία. Κατόπιν συλλέγεται και αναλύεται το σήμα του κύματος ώστε να παραχθεί ένας χάρτης της υπόγειας δομής των στρωμάτων. Το τρισδιάστατο σεισμικό μοντέλο έχει συμβάλλει ουσιαστικά στις δυνατότητες εξερεύνησης.

γ) Βαρυτομετρικές έρευνες: σε μια βαρυτομετρική έρευνα γίνεται προσπάθεια να μετρηθεί η αλλαγή στο βαρυτικό πεδίο της Γης. Τέτοιες μεταβολές του βαρυτικού πεδίου θα

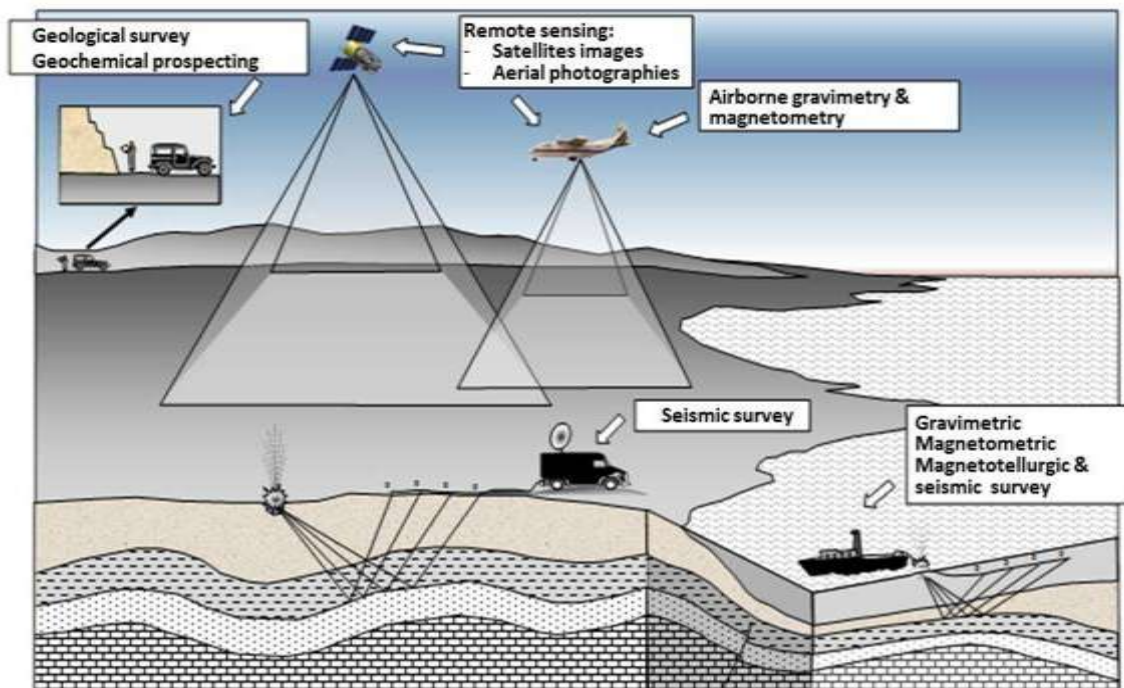


Εικόνα 2: Σεισμική μέθοδος εύρεσης κοιτασμάτων υδρογονανθράκων

επηρεαστούν από την ορυκτολογία των υπόγειων στρωμάτων και ιδιαίτερα από την παρουσία δόμων άλατος.

δ) Δορυφορικές έρευνες: γίνεται χρήση των δορυφόρων με τεχνικές υπέρυθρης απεικόνισης για την ανίχνευση πιθανών υπογείων κοιτασμάτων πετρελαίου. Αυτή η φάση της έρευνας θα ταυτοποιήσει την παρουσία κατάλληλης δομής που μπορεί να συμπεριφερθεί ως παγίδα, εμποδίζοντας την ανοδική μετανάστευση του πετρελαίου. Επιπρόσθετα, είναι σημαντικό ότι η έρευνα θα αποδώσει ένα γεωλογικό/γεωφυσικό χάρτη

της δομής που θα υπολογίζει κατά προσέγγιση το μέγεθος και ίσως την έκταση των ρηγμάτων εντός του πιθανού ταμιευτήρα.



Εικόνα 3: Παρουσίαση ερευνητικών μεθόδων

1.2 Ερευνητικές γεωτρήσεις

Ο μόνος τρόπος με τον οποίο μπορεί να εκτιμηθεί η παρουσία κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου, είναι η διείδυση στη δομή, η μέτρηση και η δειγματοληψία του ταμιευτήρα. Οι πληροφορίες που αποκτώνται από μια τέτοια διαδικασία εκτίμησης είναι οι εξής:

- α) Προσδιορισμός της αποθετικής ακολουθίας εντός του ταμιευτήρα και πληροφορίες σχετικές με το πάχος και την ορυκτολογία των διάφορων ιζηματογενών στρωμάτων.
- β) Πληροφορίες σχετικές με το χώρο των πόρων, όσο αφορά το πορώδες και τον κορεσμό των ρευστών εντός του χώρου των πόρων.
- γ) Πληροφορίες σχετικές με την διαπερατότητα και την παραγωγική ικανότητα του ταμιευτήρα.

Γίνεται λοιπόν σαφές ότι η εκτίμηση του ταμιευτήρα απαιτεί γεωτρήσεις εντός του σχηματισμού, σε διάφορες θέσεις, παρέχοντας έτσι πληροφορίες για λεπτομερέστερη γεωλογική χαρτογράφηση της δομής. Το γεωτρητικό πρόγραμμα θα συμπληρωθεί με πληθώρα μεθόδων, δίνοντας πληροφορίες για τον ταμιευτήρα που διατρείται. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται είναι:

- α) Πυρηνηληψία: ένα κυλινδρικό τμήμα της κατακόρυφης ακολουθίας των στρωμάτων του ταμιευτήρα κόβεται και ανασύρεται για επιφανειακή εκτίμηση. Στην τεχνική αυτή στόχος είναι να ληφθεί ένα μεγάλο τμήμα του πετρώματος-ταμιευτήρα με αναλυτικές πληροφορίες για την ιζηματογενή ακολουθία.
- β) Διαγραφία [Logging]: εκτελείται με συρματόσχοινο και παρέχει σημαντικές

πληροφορίες σε σχέση με την οπή της γεώτρησης, το πάχος του ταμιευτήρα και το περιεχόμενο σε ρευστά. Υπάρχει ποικιλία συστημάτων διαγραφιών που συμπεριλαμβάνουν:

- 1) Ακουστικές διαγραφίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκτιμήσουν το πορώδες του πετρώματος - ταμιευτήρα.
- 2) Πυρηνικές διαγραφίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσδιορίσουν το πορώδες και τον τύπο των ρευστών εντός των πόρων.
- 3) Διαγραφίες ηλεκτρικής αντίστασης που θα δώσουν πληροφορίες για το πορώδες του πετρώματος και για τα ρευστά που άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα, όπως και για τον κορεσμό των ρευστών.

γ) Οι δοκιμές στην οπή της γεώτρησης θα παρέχουν αρκετές πληροφορίες σχετικά με:

- 1) Την παρουσία υδρογονανθράκων μέσα στον ταμιευτήρα.
- 2) Την ικανότητα παραγωγής του πηγαδιού και ιδιαίτερα την σχέση μεταξύ της πίεσης κατά μήκος του ταμιευτήρα και του βαθμού παραγωγής.

Οι δοκιμές αυτές μπορούν να γίνουν χρησιμοποιώντας εργαλεία με συρματοσχοινο ή χρησιμοποιώντας είτε κάποιο διατρητικό στέλεχος είτε ειδικά σύρματα για παραγωγή που ελέγχουν τη ροή του πηγαδιού που διατρείται. Οι παραπάνω μέθοδοι που περιγράφηκαν είναι δαπανηρές, ωστόσο εάν σχεδιαστούν σωστά μπορούν να δώσουν πληροφορίες, που είναι αντιπροσωπευτικές ενός μεγάλου τμήματος του ταμιευτήρα.

1.3 Παραγωγικές γεωτρήσεις

Μόλις οι πληροφορίες συλλεχθούν από τις φάσεις έρευνας και εκτίμησης και **μοντελοποιηθεί ο ταμιευτήρας** (ώστε να υπολογιστεί η ποσότητα του πετρελαίου και του φυσικού αερίου που μπορεί να εξορυχθεί), θα σχεδιαστεί η ανάπτυξη του ταμιευτήρα και θα υπολογιστούν τα οικονομικά μεγέθη. Στο στάδιο της ανάπτυξης του ταμιευτήρα παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η εκτίμηση του τρόπου με τον οποίο θα ανταποκριθεί ο ταμιευτήρας σε μια μακράς διάρκειας χρονική περίοδο όταν και θα πραγματοποιείται η παραγωγή. Κατά τη διάρκεια της παραγωγικής γεώτρησης δίνονται ακόμη περισσότερες πληροφορίες για τον ταμιευτήρα, το πέτρωμα και τις ιδιότητες των ρευστών στην τοποθεσία που γίνεται η εκμετάλλευση του κοιτάσματος. Ως εκ τούτου στη φάση αυτή οι πληροφορίες που συλλέγονται θα συμβάλλουν στη βελτίωση του μοντέλου του ταμιευτήρα και συνεπώς στην καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση του. Η παραγωγική φάση έχει ως σκοπό να επιτρέψει την παραγωγή πετρελαίου και αερίου να προχωρήσει ως εξής:

- 1) Στο μέγιστο βαθμό και για τη μέγιστη δυνατή περίοδο,
- 2) Με την εξασφάλιση της μέγιστης ασφάλειας για το προσωπικό και το περιβάλλον,
- 3) Με συνεχή αξιολόγηση της παραγωγικής διαδικασίας, ώστε να μεγιστοποιηθεί η αποτελεσματικότητα με την οποία διεξάγεται η παραγωγή και με το ελάχιστο δυνατό κόστος

Συνεπώς το στάδιο της παραγωγής είναι ζωτικής σημασίας για τις συνολικές δαπάνες του έργου, γι' αυτό και πρέπει να υπάρχει μια εμπεριστατωμένη και ακριβής μελέτη με τις απαραίτητες πληροφορίες ήδη από το στάδιο της ανάπτυξης, όπως προαναφέρθηκε. Εάν δεν μελετηθούν διεξοδικά κάποιοι παράγοντες, μπορεί και να αστοχήσει η γεώτρηση ή να δημιουργηθούν προβλήματα κατά τη διάρκεια της. Για παράδειγμα, η μηχανική αστάθεια ορισμένων γεωλογικών σχηματισμών απαιτεί ακόμα και δύο σωληνώσεις ώστε να αποφευχθούν προβλήματα που πιθανόν να υπάρξουν στον πυθμένα του φρεατίου (π.χ. να κολλήσει η διατρητική στήλη). Ή επιπλέον ο πολφός διάτρησης ("λάσπη") πρέπει να έχει επαρκές ειδικό βάρος για να μπορεί να συγκρατεί τους σχηματισμούς και να αποτρέπει τις

ανεπιθύμητες εισροές ρευστών (νερό, φυσικό αέριο, πετρέλαιο). Σήμερα, στη παραγωγή πετρελαίου, οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι εταιρείες έχουν ενταθεί δεδομένου ότι οι γεωτρήσεις εκτελούνται πλέον σε πιο ανοιχτές θάλασσες, βαθύτερους ταμιευτήρες και σε περιοχές με πολύ μεγαλύτερους φυσικούς κινδύνους.



Εικόνα 5: Παράδειγμα τύπου εξέδρας για γεώτρηση ανοιχτής θάλασσας

Ενότητα 2: Η σχέση μεταξύ της γεωλογίας και της τεχνολογίας γεωτρήσεων

2. Γενικά

Η γεωλογία είναι η μελέτη της Γης ως ένα σύνολο, της προέλευσης, της δομής, της σύνθεσης και της ιστορίας της (συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης της ζωής) και της φύσης της διαδικασίας που έδωσε "γέννηση" στην τωρινή της κατάσταση. Η γεωλογία περιλαμβάνει τις διεργασίες που διαμορφώνουν το μέσο που ο μηχανικός κάνει τη γεώτρηση. Για να κατανοήσουμε τα προβλήματα της γεώτρησης είναι απαραίτητο να καταλάβουμε τη φύση και τον σχηματισμό του υλικού που διατρέεται.

2.1 Εφαρμογή της γεωλογικής τεχνολογίας για μηχανικούς γεωτρήσεων

Η γνώση της αναμενόμενης γεωλογίας του φρέατος στο οποίο γίνεται η γεώτρηση, έχει σημαντική επίδραση στον τελικό σχεδιασμό και τη μηχανική διαδικασία. Αναλυτικότερα εξετάζονται οι εξής τομείς:

1) Διαβάθμιση της θερμοκρασίας: Διαφορετικές περιοχές του κόσμου έχουν διαφορετικές βαθμίδες θερμοκρασίας [γεωθερμικές βαθμίδες] που εξαρτώνται από το τεκτονικό περιβάλλον. Αυτή η διαβάθμιση της θερμοκρασίας σε συνδυασμό με το βάθος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία του πυθμένα της γεώτρησης και των θερμοκρασιών της λάσπης που κυκλοφορεί. Οι ζώνες υψηλής πίεσης επηρεάζουν επίσης τη θερμοκρασία του φρεατίου, εξαιτίας της σχέσης μεταξύ της πίεσης και της θερμοκρασίας. Ο προσδιορισμός της θερμοκρασίας είναι απαραίτητος σε σχέση με την επιλογή της εξέδρας,

του εξοπλισμού και του τρόπου εργασίας, ιδιαίτερα στα φρεάτια μεγάλου βάθους. Όλα τα επιμέρους τμήματα του επιφανειακού εξοπλισμού πρέπει να ρυθμιστούν στα προβλεπόμενα επίπεδα θερμοκρασιών για την εργασιακή ασφάλεια. Εργαλεία με συρματόσχοινα θα επηρεαστούν από τη θερμοκρασία και μπορεί να έχουν περιορισμούς στις μέγιστες θερμοκρασίες υπό τις οποίες λειτουργούν. Ο σχεδιασμός της σωλήνωσης θα επηρεαστεί από τη θερμοκρασία καθώς οι εφελκυστικές ή οι συμπιεστικές δυνάμεις που ασκούνται στις σωληνώσεις μπορεί να ποικίλλουν κάτω από διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασιών. Σε συστήματα υψηλής θερμοκρασίας η επιλογή των τύπων λάσπης και των χημικών ουσιών πρέπει να εξετάζονται με προσοχή, αφού οι ιδιότητες της λάσπης [drilling mud] μπορεί να διαφέρουν σημαντικά σε περιοχή μεγάλων θερμοκρασιών. Η εκπομπή αερίου είναι ένας άλλος κίνδυνος, καθόσον το αέριο μπορεί να απορροφηθεί πιο εύκολα σε λάσπες που βρίσκονται σε υψηλές θερμοκρασίες, ειδικά σε αυτές που έχουν ως βάση το πετρέλαιο [oil-based muds].

2) Σύσταση του σχηματισμού:

α) Χημική: Η χημική σύσταση των πετρωμάτων που διατρύονται μπορεί να έχει επιπτώσεις στη γεώτρηση. Για παράδειγμα οι ασβεστόλιθοι έχουν μερικά προβλήματα που σχετίζονται με αυτούς, ωστόσο το ανθρακικό ασβέστιο διαλύεται σε λάσπες με βάση το νερό και μπορεί να οδηγήσει σε υψηλά επίπεδα διαλυμένων στερεών της γεώτρησης. Οι ψαμμίτες έχουν και αυτοί κάποια προβλήματα καθώς είναι σε μεγάλο βαθμό αδιάλυτοι. Η σύσταση των αργιλικών σχιστών είναι πολύ σημαντική για τους μηχανικούς γεωτρήσεων. Μια διαφορετική ορυκτολογική σύσταση μπορεί να έχει μια αισθητή επίδραση στη σταθερότητα της οπής καθώς και στους τύπους της λάσπης που χρησιμοποιούνται. Όταν οι σχίστες έρχονται σε επαφή με υγρά, απορροφούν νερό και διογκώνονται πολύ περισσότερο από τον αρχικό τους όγκο. Εάν οι γεωλόγοι γνωρίζουν τη σύσταση των αργιλοσχιστών μπορούν να πάρουν τα κατάλληλα προληπτικά μέτρα. Η χημική σύσταση των πετρωμάτων μπορεί επίσης να επιφέρει επιπλοκές στη διάβρωση των συρματόσχοινων, τη σωλήνωση και τον επιφανειακό εξοπλισμό. Ο εξοπλισμός πρέπει να παρακολουθείται στενά, να συντηρείται και να καθαρίζεται τακτικά.

β) Στερεά: Ο σχεδιασμός του ελέγχου των στερεών θα σχετίζεται με το είδος του σχηματισμού που διατρέεται. Υψηλό περιεχόμενο σε άμμο στα υγρά της διάτρησης μπορεί να προκαλέσει διάβρωση των γραμμών της αντλίας και του εξοπλισμού κυκλοφορίας. Η σωστή επιλογή των αναδευτήρων, των κόσκινων λάσπης, των κόσκινων άμμου και των φυγοκεντρητών μπορεί να μειώσει σημαντικά την χρήση του εξοπλισμού, όπως και να βελτιώσει την ποιότητα της λάσπης. Η δομή των ασβεστόλιθων μπορεί να προκαλέσει προβλήματα, καθώς τα σπασμένα κομμάτια του που πέφτουν στην οπή έχουν ως αποτέλεσμα πιθανή κόλληση του σωλήνα. Οι σκληροί διαβρωμένοι ψαμμίτες μπορεί να φθείρουν το κοπτικό άκρο πολύ γρήγορα. Οι μαλακοί αργιλοσχίστες και πηλοί μπορούν να προκαλέσουν σφαιροποίηση στα κοπτικά άκρα.

3) Σταθερότητα του θαλάσσιου πυθμένα: Σε πολλές περιοχές του κόσμου, η σταθερότητα του πυθμένα της θάλασσας μπορεί να είναι πρόβλημα για την τοποθέτηση των εξεδρών. Η γνώση του βάθους και του τύπου των πρόσφατων ιζημάτων μπορεί να βοηθήσει στο να δοθεί ένα πλαίσιο για τον σχεδιασμό και την αντιμετώπιση των προβλημάτων.

4) Σωλήνωση και τοποθέτηση τσιμέντου: Ο προσδιορισμός των κατάλληλων τύπων πετρωμάτων και βαθών για την τοποθέτηση των διαφόρων σωληνώσεων είναι απαραίτητος ήδη από το στάδιο του σχεδιασμού, ώστε ο κατάλληλος αριθμός σωλήνων να βρίσκεται κοντά στην εξέδρα. Η καλή γεωλογική ερμηνεία μπορεί να μειώσει τα στελέχη σωλήνωσης που χρειάζονται και να παρέχει μια καταλληλότερη θέση για την τοποθέτηση της εξέδρας. Οι κλίσεις των σπασιμάτων των σχηματισμών χρειάζονται για να σχεδιαστεί το πρόγραμμα

σωλήνωσης, καθορίζοντας που και πόσα στελέχη σωλήνωσης θα τοποθετηθούν. Ο καθορισμός ισχυρών **πελμάτων σωλήνωσης** [casing shoes] στο σχηματισμό είναι προτεραιότητα για τον έλεγχο της γεώτρησης. Η γνώση του είδους των ρηγμάτων και του προσανατολισμού τους επίσης βοηθά τη διαδικασία σχεδιασμού, άρα να γίνεται η γεώτρηση με περισσότερη ασφάλεια. Η τοποθέτηση τσιμέντου μπορεί να επηρεαστεί από τη χημεία του σχηματισμού, οπότε ο καθορισμός των πιθανών πορώδων και διαπερατών πετρωμάτων είναι σημαντικός.

5) Σωλήνας που κολλάει: Ο σωλήνας που κολλάει μπορεί να είναι πρόβλημα σε ορισμένες περιοχές, ιδιαίτερα σε λεπτά, μαλακά στρώματα σχηματισμών. Ο εντοπισμός προβλημάτων όπως αυτό, μπορεί να επηρεάσει την επιλογή του BHA [Bottom Hole Assembly].

6) Η χρήση τεχνικών εκτόξευσης (jetting) για γεωτρήσεις: Η γνώση του είδους του πετρώματος και τα βάθη των μεταβολών στον σχηματισμό θα επηρεάσουν την επιτυχία των τεχνικών εκτόξευσης σε μη ενοποιημένους ή μαλακούς σχηματισμούς. Σε πολλούς σχηματισμούς η τεχνική εκτόξευσης μπορεί να είναι γρηγορότερη και πιο αποτελεσματική.

7) Σύσταση της λάσπης: Η επιλογή του τύπου της λάσπης είναι πολύ σημαντική, καθώς η λάσπη δεν πρέπει να μολύνει τον σχηματισμό ή να αντιδρά με αυτόν, αλλά πρέπει να ψύχει αποτελεσματικά το κοπτικό, να φέρει τα θρύμματα στην επιφάνεια, να μειώνει την απώλεια εντός του σχηματισμού δημιουργώντας mud cake, να υποστηρίζει το βάρος των διατηρητικών στελεχών και σωληνώσεων, να προάγει το μέγιστο βαθμό διείσδυσης, να ελέγχει τη διάβρωση και να εξασφαλίζει το μέγιστο των πληροφοριών από την οπή.

2.2 Κατά τη διάρκεια της γεωτρητικής διαδικασίας

Οι αρχικές γεωλογικές πληροφορίες κατά τη διάρκεια της γεώτρησης προέρχονται από την καταγραφή της λάσπης [mud logging]. Η περιγραφή των θρυμμάτων μπορεί να είναι πολύ σημαντική αφού συχνά δείχνει πιέσεις στην ακολουθία του σχηματισμού. Επιπρόσθετα, μπορεί να δώσει ένδειξη για την παρουσία ενός ρήγματος που διασχίζει τον σχηματισμό ή ξαφνικές αλλαγές στον σχηματισμό. Η πυκνότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της πίεσης των πόρων, αφού η πυκνότητα μειώνεται με την αύξηση της πίεσης. Το σχήμα και το μέγεθος των θρυμμάτων επίσης δίνει μια ένδειξη της πίεσης των πόρων. Η χημική ανάλυση δείχνει τους μεταβαλλόμενους τύπους της αργίλου, δίνοντας μια πρώτη ένδειξη πιθανών προβλημάτων όπως η σταθερότητα ή η διόγκωση της οπής. Ακόμη, κατά τη γεώτρηση η ανάλυση των αερίων και των πιέσεων πρέπει να παρακολουθούνται προσεκτικά. Αυτά τα παρατηρούμενα επίπεδα αερίων μπορεί να δείξουν αλλαγές στη σύσταση των αργιλοσχιστών, των μητρικών πετρωμάτων ή και των ταμιευτήρων. Η γνώση της σύστασης, του είδους του σχηματισμού και του πορώδους, μπορεί να είναι βοηθητικά για τον μηχανικό, αν κάποια απώλεια στην κυκλοφορία [lost circulation] αρχίσει να γίνεται πρόβλημα. Διαφορετικά μεγέθη και τύποι πορώδους απαιτούν διαφορετική αντιμετώπιση σε σχέση με το "χαμένο" υλικό (απώλεια κυκλοφορίας) κατά την κυκλοφορία της λάσπης.

Ενότητα 3: Ο σχεδιασμός της γεώτρησης

Η καλή προετοιμασία του σχεδιασμού της γεώτρησης είναι ζωτικής σημασίας για την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα των γεωτρήσεων.



Εικόνα 7: Ο σχεδιασμός της γεώτρησης βασίζεται και στην εμπειρία του προσωπικού

Η διαδικασία σχεδιασμού της γεώτρησης μπορεί να αναλυθεί σε επιμέρους στάδια:

- 1) Καθορισμός των στόχων της γεώτρησης. Συγκεκριμένα αν πρόκειται για ερευνητική ή παραγωγική γεώτρηση κλπ,
- 2) Απόκτηση άδειας για όρυξη γεώτρησης από τις αρμόδιες αρχές,
- 3) Συλλογή των δεδομένων. Όλα τα σχετικά δεδομένα από σεισμικές έρευνες και προηγούμενες αναφορές για τον σχηματισμό πρέπει να διερευνηθούν για να εξασφαλιστεί η βέλτιστη προετοιμασία του γεωτρητικού προγράμματος.
- 4) Προσδιορισμός των υπογείων συστημάτων πίεσης. Ένας από τους κύριους σκοπούς της μελέτης των δεδομένων που συλλέχθηκαν, είναι να προσπαθήσουμε να προβλέψουμε τις πιέσεις των πόρων του σχηματισμού, που πιθανόν να συναντήσουμε και να εφαρμόσουμε το κατάλληλο σχέδιο για αυτές.
- 5) Προσδιορισμός του βαθμού κατακερματισμού του πετρώματος. Ο βαθμός αυτός πρέπει να καθοριστεί όσο το δυνατόν καλύτερα, ώστε να επιλεγούν και οι κατάλληλες σωληνώσεις.
- 6) Προετοιμασία προγράμματος γεώτρησης. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί, το πρόγραμμα κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι της γεώτρησης.

Στο πρόγραμμα υπάρχουν 11 κύριοι τομείς που είναι:

- οι λεπτομέρειες-δεδομένα για τη γεώτρηση,
- οι στόχοι της γεώτρησης,
- ο σχεδιασμός της σωλήνωσης,
- η επιλογή της κεφαλής του τρυπανιού [drill bit selection],
- οι απαιτήσεις του BOP [Blow-out Preventer],
- το πρόγραμμα τσιμέντωσης,

- το πρόγραμμα απόκλισης,
- οι ερευνητικές απαιτήσεις,
- το πρόγραμμα της λάσπης που θα χρησιμοποιηθεί,
- το πρόγραμμα για το κοπτικό άκρο και τα υδραυλικά,
- η διαδικασία λειτουργίας και η κατασκευή διαγράμματος χρόνου-βάθους, αναφορές και μετρήσεις.

7) Καθορισμός του τύπου εξέδρας που θα χρησιμοποιηθεί. Από το σχέδιο προγράμματος ο προσδιορισμός της εξέδρας που απαιτείται για τη διάτρηση της οπής, μπορεί να προετοιμαστεί.

8) Εξουσιοδότηση για τις δαπάνες της γεώτρησης. Χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους υπολογίζονται τα κόστη της γεώτρησης.

ⁱ Βιβλιογραφία πρώτου κεφαλαίου:

Fraser K. (1991) Managing Drilling Operations. Elsevier Science Publishers.

Πηγές εικόνων: (από το site: Google-Εικόνες για τους όρους oil drilling, oil reservoir,survey for oil drilling,rigs)

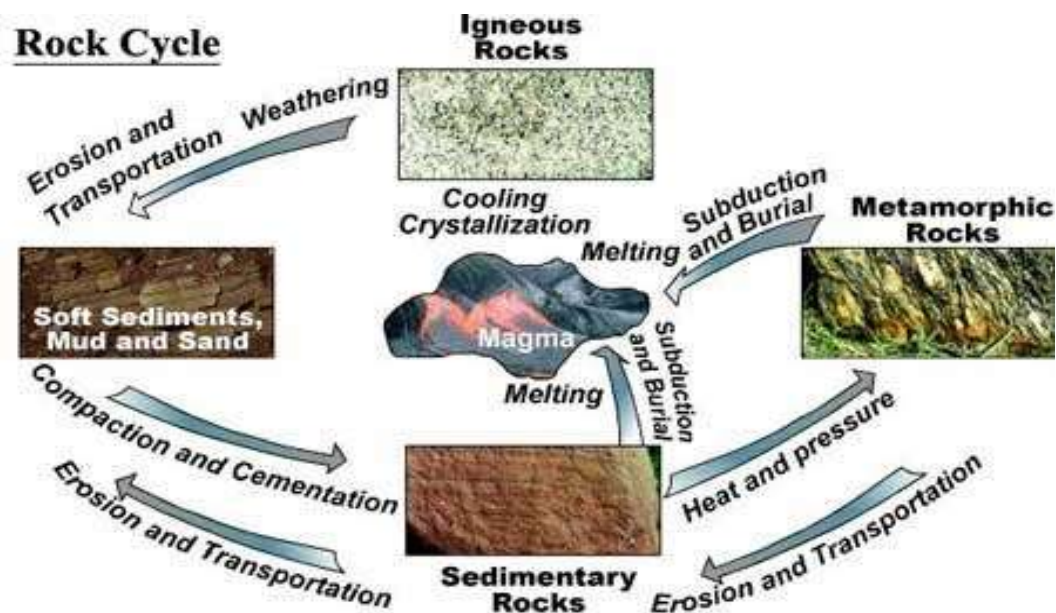
Κεφάλαιο 2ⁱⁱ

Ενότητα 1: Ταξινόμηση και γενικές ιδιότητες των πετρωμάτων

1. Εισαγωγή

Τα πετρώματα είναι φυσικές συγκεντρώσεις ενός ή περισσότερων ορυκτών. Ακόμη, μπορεί να περιέχουν υγρές φάσεις λόγω του πορώδους ή των σπασιμάτων τους. Σε σχέση με τη γεωλογική τους προέλευση και τις διεργασίες που υφίστανται, τα πετρώματα χωρίζονται σε 3 κύριες κατηγορίες:

- 1) Πυριγενή πετρώματα,
- 2) Μεταμορφωμένα πετρώματα,
- 3) Ιζηματογενή πετρώματα.



Εικόνα 1: Ο κύκλος των πετρωμάτων

Ο "κύκλος των πετρωμάτων" αρχίζει με τα μαγματικά πετρώματα που σχηματίζονται από την κρυστάλλωση του μάγματος. Οι χημικές διεργασίες και οι διεργασίες διάβρωσης, διάλυσης και μεταφοράς δημιουργούν ιζηματογενή πετρώματα διαφορετικής σύνθεσης και υφής. Και οι δύο τύποι μπορούν να μετατραπούν σε μεταμορφωμένα πετρώματα υπό την επίδραση της πίεσης και της θερμοκρασίας. Επιπλέον, πραγματοποιείται μια επανεπεξεργασία με τήξη και ανακρυστάλλωση.

1.2 Πυριγενή πετρώματα

Τα πυριγενή πετρώματα σχηματίζονται με κρυστάλλωση από το λιωμένο μάγμα. Τρεις τύποι χαρακτηρίζονται από την εμφάνιση και τη θέση τους στο φλοιό και είναι οι εξής:

- α) Πλουτωνικά πετρώματα που κρυσταλλώνονται σε μεγάλο βάθος και σχηματίζουν μεγάλα σώματα,

β) Ηφαιστειακά πετρώματα που φθάνουν στην επιφάνεια και συχνά σχηματίζουν λεπτές στρώσεις πετρωμάτων,



Εικόνα 2 : Τρόποι δημιουργίας & παραδείγματα πυριγενών πετρωμάτων

γ) Φλεβικά ή υπο-ηφαιστειακά πετρώματα που έχουν κάθετη αλλά και οριζόντια έκταση, χωρίζοντας πολλές φορές γεωλογικές ενότητες.

Τα πυριγενή πετρώματα μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τη χημική ή την ορυκτολογική τους σύσταση. Η χημική ταξινόμηση διακρίνει τα όξινα (π.χ. γρανίτης, ρυόλιθος), τα ενδιάμεσα (π.χ. διορίτης, τραχείτης), τα βασικά (π.χ. γάββρος) και τα υπερβασικά πετρώματα (π.χ. περιδοτίτης). Οι φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων (π.χ. η πυκνότητα) εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ορυκτολογική τους σύσταση.

1.3 Μεταμορφωμένα πετρώματα

Τα μεταμορφωμένα πετρώματα είναι αποτέλεσμα της μεταμόρφωσης. Μεταμόρφωση είναι η μετατροπή σε στερεή κατάσταση των πυριγενών και ιζηματογενών πετρωμάτων κάτω από καθεστώς πίεσης - θερμοκρασίας του φλοιού. Μέσω των διαφορετικών μεταμορφικών διεργασιών (περιοχική μεταμόρφωση, μεταμόρφωση επαφής, κτλ) η μεγάλη ποικιλία των αρχικών πετρωμάτων και η σύστασή τους καταλήγουν σε ένα ευρύ φάσμα τύπων μεταμορφωμένων πετρωμάτων. Τυπικά μέλη μεταμορφωμένων πετρωμάτων είναι: οι φυλλίτες, οι σχιστόλιθοι, τα πετρώματα skarn, οι γνεύσιοι, τα μάρμαρα, οι χαλαζίτες, οι σερπεντινίτες και οι αμφιβολίτες. Σαν αποτέλεσμα της μεταμόρφωσης πολλά πετρώματα δείχνουν δομή με παράλληλα προσανατολισμένα στοιχεία όπως άξονες ορυκτών, σπασίματα και σχισμές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανισοτροπία ορισμένων φυσικών ιδιοτήτων τους.

1.4 Ιζηματογενή πετρώματα

Τα ιζηματογενή πετρώματα είναι εξαιρετικά σημαντικά για την έρευνα πετρελαίου και φυσικού αερίου, αφού οι ταμιευτήρες εμφανίζονται σε αυτόν τον τύπο πετρωμάτων. Τα ιζηματογενή πετρώματα καλύπτουν πάνω από το 50% της επιφάνειας της γης και

σχηματίζονται από μια σειρά φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών. Τα αρχικά πετρώματα με τη διάβρωση χωρίζονται σε:

- 1) ανθεκτικά υπολειμματικά σωματίδια (π.χ. πυριτικά ορυκτά)
- 2) δευτερεύοντα ορυκτά (π.χ. άργιλος)
- 3) υδατοδιαλυτά ιόντα ασβεστίου, νατρίου, καλίου κτλ



Εικόνα 3: Παράδειγμα Ιζηματογενούς σχηματισμού

Στη συνέχεια, το υλικό μεταφέρεται μέσω νερού, πάγου ή αέρα σε διάφορες τοποθεσίες και αποτίθενται οι ορυκτοί κόκκοι, η διαλυμένη ύλη που χωρίζει το στερεό από το υγρό της μέρος, ανόργανα ή οργανικά υλικά καθώς και τα αποσυντεθημένα φυτικά και ζωικά υπολείμματα. Η λιθοποίηση συμβαίνει όταν συμπυκνωθεί το ιζηματογενές υλικό, τα υδατικά διαλύματα των πόρων αλληλεπιδράσουν με τα αποτιθέμενα κλάσματα και σχηματιστούν νέα, σταθερά, διαγενετικά (αυθιγενή) ορυκτά. Διακρίνουμε δύο κύριες κατηγορίες ιζηματογενών πετρωμάτων:

- α) τα κλαστικά,
- β) τα ανθρακικά και τους εβαπορίτες.

Τα κλαστικά ιζήματα μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ τα ανθρακικά σχηματίζονται επί τόπου. Επιπρόσθετα, τα κλαστικά είναι σχετικά χημικά σταθερά, ενώ τα ανθρακικά χημικά ασταθή.

1.5 Φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων – μερικά γενικά χαρακτηριστικά

Ο όρος "πετροφυσική" ιδιότητα αφορά τη φυσική ιδιότητα συγκεκριμένων τύπων πετρωμάτων σε σχέση με την κατανομή των πόρων και των ρευστών που εμπεριέχουν, όπως αναφέρει ο Archie (πρωτοπόρος στην εφαρμογή και ποσοτικοποίηση των φυσικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων στις γεω-επιστήμες και στη μηχανική πετρελαίου). Τα πετρώματα στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ετερογενή σύνθετα υλικά, δηλαδή περιέχουν περισσότερους από έναν τύπους ορυκτών. Η ετερογένεια γίνεται πιο έντονη εάν υπάρχουν πόροι και σπασίματα στο πέτρωμα που γεμίζουν με ρευστά. Η ορυκτολογική σύσταση, το πορώδες, η σχιστότητα και η εσωτερική δομή του πετρώματος επηρεάζουν τις φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων. Από την άλλη πλευρά οι φυσικές ιδιότητες των

πετρωμάτων (π.χ. ελαστικές, ηλεκτρικές, πυρηνικές) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να χαρακτηρίσουν τα πετρώματα σε σχέση με ιδιότητες και παραμέτρους ενδιαφέροντος (π.χ. ιδιότητες ταμιευτήρων, γεωμηχανικές ιδιότητες). Αυτό οδηγεί σε ταξινόμηση των ιδιοτήτων πετρωμάτων στις ακόλουθες δύο κύριες ομάδες:

1) Ιδιότητες άμεσου ενδιαφέροντος για εφαρμογή: ιδιότητες ταμιευτήρα (πορώδες, κορεσμός, διαπερατότητα), γεωμηχανικές ιδιότητες (παραμόρφωση, αντοχή), ορυκτολογικά χαρακτηριστικά (περιεχόμενο του αργιλοσχίστη), περιεχόμενο σε υλικά ενδιαφέροντος (πχ περιεχόμενο μετάλλευμα).

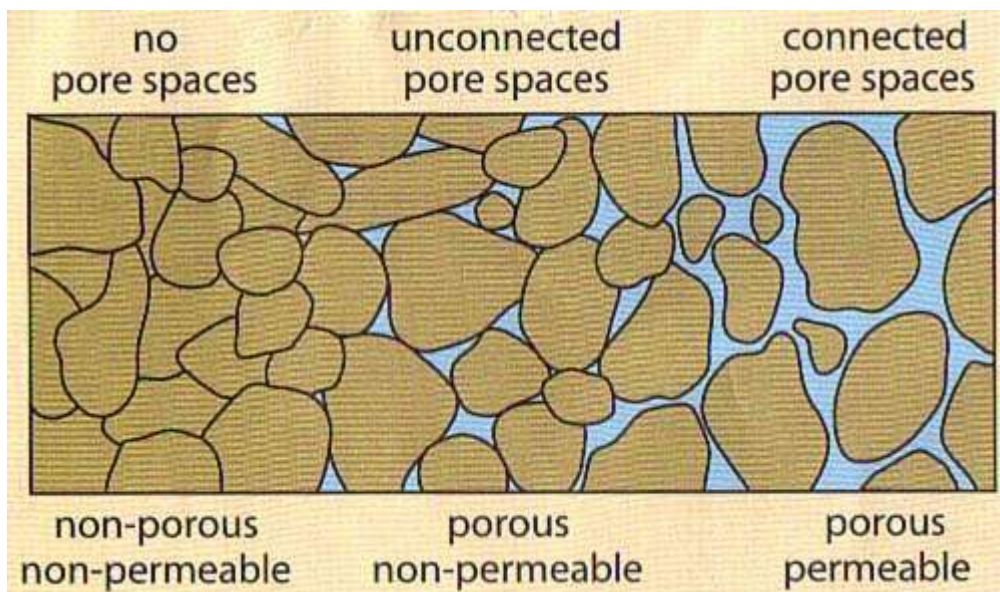
2) Ιδιότητες σχετικές με τις διάφορες γεωφυσικές μεθόδους (ελαστικές/σεισμικές ιδιότητες, πυκνότητα, ηλεκτρικές ιδιότητες, πυρηνικές ιδιότητες, πυρηνικός-μαγνητικός συντονισμός NMR – Nuclear Magnetic Resonance).

Για τις ιδιότητες άμεσου ενδιαφέροντος συλλέγονται γεωφυσικά δεδομένα από μετρήσεις στην επιφάνεια αλλά και εντός της οπής της γεώτρησης. Για τη φυσική πίσω από μεμονωμένες ιδιότητες είναι σημαντικό να τις χαρακτηρίσουμε σε σχέση με το χαρακτήρα τους ως "μονόμετρη ιδιότητα" (που δίνεται ως μια τιμή για την ιδιότητα χωρίς κατεύθυνση) ή ως "διανυσματική ιδιότητα" (που δίνεται ως ένα διάνυσμα με πολλές συνιστώσες και κατεύθυνση). Ο διανυσματικός χαρακτήρας είναι σχετικός για πετρώματα με ανισοτροπία (που προέρχεται από τη φολίδωση, την προτιμώμενη κατεύθυνση των σχισμών, τον άξονα των κόκκων ή τον προσανατολισμό των ορυκτών κτλ.). Το 'ισότροπο' εκφράζει ότι μια ιδιότητα έχει σε οποιοδήποτε σημείο το ίδιο μέγεθος για όλες τις κατευθύνσεις, ενώ εάν το μέγεθος δείχνει μια κατεύθυνση εξάρτησης, τότε το υλικό είναι ανισότροπο. Εξίσου σημαντική είναι και η 'ομοιογένεια' ή η 'ανομοιογένεια'. Η ομοιογένεια εκφράζει ότι οποιαδήποτε ιδιότητα (μονόμετρη ή διανυσματική) είναι ίδια σε διαφορετικά σημεία εντός του όγκου του πετρώματος, ενώ αν οι ιδιότητες έχουν διαφορετικές τιμές τότε το υλικό είναι ανομοιογενές ή ετερογενές. Στα πετρώματα βρίσκουμε και τους τέσσερις συνδυασμούς. Τόσο η ανισοτροπία όσο και η ετερογένεια είναι όροι που συνδέονται με την κλίμακα εξέτασης και ορισμού μιας ιδιότητας. Ένα μικρό σε μέγεθος δείγμα (πυρήνας, μικρό κομμάτι) από ένα στρώμα ψαμμίτη μπορεί να είναι ομοιογενές, ενώ ένας σχηματισμός ψαμμίτη με ποικιλία σε μέγεθος κόκκων, περιεχόμενο αργιλοσχίστη κτλ είναι ετερογενές.

Ενότητα 2: Ιδιότητες του χώρου των πόρων ενός πετρώματος (πορώδες)

2. Εισαγωγή

Ο χαρακτηρισμός του χώρου των πόρων βασίζεται σε καθορισμένες ιδιότητες του ταμιευτήρα (π.χ. πορώδες και διαπερατότητα), που είναι σημαντικές για την περιγραφή και τον χαρακτηρισμό του όγκου των πόρων και της συμπεριφοράς κατά τη ροή των ρευστών των ταμιευτήρων. Εργαστηριακές τεχνικές (βασική & ειδική ανάλυση πυρήνων) παρέχουν βασικές ιδιότητες, ενώ για μικρά τμήματα οι μικροσκοπικές έρευνες ή αυτές που γίνονται με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) χρησιμοποιούνται για την περιγραφή και την υπολογιστική ανάλυση.



Εικόνα 4: Σχέση πορώδους - διαπερατότητας

Οι θεμελιώδεις ιδιότητες των χώρων των πόρων των ταμιευτήρων περιγράφουν:

- 1) κλάσματα όγκου των υγρών (πορώδες, κορεσμός, κύριος όγκος των ρευστών),
- 2) ιδιότητες που ελέγχουν την κατανομή των υγρών στους χώρους των πόρων (τριχοειδής πίεση, ειδική εσωτερική επιφάνεια και υδατότητα),
- 3) ιδιότητες που ελέγχουν τη ροή του ρευστού υπό την επίδραση μιας βαθμίδας της πίεσης (διαπερατότητα).

Υπάρχουν σχέσεις μεταξύ των ιδιοτήτων, για παράδειγμα η διαπερατότητα σχετίζεται με το πορώδες. Σημαντικές γεωμετρικές παράμετροι ελέγχου του πόρου είναι το μέγεθος του σώματος του πόρου, που καθορίζει τις μέσες ογκομετρικές διαστάσεις των πόρων και το μέγεθος του διαύλου του πόρου που είναι παράγοντας ελέγχου της διαπερατότητας.

2.1 Πορώδες

Το πορώδες είναι μια θεμελιώδης ογκομετρική ιδιότητα του πετρώματος: περιγράφει τον πιθανό όγκο αποθήκευσης ρευστών (π.χ. νερό, αέριο, πετρέλαιο) και επηρεάζει τις περισσότερες φυσικές ιδιότητες του πετρώματος (π.χ. ταχύτητα ελαστικού κύματος, ηλεκτρική αντίσταση και πυκνότητα). Το πορώδες μπορεί να προσδιοριστεί άμεσα από διάφορες εργαστηριακές τεχνικές και έμμεσα με διαγραφίες [loggings]. Για την περιγραφή των ταμιευτήρων είναι σημαντικό να γίνει διάκριση μεταξύ:

- 1) ολικού πορώδους, δηλαδή του συνολικού όγκου των κενών προς τον συνολικό όγκο του πετρώματος,
- 2) ενεργού πορώδους, δηλαδή του χώρου εντός του συνολικού όγκου του πετρώματος όπου οι πόροι επικοινωνούν μεταξύ τους επιτρέποντας στα ρευστά να ρέουν εντός αυτών.

Για τον προσδιορισμό του πορώδους χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα:

- α) άμεσες μετρήσεις (εργαστήριο) που βασίζονται στον προσδιορισμό του κύριου και στερεού όγκου, την απελευθέρωση αερίου, ή τεχνικές μετατόπισης.
- β) έμμεσες μετρήσεις (μέθοδοι διαγραφίας, σεισμικές μέθοδοι) που βασίζονται στη συσχέτιση μεταξύ του πορώδους και ιδιοτήτων όπως η πυκνότητα, η απόκριση νετρονίων [neutron porosity] και η ταχύτητα σεισμικού κύματος. Το πορώδες μπορεί επίσης να ληφθεί

από NMR μετρήσεις. Οι κλαστικοί και οι ανθρακικοί ταμιευτήρες έχουν διαφορετικό τύπο αλλά και βαθμό πορώδους.

2.2 Πορώδες κλαστικών πετρωμάτων

Σε κλαστικά ιζήματα διαγενετικοί παράγοντες ελέγχουν το "πρωτογενές πορώδες": το μέγεθος του κόκκου και η κατανομή του μεγέθους του κόκκου, η συγκέντρωση των κόκκων και το σχήμα των σωματιδίων. Το "δευτερογενές πορώδες" είναι το αποτέλεσμα μηχανικών διεργασιών (συμπύκνωση, πλαστική και θραυστιγενής παραμόρφωση, κερματισμός) και γεω-μηχανικών διεργασιών (διάλυση, διαχωρισμός στερεού-υγρού, μειώσεις του όγκου με ορυκτολογικές αλλαγές κτλ.). Στις ιζηματογενείς λεκάνες το πορώδες μειώνεται μη γραμμικά με το βάθος σαν αποτέλεσμα της συμπύκνωσης. Η ιδιότητα ελέγχου για την συμπύκνωση σε αυτή τη διαδικασία είναι η μέση ενεργή πίεση. Για παράδειγμα, το αρχικό πορώδες είναι 0.49 για την άμμο (αυτή είναι μια χαλαρή συγκέντρωση των κόκκων), αλλά για τον αργιλοσχίστη είναι πολύ υψηλότερη, της τάξης του 0.80. Οι κανόνες για την συμπύκνωση και την επακόλουθη συγκόλληση-σταθεροποίηση είναι:

- 1) Το πορώδες απόθεσης του αργιλοσχίστη είναι κανονικά υψηλότερο από αυτό της άμμου.
- 2) Η βαθμίδα του πορώδους με το βάθος είναι πιο απότομη για τον αργιλοσχίστη από ότι για την άμμο κατά τη μηχανική συμπύκνωση (σε μικρά βάθη).
- 3) Η βαθμίδα του πορώδους με το βάθος θα είναι πιο απόκρημνη για την άμμο από ότι για τον αργιλοσχίστη κατά τη χημική συμπύκνωση.

2.3 Πορώδες ανθρακικών πετρωμάτων

Το πορώδες των ανθρακικών πετρωμάτων καλύπτει ένα ευρύ φάσμα τύπων και μεγεθών ως αποτέλεσμα της ποικιλομορφίας των διεργασιών. Το πορώδες σε ανθρακικούς ταμιευτήρες κυμαίνεται από 1% έως 35%. Κατά την απόθεση το πορώδες είναι υψηλό. Η δολομιτίωση είναι μια σημαντική γεωχημική διεργασία όπου ιόντα Mg αντικαθιστούν ιόντα Ca, σχηματίζοντας δολομίτη από ασβεστόλιθο. Η αντικατάσταση του ασβεστόλιθου από δολομίτη αυξάνει το πορώδες κατά 0.13%, δημιουργώντας σημαντικό χώρο για αποθήκευση ρευστών και οι νέοι διακρυσταλλικοί πόροι βελτιώνουν την επικοινωνία του δικτύου των πόρων. Τα ανθρακικά πετρώματα δείχνουν επίσης μείωση του πορώδους υπό την επίδραση του βάθους ή της υπερκείμενης πίεσης αντίστοιχα. Οι αργιλοκοί ασβεστόλιθοι έχουν μικρότερο ολικό πορώδες και γρηγορότερο ρυθμό απώλειας πορώδους από τα καθαρά ανθρακικά σε παρόμοια βάθη. Το πορώδες μειώνεται όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε άργιλο του ασβεστόλιθου.

2.4 Ρευστά εντός των πόρων

Ο χώρος των πόρων είναι γεμάτος με ρευστά (αέριο/αέρας, νερό, πετρέλαιο). Αν υπάρχουν περισσότερα από ένα ρευστά, η χωρική κατανομή των διάφορων ρευστών εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες του υλικού του πετρώματος, τις ιδιότητες του ρευστού και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ρευστών και μεταξύ ρευστών και στερεών. Ένας ταμιευτήρας με νερό, πετρέλαιο και αέριο χαρακτηρίζεται από τρεις κορεσμούς (saturations) και το άθροισμα τους πρέπει να είναι 1:

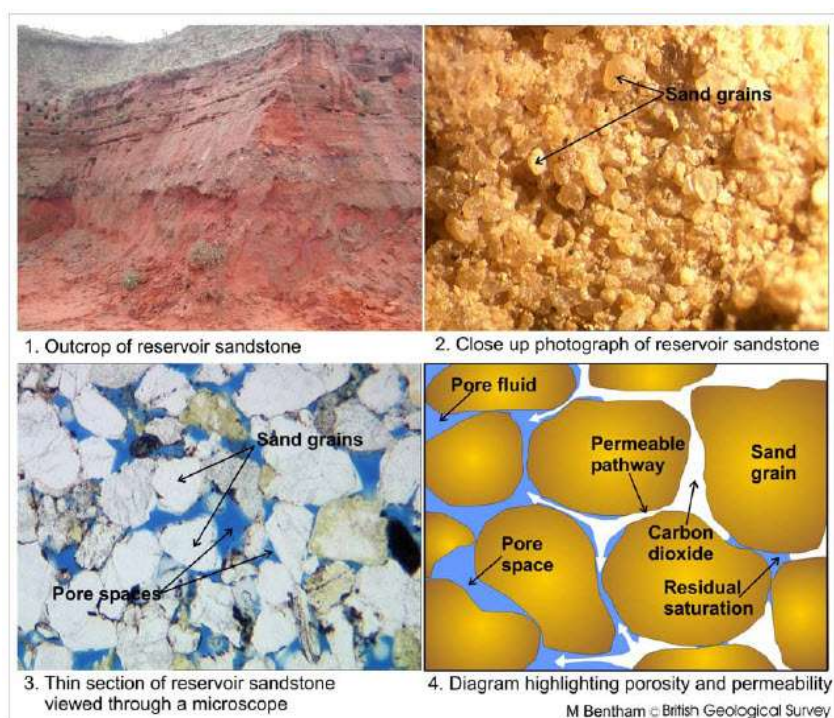
$$S_{water} + S_{oil} + S_{gas} = 1$$

2.5 Διαπερατότητα

Η διαπερατότητα:

- 1) χαρακτηρίζει την ικανότητα ενός πετρώματος να 'μεταφέρει' ένα ρευστό,
- 2) συνδέει το ρυθμό ροής του ρευστού με το βαθμό της εφαρμοζόμενης πίεσης και το ιξώδες του ρευστού,
- 3) ελέγχεται από συνδεδεμένες διόδους του χώρου των πόρων (δίαυλοι πόρων),
- 4) είναι μια διανυσματική ιδιότητα και δείχνει σε πολλές περιπτώσεις την ανισοτροπία.

Η διαπερατότητα σε πλούσια σε άργιλο πετρώματα για παράδειγμα, εξαρτάται έντονα από την αλατότητα του νερού. Χαμηλή αλατότητα οδηγεί σε διόγκωση των αργίλων και μειώνει τη διαπερατότητα. Η διαπερατότητα αυξάνει με το πορώδες και το μέγεθος του πόρου. Αν το πέτρωμα περιέχει άργιλο, η διαπερατότητα μπορεί να μειωθεί. Ως αποτέλεσμα των σπασιμάτων ή των μεγάλων καρστικών "πόρων" ως προτιμώμενων διαδρομών ροής, η διαπερατότητα αυξάνεται έντονα. Αυτό είναι σημαντικό, κυρίως για ανθρακικά και μαγματικά πετρώματα.



Εικόνα 5: Παράδειγμα εξέτασης πορώδους-διαπερατότητας για ψαμμιτικό ταμιευτήρα

2.6 Κατανομή ρευστού-Τριχοειδής πίεση σε ταμιευτήρα

Ως 'τριχοειδής πίεση' ορίζεται η διαφορά πίεσης μεταξύ της μη-υγρής και της υγρής φάσης σαν αποτέλεσμα του κορεσμού της υγρής φάσης. Στη μηχανική των ταμιευτήρων, η τριχοειδής πίεση είναι μια σημαντική παράμετρος για τη μελέτη της κατακόρυφης κατανομής του κορεσμού. Ένας ταμιευτήρας πετρελαίου αρχικά κορέστηκε με νερό. Η μετανάστευση του πετρελαίου στον ταμιευτήρα μετατόπισε μέρος του νερού. Αυτή η μετατόπιση της υγρής φάσης (νερό) από μια άλλη φάση (πετρέλαιο) μπορεί να

προσομοιωθεί με εργαστηριακό πείραμα μέτρησης της καμπύλης που αφορά στην ‘αποστράγγιση’ της τριχοειδούς πίεσης. Σε μελέτες ταμιευτήρων η εισροή του νερού πρέπει επίσης να διαμορφωθεί. Μέθοδοι καθορισμού της τριχοειδούς πίεσης στο εργαστήριο είναι στατιστικές μέθοδοι (έγχυση υδραργύρου) και δυναμικές μέθοδοι (μέθοδοι φυγοκέντρησης).

2.7 Γενικές αρχές

Σε έναν ταμιευτήρα υπό στατικές συνθήκες (χωρίς παραγωγή ή την επιρροή ροής των ρευστών) η βαρύτητα και οι τριχοειδείς δυνάμεις βρίσκονται σε ισορροπία. Η κατανομή του ρευστού στο χώρο των πόρων ελέγχεται από:

- 1) τις ιδιότητες του χώρου του πόρου,
- 2) τις ιδιότητες των ρευστών,
- 3) τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ ρευστών και επιφάνειας των πόρων και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφορετικών ρευστών.

Η κατακόρυφη ισορροπία μεταξύ των τριχοειδών και των βαρυτικών δυνάμεων καθορίζει το ύψος της τριχοειδούς χωρητικότητας σε έναν ταμιευτήρα πετρελαίου (ή οποιοδήποτε άλλο ταμιευτήρα ρευστού).

ii Βιβλιογραφία δεύτερου κεφαλαίου:

Schön J.H. (2011). Physical Properties Of Rocks. Elsevier Science Publishers.

Πηγές εικόνων: (από το site: Google-Εικόνες για τους όρους circle of rocks, sedimentary rocks, igneous rocks, porosity-permeability of rocks, sandstone reservoir)

Κεφάλαιο 3ⁱⁱⁱ

Ενότητα 1: Διατρησιμότητα των πετρωμάτων

1. Ρυθμός διείσδυσης (ROP)

Η διατρησιμότητα είναι η αντίσταση του πετρώματος στη διείσδυση κατά την όρυξη της γεώτρησης και είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψουμε την επίδραση των διαφόρων παραμέτρων στο ρυθμό γεώτρησης (ταχύτητα γεώτρησης) καθώς και την φθορά του εξοπλισμού της γεώτρησης. Στη βιομηχανία γεωτρήσεων, ο ρυθμός διείσδυσης (ROP – Rate of Penetration) είναι η ταχύτητα με την οποία ένα κοπτικό άκρο σπάει το πέτρωμα για να εμβαθύνει την οπή της γεώτρησης, γνωστός και ως ρυθμός γεώτρησης. Κανονικά μετριέται σε πόδια ανά λεπτό ή μέτρα ανά ώρα, αλλά μερικές φορές εκφράζεται σε λεπτά ανά πόδια. Γενικά, ο ROP είναι υψηλός σε σχηματισμούς όπως οι ψαμμίτες και χαμηλός σε σχηματισμούς όπως οι αργιλοσχίστες, λόγω της διαγένεσης και των μεγάλων πιέσεων. Οι ζώνες υψηλών πιέσεων μπορεί να δώσουν διπλάσιο ROP από το αναμενόμενο. Ενώ γενικά είναι επιθυμητό να αυξηθεί ο ROP, αυτό δεν πρέπει να γίνεται αν υπάρχει ο κίνδυνος επιζήμιων επιπτώσεων. Ταχύτερος ρυθμός γεώτρησης δεν σημαίνει και χαμηλότερο κόστος ανά πόδι γεώτρησης. Άλλοι παράγοντες, όπως η φθορά του κοπτικού άκρου του τρυπανιού ή η αποτυχία του εξοπλισμού κτλ. μπορούν να αυξήσουν το κόστος. Σε οποιαδήποτε μηχανική μελέτη μπορούμε να χωρίσουμε τους παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό διείσδυσης (ROP) ως εξής:

- 1) Αποτελεσματικότητα του προσωπικού,
- 2) Αποτελεσματικότητα του εξοπλισμού,
- 3) Χαρακτηριστικά του σχηματισμού (π.χ.. αντοχή, σκληρότητα, διαβρωσιμότητα, κατάσταση πιέσεων των υπογείων σχηματισμών, ελαστικότητα, περιεκτικότητα υγρού και πίεση στις ρωγμές, πορώδες, διαπερατότητα),
- 4) Μηχανικοί παράγοντες (π.χ. βάρος στο κοπτικό άκρο [WOB – Weight on Bit], τύπος κοπτικού άκρου, περιστροφική ταχύτητα),
- 5) Υδραυλικοί παράγοντες (π.χ. ταχύτητα εκτόξευσης του πολφού από τα ακροφύσια (jet nozzles) του κοπτικού άκρου, καθαρισμός των οπών),
- 6) Ιδιότητες του υγρού γεωτρήσεως (π.χ. βάρος λάσπης, ιξώδες, απώλεια διηθήματος, στερεό περιεχόμενο).

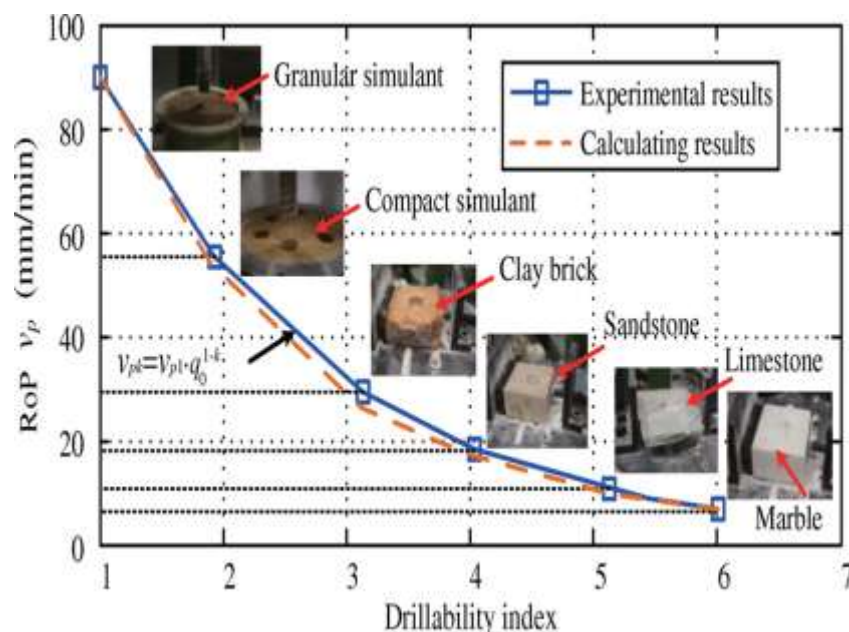
Ο σχηματισμός επηρεάζεται σε κάποιο βαθμό από την υδροστατική πίεση. Εργαστηριακά πειράματα δείχνουν ότι σε μερικούς σχηματισμούς, η αυξημένη υδροστατική πίεση αυξάνει την σκληρότητα του σχηματισμού και μειώνει τη διατρησιμότητα. Ο τύπος κοπτικού άκρου δηλαδή αν χρησιμοποιείται συρόμενο κοπτικό, κοπτικό με αδαμαντοκορώνες ή κοπτικό με περιστρεφόμενους κώνους και οι διάφοροι οδόντες επηρεάζουν σε κάποιο βαθμό την ταχύτητα διείσδυσης (ROP) που μπορεί να επιτευχθεί σε κάποιο σχηματισμό. Οι μηχανικοί παράγοντες βάρους στο κοπτικό και ταχύτητας περιστροφής σχετίζονται γραμμικά με το ρυθμό γεώτρησης, με την προϋπόθεση ότι οι υδραυλικοί παράγοντες βρίσκονται σε κατάλληλη ισορροπία για να εξασφαλίσουν τον κατάλληλο καθαρισμό της οπής. Οι

υδραυλικοί παράγοντες επηρεάζουν το ρυθμό γεώτρησης μόνο όταν επηρεάζουν το ρυθμό διείδυσης ή την αποτελεσματικότητα της γεώτρησης. Είναι γνωστό ότι οι ιδιότητες του γεωτρητικού πολφού μπορούν να επηρεάσουν το ρυθμό διείδυσης. Αρκετές αρχικές μελέτες επικεντρώθηκαν άμεσα στις ιδιότητες της λάσπης, αποδεικνύοντας καθαρά την επίδραση των ιδιοτήτων της λάσπης στο ρυθμό προχώρησης της γεώτρησης.

1.2 Δείκτες διατρησιμότητας

Τα χαρακτηριστικά της σκληρότητας και της διατρησιμότητας επηρεάζονται από τη μικροδομή του πετρώματος. Οι τιμές διατρησιμότητας του σχίστη αυξάνονται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε άργιλο και χαλαζία. Οι τιμές διατρησιμότητας του ψαμμίτη αυξάνονται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε χαλαζία, αλλά μειώνονται με αύξηση της περιεκτικότητας σε άργιλο. Η "SINTEF Rock and Soil Mechanics" (ο μεγαλύτερος ερευνητικός οργανισμός στη Σκανδιναβία) και το NTNU (Νορβηγικό Πανεπιστήμιο Επιστήμης και Τεχνολογίας)-Τμήμα Γεωλογίας, έχουν αναπτύξει μια διαδικασία δοκιμής για την αξιολόγηση της διατρησιμότητας των πετρωμάτων. Η μέθοδος περιλαμβάνει τη μέτρηση 3 δεικτών:

1) Δείκτης ρυθμού διάτρησης (DRI)-μπορεί να περιγραφεί ως η τιμή ψαθυρότητας διορθωμένη για την σκληρότητα της επιφάνειας του πετρώματος



Εικόνα 1: Παραδείγματα σχέσης ROP - Δείκτη Διατρησιμότητας

2) Δείκτης φθοράς του κοπτικού άκρου (BWI)-χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του χρόνου ζωής των κοπτικών άκρων. Ο BWI εκφράζει τον χρόνο ζωής ως διάτρητο μήκος ή διάτρητο όγκο.

3) Δείκτης ζωής κοπτικού άκρου-εκφράζει το χρόνο ζωής του χαλύβδινου δίσκου κοπής του TBM.

Οι δείκτες προσδιορίζονται από τις ακόλουθες ιδιότητες των πετρωμάτων:

α) Ψαθυρότητα [BRITTLENESS]: Η τιμή της ψαθυρότητας (S20) δίνει μια μέτρηση της ευθραυστότητας του πετρώματος και προσδιορίζεται με την χρήση μιας συσκευής κρούσης. Η τιμή της ψαθυρότητας εκτιμάται ως το ποσοστό ενός προ-κοσκινισμένου κλάσματος που διέρχεται από το λεπτότερο κόσκινο μετά από 20 κρούσεις.

β) Σκληρότητα της επιφάνειας [SURFACE HARDNESS]: Η τιμή J κοσκίνου (SJ) δίνει μια μέτρηση της σκληρότητας της επιφάνειας του πετρώματος και προσδιορίζεται με τη χρήση μιας μικρής συσκευής διάτρησης. Η τιμή SJ ορίζεται ως η διείσδυση του κοπτικού άκρου σε 1/10 mm μετά από 200 περιστροφές.

γ) Η Φθορά [WEAR CAPACITY]: Η τιμή διάβρωσης [AV - Abrasion Value] και η τιμή διάβρωσης του χαλύβδινου κοπτικού [Abrasion Value Cutter Steel (AVS)] δίνουν μετρήσεις για τη φθορά του πετρώματος από το καρβίδιο του βολφραμίου και το χαλύβδινο δακτύλιο του κοπτικού. Τα AV και AVS ορίζονται ως η απώλεια βάρους των δοκιμαστικών τεμαχίων καρβιδίου βολφραμίου και χαλύβδινου δακτυλίου κοπτικού σε mg μετά από 5 λεπτά και 1 λεπτό αντίστοιχα.

Ο δείκτης ρυθμού διάτρησης (Drilling rate index - DRI) υπολογίζεται με την χρήση της ψαθυρότητας (S20) και της σκληρότητας επιφάνειας (SJ). Ο Δείκτης φθοράς του κοπτικού (BWI) υπολογίζεται με χρήση του υπολογισμένου (DRI) και της φθοράς του καρβιδίου βολφραμίου (AV). Ο δείκτης ζωής του κοπτικού υπολογίζεται με την χρήση της σκληρότητας επιφάνειας και της φθοράς του χαλύβδινου δακτυλίου του κοπτικού. Ενδεικτικά παραδείγματα των παραπάνω δεικτών είναι:

i. DRI

Για ασβεστόλιθο -Υψηλό (S20=51.8, SJ=70.4)

Για βασάλτη -Χαμηλό (S20=28.0, SJ=30.8)

Για χαλαζίτη-Πολύ χαμηλό (S20=42.5, SJ=0.6)

BWI

Για χαλαζίτη-Εξαιρετικά Υψηλό [DRI=25 (πολύ/εξαιρετικά χαμηλό), AV=68.2]

Για βασάλτη-Μέτριο με Υψηλό [DRI=34 (χαμηλό), AV=5]

Για ασβεστόλιθο-Εξαιρετικά με πολύ Χαμηλό [DRI=62 (πολύ υψηλό), AV=1]

• CLI

Για χαλαζίτη-Εξαιρετικά Χαμηλό [SJ=0.6, AVS=42.2]

Για βασάλτη-Υψηλό με Πολύ Υψηλό [SJ=30.8, AVS=2]

Για ασβεστόλιθο-Εξαιρετικά Υψηλό [SJ=70.4, AVS=1]

Ενότητα 2: Γεωλογικές και μηχανικές παράμετροι της διατρησιμότητας

2. Γενικά

Διάφορες παρατηρήσεις έδειξαν ότι η ταχύτητα διάτρησης εξαρτάται από δύο ομάδες

παραγόντων, τις ιδιότητες των πετρωμάτων, τις ιδιότητες του περιβάλλοντος διάτρησης και τις παραμέτρους της γεωτρητικής διεργασίας. Στην πρώτη ομάδα συμπεριλαμβάνονται οι τοπικές τάσεις (in-situ stresses), η συμπύκνωση των πετρωμάτων, η ορυκτολογική σύσταση, η πίεση των ρευστών των πόρων. Πρώτα από όλα, οι γεωλογικές παράμετροι δίνουν τα ειδικά χαρακτηριστικά του υλικού του πετρώματος και της μάζας του πετρώματος. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν μερικώς να τεθούν σε σχεδιαγράμματα με τη βοήθεια των μηχανικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων. Αλλά οι συνθήκες της μάζας του πετρώματος επίσης εξαρτώνται από τη γεωλογική ιστορία, που περιέχει τη διάβρωση λόγω καιρικών συνθηκών, την υδροθερμική αποσύνθεση και τη δομή των ασυνεχειών. Από τις παραμέτρους της διάτρησης ξεχωρίζουν το επιδρών βάρος στο κοπτικό και η εφαρμοζόμενη ροπή, η ταχύτητα περιστροφής και οι υδραυλικές παράμετροι (ταχύτητα και παροχή ρευστού, πυκνότητα πολφού, ιξώδες και ρεολογία πολφού). Σύμφωνα με τις συνθήκες του πετρώματος θα επιλεγεί η καταλληλότερη εξέδρα της γεώτρησης. Οι παράμετροι του γεωτρυπάνου εξαρτώνται από τη μέθοδο διάτρησης που θα επιλεγεί. Η περιστροφική διάτρηση είναι σταθερή, παρέχοντας μέγιστη απόδοση στις περισσότερες περιπτώσεις. Οι παράμετροι είναι οι τεχνικές προδιαγραφές του τρυπανιού γεωτρήσεων, του συστήματος έκπλυσης και του σχεδιασμού του κοπτικού άκρου. Οπωσδήποτε η κατάσταση του κοπτικού παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο, αφού με τον χρόνο υπάρχει η αντίστοιχη φθορά που εξαρτάται τόσο από το είδος του κοπτικού, όσο και από το είδος των πετρωμάτων που διατρύονται. Το κοπτικό άκρο είναι το τμήμα του εξοπλισμού που εκτελεί τη σύνθλιψη και αποτελείται από ένα φορέα, που κρατά τους οδόντες από σκληρό μέταλλο. Το σχήμα των οδόντων και ο σχεδιασμός του κοπτικού (γεωμετρία και διάταξη οδόντων, οπές εκκένωσης και κανάλια αποστράγγισης) έχουν σοβαρή επίδραση στην φθορά του κοπτικού και την απόδοση της διάτρησης.



Εικόνα 2: Διατρητικά στελέχη-Κοπτικά άκρα & σωλήνες

Η τρίτη κύρια παράμετρος που επηρεάζει τη διατρησιμότητα είναι η ίδια η διαδικασία του τρόπου εργασίας. Πρώτον, η ομαλή λειτουργία και η μόνιμη συντήρηση της εξέδρας

συμβάλλει στην επιτυχημένη απόδοση της γεώτρησης. Δεύτερον, ένας υψηλός ρυθμός διείσδυσης δεν οδηγεί αυτομάτως σε υψηλή απόδοση της κεφαλής του τρυπανιού. Είναι λοιπόν θέμα κατανόησης ολόκληρου του συστήματος της γεώτρησης πριν από την εφαρμογή της εμπειρίας για τη διερεύνηση της διατρησιμότητας.

2.1 Οι μηχανικές ιδιότητες και ο ρυθμός διάτρησης των πετρωμάτων

Οι καθαροί χρόνοι διάτρησης είναι αποτέλεσμα αλλαγών της ταχύτητας διάτρησης σε διαφορετικούς τύπους πετρωμάτων. Ο ρυθμός διάτρησης μετράται περιοδικά ενώ εξάγονται και πυρήνες από το πέτρωμα για να βρεθούν οι μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων. Με αυτόν τον τρόπο η πρόοδος της διάτρησης μπορεί να συνδεθεί με κάποιες κύριες παραμέτρους του πετρώματος. Δύο από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες ιδιότητες των πετρωμάτων είναι η αντοχή σε θλίψη και η αντοχή σε εφελκυσμό. Αλλά η συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού διάτρησης και της αντοχής σε θλίψη καθώς και της αντοχής σε εφελκυσμό των πετρωμάτων είναι μάλλον ανεπαρκής. Αυτές οι ιδιότητες των πετρωμάτων δεν μπορούν να περιγράψουν επαρκώς την σκληρότητα του πετρώματος. Από τις μελέτες υψηλής ταχύτητας και την ανάλυση λεπτών τομών του πετρώματος μετά από κοπή με TBM, μπορούν να εντοπιστούν οι μηχανισμοί σύνθλιψης του πετρώματος. Ωστόσο, εξετάζοντας τα αποτελέσματα και τον μηχανισμό διάτρησης, είναι φανερό ότι εκτός από την αντοχή σε θλίψη και την αντοχή σε εφελκυσμό, όπως και την τάση διατμήσεως, τα ελαστικά χαρακτηριστικά του πετρώματος είναι καθοριστικής σημασίας. Για την ακρίβεια, το κοπτικό διεισδύει πάντα μέσα σε προ-κατακερματισμένο πέτρωμα και πρέπει να αφιερωθεί πολύς χρόνος για να γίνει κατανοητός ο μηχανισμός σύνθλιψης κάτω από το κοπτικό άκρο. Με άλλα λόγια εισάγεται μια νέα ιδιότητα που περιγράφει τόσο την ψαθυρότητα / σκληρότητα του πετρώματος, όσο και την ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για τη δημιουργία νέων επιφανειών (ρωγμών) σε ένα πέτρωμα. Η περιγραφή αυτής της ιδιότητας, όπως και των υπολοίπων ιδιοτήτων που επηρεάζουν την διατρησιμότητα των πετρωμάτων, δίνεται στις επόμενες παραγράφους.

2.2 Ειδικό έργο καταστροφής

Η νέα ιδιότητα που αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι το ‘ειδικό έργο καταστροφής’ [specific destruction work (in short: destruction work) W_z [kJ/m³]] και δίνει τη δυνατότητα σύγκρισης υλικών του πετρώματος αναφορικά με τη ψαθυρότητα / σκληρότητα, χρησιμοποιώντας τρυπάνια ή κοπτικά άκρα. Ενώ το μέτρο του Young καθορίζει την κλίση του γραμμικού συστήματος, το ‘ειδικό έργο καταστροφής’ εκτιμάται από την περιοχή κάτω από την καμπύλη πίεσης-αντοχής. Το ειδικό έργο καταστροφής έχει αποδειχθεί ως μια εξαιρετικά σημαντική παράμετρος για την αξιολόγηση των καθαρών ρυθμών διάτρησης σε γεωτρήσεις και σήραγγες και ως εκ τούτου είναι η σημαντικότερη μηχανική ιδιότητα των πετρωμάτων για τη διερεύνηση της διατρησιμότητας.

2.3 Επίδραση της ανισοτροπίας

Φυσικά, οι ιδιότητες των πετρωμάτων και οι ρυθμοί γεώτρησης εξαρτώνται επίσης σε μεγάλο βαθμό από τον προσανατολισμό των επιπέδων αδυναμίας που σχετίζονται με την κατεύθυνση της δοκιμής ή της γεώτρησης. Για παράδειγμα εξετάζεται ο συσχετισμός μεταξύ των ιδιοτήτων των πετρωμάτων και του προσανατολισμού της φύλλωσης για ένα χαλαζίτη με επίπεδες και ομαλές ασυνέχειες και ένα χαλαζίτη με άνισα τμήματα σερικήτη-χλωρίτη. Το εντυπωσιακό σημείο στο παράδειγμα είναι ότι, ενώ οι υψηλότερες τιμές του ειδικού έργου καταστροφής επιτυγχάνονται παράλληλα με τη φύλλωση, η θλιπτική αντοχή είναι μεγαλύτερη από τις ασυνέχειες και αντίστροφα. Όσον αφορά στην αντοχή σε εφελκυσμό, οι ελάχιστες τιμές επιτυγχάνονται παράλληλα με τη φύλλωση, υποθέτοντας ότι σε αυτήν την περίπτωση οι πραγματικές τάσεις γίνονται κάθετα προς την κατεύθυνση της φύλλωσης και της δύναμης. Όταν η κατεύθυνση της γεωτρήσεως είναι ορθογώνια προς τον προσανατολισμό της φύλλωσης, το υλικό του πετρώματος συμπιέζεται δεξιόστροφα, αλλά κόβεται παράλληλα προς αυτό. Αν και οι ρωγμές θα αναπτυχθούν ακτινικά με τη συμπίεση, οι ρωγμές που είναι παράλληλες προς τον πυθμένα της γεώτρησης θα χρησιμοποιηθούν για την αποφλοιώση. Συνήθως, στην περίπτωση αυτή, επιτυγχάνονται οι υψηλότερες ταχύτητες διάτρησης λόγω του ευνοϊκού προσανατολισμού του σχίστη. Η διάτρηση ελέγχεται από την τάση διατμήσεως του φολιδωτού υλικού του πετρώματος. Το ελάχιστο ειδικό έργο καταστροφής προκαλεί μεγάλου μεγέθους αποφλοιώσεις και μέγιστη απόδοση γεώτρησης. Επιπλέον η διάτρηση ελέγχεται από την αντοχή σε εφελκυσμό παράλληλη με τη φύλλωση, η οποία παράγει θραύσματα μικρού μεγέθους και την ελάχιστη απόδοση διάτρησης. Η απόδοση διάτρησης είναι κατά γεωμετρικό λόγο κυρίως συνάρτηση του συνημίτονου της γωνίας βύθισης της φύλλωσης. Εν τέλει είναι σίγουρο ότι στην παράλληλη περίπτωση, οι ιδιότητες των πετρωμάτων είναι οι υψηλότερες και οι ρυθμοί διάτρησης είναι χαμηλοί. Σε αντίθεση με την περιστροφική διάτρηση, τα ποσοστά διεύθυνσης με TBM είναι μέγιστα όταν η φύλλωση είναι διαγώνια ως προς τον άξονα της γεώτρησης.

2.4 Φθορά του κοπτικού άκρου

Ως κύρια παράμετρος, η φθορά των κοπτικών άκρων έχει εξεταστεί σε διαφορετικούς τύπους πετρωμάτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η φθορά του εξοπλισμού γεώτρησης μπορεί να είναι σοβαρός παράγοντας κόστους. Άλλα εργαλεία, όπως drifter rods, couplings and shank adapters έχουν διάρκεια ζωής κατά μέσο όρο δέκα φορές μεγαλύτερη από αυτή των οδόντων των κοπτικών. Ένας σημαντικός τρόπος για τη μέτρηση της διαβρωσιμότητας του πετρώματος είναι η ανάλυση των φθαρμένων κοπτικών άκρων. Η φθορά του κοπτικού διακρίνεται σε έξι βασικές μορφές, σύμφωνα με τις συνθήκες της μάζας του πετρώματος:

- 1) Φθορά του οδόντα: Φθορά των σκληρών μεταλλικών οδόντων σύμφωνα με τη διαβρωσιμότητα ενός ισχυρού πετρώματος, όπως ο γρανίτης, ο γνεύσιος ή ο αμφιβολίτης.
- 2) Φθορά του χάλυβα: Φθορά του χάλυβα σε πετρώματα με υψηλή διαβρωσιμότητα, όπως είναι οι ψαμμίτες, οι σχίστες, και οι έντονα διαβρωμένοι σχηματισμοί.
- 3) Βλάβη του οδόντα: Σπάσιμο των οδόντων των κοπτικών λόγω της υψηλής τάσης διάτμησης. Αν ο βραχίονας αιώρησης κολλήσει εξαιτίας της παρεμβολής σκληρών εξαρτημάτων ή χαλύβδινων στηριγμάτων μπορεί να προκληθεί σοβαρή ζημιά στους οδόντες.



Εικόνα 3: Διάφοροι τύποι οδόντων

4) Πλήρης αφαίρεση των οδόντων: Για τους ίδιους λόγους καταστροφής των οδόντων, οι οδόντες μπορεί να σπάσουν συνολικά.

5) Συνολική φθορά: Όταν τμήματα από σκληρό μέταλλο ή ολόκληροι οδόντες σπάνε, συχνά αυτά τα περιστρεφόμενα κομμάτια (πολύ μεγάλα για να αφαιρεθούν με ξέπλυμα) κόβουν περισσότερους οδόντες, οδηγώντας σε πλήρη φθορά του κοπτικού.

6) Βλάβη του χαλύβδινου στελέχους: Βλάβη του χαλύβδινου στελέχους κάτω από τους οδόντες για λόγους ποιότητας του χάλυβα ή μεγάλης δύναμης.

Κατά συνέπεια είναι δυνατή η πραγματοποίηση μιας στατιστικής ανάλυσης των φθαρμένων εργαλείων, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της σύνθλιψης στο πέτρωμα. Φυσικά το εύρος της φθοράς του εργαλείου μπορεί να μετρηθεί με την καταγραφή της ποσότητας των φθαρμένων οδόντων του κοπτικού αναφορικά με το συνολικό μήκος γεώτρησης τους – τη λεγόμενη "διάρκεια ζωής" του κοπτικού άκρου.

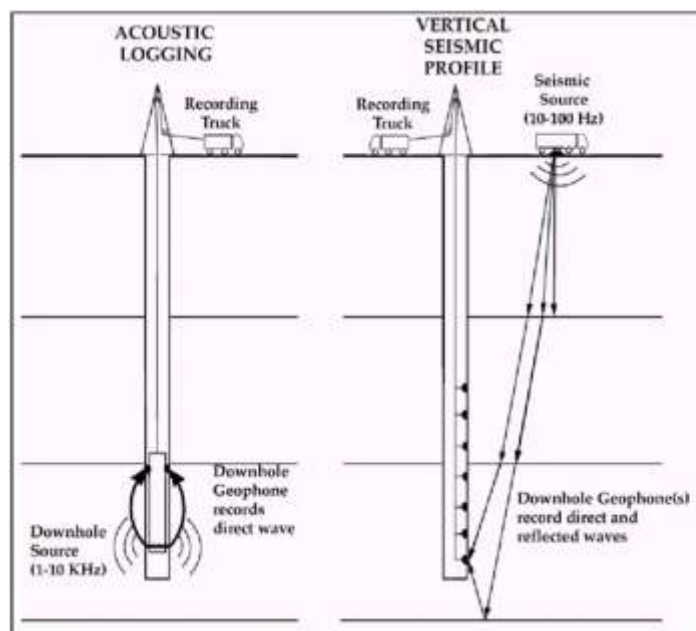
Ενότητα 3: Μέθοδοι εκτίμησης και πρόβλεψης της διατρησιμότητας

3. Γενικά

Για την εκτίμηση και την πρόβλεψη της διατρησιμότητας, πολλοί ερευνητές πρότειναν διάφορες μεθόδους που μπορούν να ταξινομηθούν κυρίως στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες.

- Η εργαστηριακή μέθοδος πειραματικής δοκιμής παρέχει μια πολύ καλή αναφορά για άλλες μεθόδους, χρησιμοποιώντας ένα μικρό τρυπάνι για την προσομοίωση της διαδικασίας θραύσης πετρωμάτων, η οποία αντικατοπτρίζει άμεσα το πόσο δύσκολα τα πετρώματα σπάνε με εργαλεία θρυμματισμού. Ωστόσο έχει περιοριστεί σε συγκεκριμένα τμήματα του φρεατίου της γεώτρησης, αφού χρησιμοποιούνται πυρήνες πετρώματος και δεν μπορεί να σχεδιάσει μια σειρά συνεχών προφίλ. Στην πραγματικότητα τα πετρώματα στην οπή της γεώτρησης είναι διαφορετικά από τους πειραματικούς πυρήνες, οι οποίοι είναι απαλλαγμένοι από υψηλή θερμοκρασία,

- υψηλή πίεση και φιλτράρισμα υγρού.
- Ένας άλλος τρόπος για να εκτιμηθεί η διατρησιμότητα είναι με γενική εξίσωση για το ρυθμό γεώτρησης. Η μέθοδος μπορεί να εξοικονομήσει εργατικό δυναμικό και υλικά, μειώνοντας τα έξοδα σε σύγκριση με τη μέθοδο εσωτερικού πειράματος, αλλά είναι αρκετά περίπλοκη για να υπολογίσει την αξία λόγω της εξάρτησης από τη μεγάλη ποσότητα καταγραφής λάσπης και δεδομένων και μπορεί έτσι να εισάγει απροσδόκητα σφάλματα στη διαδικασία προσδιορισμού του δείκτη της διατρησιμότητας.
 - Η μέθοδος υπολογισμού των δεδομένων κατόπιν ακουστικής καταγραφής (acoustic logging), έχει αναγνωριστεί ως μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος και μπορεί εύκολα να δώσει το προφίλ ολόκληρου του φρέατος της γεώτρησης, αναλύοντας την αλληλεπίδραση μεταξύ των πληροφοριών καταγραφής και της διατρησιμότητας. Το πρόβλημα έγκειται στο ότι τα δεδομένα ακουστικής καταγραφής επηρεάζονται από τις ιδιότητες των ρευστών των πόρων και την ορυκτολογική σύσταση, καθώς κάθε ορυκτό συστατικό πρέπει να σημειωθεί και να εξετασθεί για να επιτευχθεί ένα πιο ακριβές αποτέλεσμα. Εξετάζοντας παλαιότερες μελέτες, βασισμένες σε πειραματικές δοκιμές πετρωμάτων, συνδυάζοντας δεδομένα ακουστικής καταγραφής, στατιστική ανάλυση και θεωρητική έρευνα, μπορούν να περιγραφούν εμπειρικές σχέσεις που συσχετίζουν την τιμή της διατρησιμότητας με τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά και την ταχύτητα των P κυμάτων αντίστοιχα.



Εικόνα 4: Ακουστική μέθοδος καταγραφής &

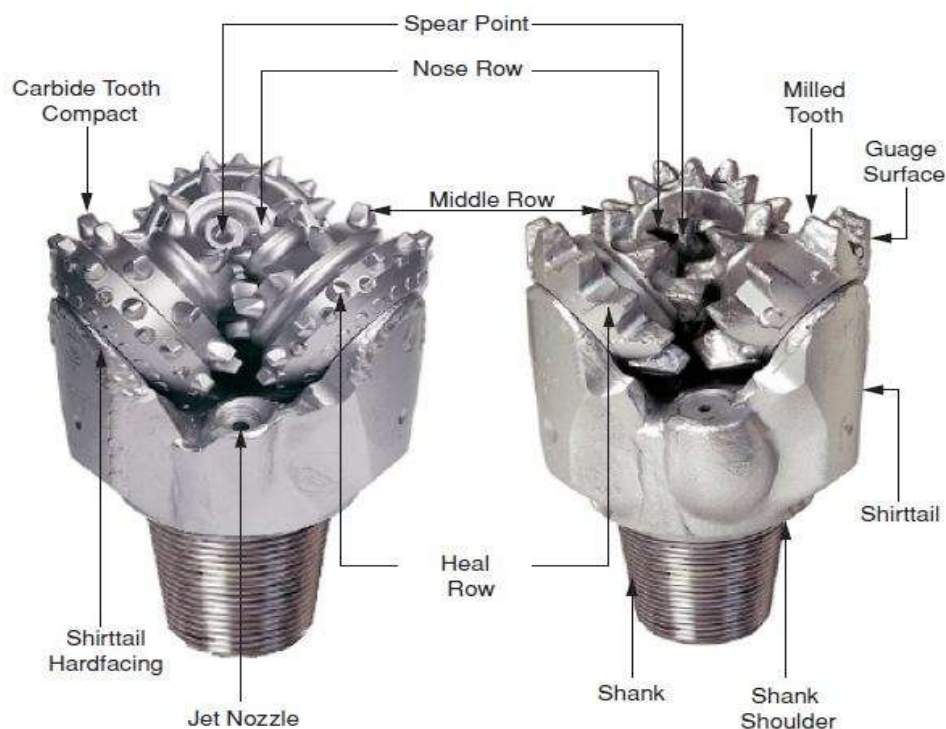
Σεισμική μέθοδος καταγραφής κυμάτων

Έτσι πραγματοποιήθηκαν εσωτερικά πειράματα για την άμεση δοκιμή των επιδόσεων των πετρωμάτων. Παρόλα αυτά, οι περιβαλλοντικές αλλαγές του σχηματισμού, όπως η αλλαγή της πίεσης των ταμιευτήρων, η ανακατανομή του πετρελαίου-αερίου-νερού, το κατέστησαν διαφορετικό από τη μετρούμενη αξία στη διαδικασία γεώτρησης και εξερεύνησης. Η διατρησιμότητα είναι πολύ δύσκολο να μετρηθεί σε ορισμένες πολύπλοκες καταστάσεις. Παραδείγματος χάριν, η μεταβολή της θερμοκρασίας, η πίεση και η περιεκτικότητα σε νερό

επηρεάζουν τη μοναξονική αντοχή σε θλίψη και το συντελεστή Young. Οι έρευνες έχουν δείξει ότι η καταγραφή των ηχητικών δεδομένων και η διατρησιμότητα αποτελούν απόλυτη αντανάκλαση των γεωμηχανικών ιδιοτήτων και έχουν μια εξαιρετική συσχέτιση μεταξύ τους. Σήμερα η πρόβλεψη της διατρησιμότητας από τα δεδομένα καταγραφής χρησιμοποιείται ευρέως στον τομέα γεωτρήσεων. Ωστόσο οι πληροφορίες καταγραφής μπορούν να επηρεαστούν από διάφορους παράγοντες μερικές φορές. Ως αποτέλεσμα, οι τιμές που προβλέπονται με αυτόν τον τρόπο αναπόφευκτα μπορεί να προκαλέσουν σφάλματα. Για αυτό το λόγο, εισάγεται η ταχύτητα εσωτερικού κύματος P ως μέση μεταβλητή για να συνδεθεί η διατρησιμότητα και η ταχύτητα P της γεώτρησης, όπως αυτή καταγράφεται, δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η χρησιμοποίηση της καταναλωμένης από το γεωτρήσιμο ενέργειας, ανά μονάδα όγκου, δηλαδή της ειδικής ενέργειας, επιτρέπει σε ένα βαθμό την προσέγγιση πρόβλεψης της διατρησιμότητας των πετρωμάτων ειδικά όταν υπάρχουν συγκριτικά δεδομένα. Γενικώς, η πρόβλεψη της διατρησιμότητας των πετρωμάτων είναι απαραίτητη, τόσο για την εκτίμηση του κόστους των γεωτρήσεων όσο και για τον ασφαλή σχεδιασμό τους.

3.1 Θεωρητική σχέση μεταξύ της διατρησιμότητας του κοπτικού με περιστρεφόμενους κώνους και της διατρησιμότητας του κοπτικού τριβής PDC

Για τη διατρησιμότητα του σχηματισμού, τόσο η διατρησιμότητα του κοπτικού με περιστρεφόμενους κώνους όσο και η διατρησιμότητα του κοπτικού τριβής PDC αντικατοπτρίζουν το πόσο δύσκολο είναι το σπάσιμο των πετρωμάτων, αλλά ποικίλλει σε διαφορετικά εργαλεία κοπής και συνεπώς οδηγεί σε διαφορετικούς τρόπους δράσης σε πετρώματα. Ωστόσο έχουν στενή σχέση.



Εικόνα 5: Στοιχεία κοπτικού με περιστρεφόμενους κώνους

Σε γενικές γραμμές, η διατρησιμότητα του σχηματισμού που διατρύεται από κοπτικό με

περιστρεφόμενους κώνους, έχει υψηλότερη τιμή από ότι η ίδια περίπτωση με το κοπτικό τριβής PDC. Με βάση την ανάλυση παλινδρόμησης, η εμπειρική σχέση μεταξύ της διατρησιμότητας του κοπτικού με περιστρεφόμενο κώνο και της διατρησιμότητας του κοπτικού τριβής PDC είναι: $K_{dp} = 0.7613 * kd^{1.1486}$ όπου το K_{dp} είναι η διατρησιμότητα του κοπτικού PDC και το kd είναι η διατρησιμότητα του κοπτικού με περιστρεφόμενο κώνο. Η έρευνα δείχνει ότι η διατρησιμότητα του κοπτικού με περιστρεφόμενο κώνο παρατηρείται να συμφωνεί αμοιβαία με τη διατρησιμότητα του κοπτικού PDC, εκτός από μερικές κενές τιμές χρόνου γεώτρησης που το PDC αποτυγχάνει να τρυπήσει σε κάποιο βάθος λόγω ολίσθησης. Δύο τύποι διατρησιμότητας μπορούν να μετατραπούν μεταξύ τους μέσω της παραπάνω εμπειρικής σχέσης. Η διάτρηση στον ίδιο σχηματισμό με διαφορετικούς τύπους κοπτικών επιτυγχάνει διαφορετικές τιμές διατρησιμότητας λόγω διαφορετικών τρόπων θραύσης των πετρωμάτων. Με άλλα λόγια ο μηχανισμός σύνθλιψης του κοπτικού με περιστρεφόμενο κώνο χαρακτηρίζεται κυρίως από τη διαμήκη δόνηση και τη λειτουργία του χτυπήματος και της σύνθλιψης προς τον σχηματισμό, ενώ το κοπτικό PDC με δράση διάτμησης, συνήθως με υψηλότερη απόδοση θραύσης σε ομοιογενή μαλακό σχηματισμό.

3.2 Σχέση μεταξύ της διατρησιμότητας και της ταχύτητας των καταγραφόμενων P κυμάτων της οπής της γεώτρησης

Η ταχύτητα του ακουστικού κύματος κατά μήκος των πετρωμάτων επηρεάζεται από τη λιθολογία, την πυκνότητα, τη δομή των πόρων, το βάθος ταφής τους, την σκληρότητα, την ελαστικότητα και την αντοχή τους σε θλίψη. Δεδομένου ότι η διατρησιμότητα είναι σαφής αντικατοπτρισμός των χαρακτηριστικών της μηχανικής, έχει μια σχέση με την ταχύτητα. Η έρευνα δείχνει ότι καθώς το φρεάτιο της γεώτρησης βαθαίνει, γενικά, λόγω της συμπίεσης, η πυκνότητα είναι μεγαλύτερη και το πορώδες μικρότερο, η ταχύτητα μεγαλύτερη και η διατρησιμότητα χειρότερη. Το προφίλ διατρησιμότητας για ολόκληρο το φρεάτιο μπορεί να σχεδιαστεί με τη βοήθεια ενός μοντέλου παλινδρόμησης, μεταξύ της διατρησιμότητας και της ταχύτητας των κυμάτων, που είναι διαθέσιμη στα δεδομένα καταγραφής. Τα πειραματικά αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η διατρησιμότητα έχει ασθενέστερη σχέση με την ταχύτητα στην καταγραφή δεδομένων απευθείας, αλλά μια ισχυρότερη σχέση με την ταχύτητα που μετράται στο εργαστήριο. Ίσως ο λόγος της έγκειται στο ότι οι πειραματικοί πυρήνες δεν έχουν υψηλή θερμοκρασία και υψηλή πίεση όπως συμβαίνει μέσα στη γεώτρηση που επηρεάζεται από το ρευστό, με αποτέλεσμα τη διαφοροποίηση, συγκρίνοντας την ταχύτητα του κύματος της επιφάνειας του πετρώματος με την ταχύτητα κύματος στα δείγματα του ίδιου σχηματισμού. Επομένως το μαθηματικό μοντέλο που προέρχεται από το εργαστήριο θα πρέπει να αναθεωρηθεί με δεδομένα ηχητικής καταγραφής. Γενικά η εμπειρική σχέση μεταξύ της διατρησιμότητας και της καταγραφόμενης ταχύτητας P κυμάτων της οπής της γεώτρησης, μπορεί να αναπτυχθεί μέσω της ταχύτητας κυματομορφής P της επιφάνειας του πετρώματος. Τέλος, ο καλός συσχετισμός που βρέθηκε μεταξύ των πειραματικών αποτελεσμάτων και εκείνων που υπολογίστηκαν με εμπειρική σχέση, επιβεβαιώνει την εξάρτηση της καταγραφόμενης ταχύτητας κυματομορφής P της οπής της γεώτρησης, από τη διατρησιμότητα.

3.3 Ειδική ενέργεια

Η ειδική ενέργεια (ή μηχανική ειδική ενέργεια) αποτέλεσε τη βασική παράμετρο για τη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης της διατρησιμότητας των πετρωμάτων, τόσο για μεταλλευτικές γεωτρήσεις, όσο και για γεωτρήσεις υδρογονανθράκων. Ως ειδική ενέργεια ορίζεται το υπολογισμένο έργο που δαπανάται για να θρυμματιστεί και να καταστραφεί συγκεκριμένος όγκος πετρώματος κατά τη διεργασία της διάτρησης, είτε στο πεδίο είτε στο εργαστήριο. Είναι μια γεωτρητική παράμετρος που χρησιμοποιείται στο πεδίο για προσαρμογή των γεωτρητικών δεδομένων, με στόχο να διατηρηθεί στο ελάχιστο κόστος. Οι πιθανές προσαρμογές της γεωτρητικής διαδικασίας αφορούν σε αλλαγές στο εφαρμοζόμενο βάρος [WOB] και συνεπώς στην εφαρμοζόμενη ροπή στο κοπτικό άκρο, σε διαφορετική ταχύτητα περιστροφής ή και σε χρήση διαφορετικού κοπτικού άκρου. Από την εξίσωση της ειδικής ενέργειας προκύπτει ότι, για συγκεκριμένο γεωτρώπανο με σταθερή περιστροφική ταχύτητα σε συγκεκριμένο πέτρωμα, η ειδική ενέργεια θα έχει πολύ υψηλές τιμές για μικρές τιμές του εφαρμοζόμενου βάρους, ενώ για τιμές κάτω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο, το κοπτικό θα εισχωρεί στο πέτρωμα και η παρεχόμενη ενέργεια θα αναλώνεται κυρίως σε τριβές παρά σε διάτρηση. Η ειδική ενέργεια θα εξαρτάται πάντα και από το μέγεθος των δημιουργούμενων θρυμμάτων. Διάφορες μελέτες έδειξαν ότι η ειδική ενέργεια είναι χαμηλή σε μαλακούς σχηματισμούς (π.χ. άνθρακα) και υψηλή σε σκληρούς σχηματισμούς, όπως οι ψαμμίτες. Ακόμη, η ειδική ενέργεια πρέπει να αυξάνεται βαθμιαία με την αύξηση του βάθους λόγω της φθοράς του κοπτικού, έτσι είναι φυσικό οι καλύτερες συνθήκες διάτρησης να επιτυγχάνονται με την ελάχιστη ειδική ενέργεια.

ⁱⁱⁱ Βιβλιογραφία τρίτου κεφαλαίου:

Ενότητα 1: Γεωργακόπουλος Α. Διατρησιμότητα των πετρωμάτων. pdf

Ενότητα 2: Kurosch Thuro & George Spaun. Drillability in hard rock drill and blast tunnelling. pdf

Ενότητα 3:

α) College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Qingdao, China. Experimental Research on Rock Drillability in the Center of Junggar Basin. pdf

β) Κελεσίδης Β.Χ. (2010). Πρόβλεψη Διατρησιμότητας Πετρωμάτων στις Γεωτρήσεις Έρευνας Ορυκτών και Υδρογονανθράκων, πόσο κοντά είμαστε; Τεχν. Χρον. Επιστ. Εκδ. ΤΕΕ, τεύχ. 1 2010 Tech. Chron. Sci. J. TCG, I, No1.Pdf

Πηγές εικόνων:

(από το site: Google-Εικόνες για τους όρους drillability of rocks, drill bits for oil and gas industry, buttons of drill bit, logging in oil drilling)

Κεφάλαιο 4

Συμπεράσματα

- i. Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας, επισημάνθηκε ο ρόλος των γεωτρήσεων στην εκτίμηση και ανάπτυξη των κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου. Αναλυτικότερα έγινε αναφορά στις διαδικασίες της ερευνητικής φάσης, με σημαντικότερη τη σεισμική έρευνα, που το τρισδιάστατο μοντέλο που δίνει, παρέχει πληθώρα πληροφοριών σχετικά με τους σχηματισμούς. Επιπρόσθετα οι πληροφορίες που ανακτώνται μέσω της απόληψης πυρήνων και των διαγραφιών, βοηθούν σε πιο λεπτομερή γεωλογική χαρτογράφηση της δομής που παρουσιάζει ενδιαφέρον. Κατόπιν η διαδικασία ανάπτυξης κατά τις παραγωγικές γεωτρήσεις είναι ουσιώδης και θα δώσει περεταίρω πληροφορίες για τον ταμιευτήρα, επιτρέποντας την όποια τροποποίηση του σχεδίου ανάπτυξης, καθώς προχωρά η γεωτρητική διαδικασία. Η παραγωγική φάση, είναι μεγάλης σημασίας για το συνολικό κόστος του έργου και σαφώς στηρίζεται στο βέλτιστο σχεδιασμό της γεώτρησης. Ο σχεδιασμός αυτός πρέπει να προβλέπει την αλληλεπίδραση μεταξύ της γεωλογίας και της τεχνολογίας, μέσα από τις αντίστοιχες γεωλογικές και μηχανικές παραμέτρους των πετρωμάτων, ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι του γεωτρητικού έργου, χωρίς πιθανά προβλήματα.
- ii. Στο δεύτερο κεφάλαιο έγινε μια παρουσίαση της ταξινόμησης και των βασικών χαρακτηριστικών των πετρωμάτων, με στόχο να κατανοηθούν οι ιδιότητες που επηρεάζουν τη γεωτρητική διαδικασία, αναλόγως με το αντίστοιχο είδος πετρώματος. Ιδιαίτερα σημαντικές ιδιότητες είναι το πορώδες και η διαπερατότητα των σχηματισμών. Συγκεκριμένα, οποιοδήποτε πέτρωμα έχει τις δύο αυτές ιδιότητες, μπορεί να αποθηκεύσει πετρέλαιο και φυσικό αέριο, λειτουργώντας ως πέτρωμα-ταμιευτήρας. Περεταίρω ανάλυση ως προς αυτές τις ιδιότητες (πορώδες, διαπερατότητα) έγινε για τα ιζηματογενή πετρώματα, αφού αυτά αποτελούν τους πιθανούς ταμιευτήρες για το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.
- iii. Στο τρίτο κεφάλαιο εξετάστηκε ο όρος "διατρησιμότητα" των πετρωμάτων, καθώς η ιδιότητα αυτή δεν είναι μόνο καθοριστική για την φθορά των εργαλείων και του εξοπλισμού, αλλά είναι κύριος παράγοντας για την πρόοδο του γεωτρητικού έργου. Επίσης η διατρησιμότητα καθορίζεται από διάφορες γεωλογικές και μηχανικές παραμέτρους, όπως αυτές αναφέρθηκαν στις παραπάνω ενότητες, με αξιοσημείωτη μια νέα ιδιότητα για την περιγραφή της σχέσης μεταξύ της σκληρότητας και της διατρησιμότητας του πετρώματος, το 'ειδικό έργο καταστροφής' W_z . Με τη διερεύνηση των γεωλογικών και μηχανικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων, είναι δυνατή η πρόβλεψη των ρυθμών διάτρησης και της φθοράς των κοπτικών άκρων των γεωτρυπάνων των εξεταζόμενων πετρωμάτων σε ικανοποιητικό βαθμό. Ακόμη, παρουσιάστηκαν οι μέθοδοι εκτίμησης και πρόβλεψης της διατρησιμότητας, εκ των οποίων ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η μέθοδος με καταγραφή της ταχύτητας των P κυμάτων των σχηματισμών στην οπή της γεώτρησης, που εξάγει σημαντικές πληροφορίες για τη διατρησιμότητα. Η χρήση της γεωτρητικής παραμέτρου της

ειδικής ενέργειας, παρέχει τη δυνατότητα για την καλύτερη δυνατή προσέγγιση στην ανάλυση των διατρητικών δεδομένων. Τέλος εξάγουμε το συμπέρασμα ότι, υπάρχει δυνατότητα αξιοποίησης των δεδομένων από γεωτρήσεις, για την ανάλυση μοντέλων πρόβλεψης της διατρησιμότητας των πετρωμάτων σε ορύξεις γεωτρήσεων πετρελαίου και φυσικού αερίου.