

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

**Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΕΠΙΣΤΗΜΟΝΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΟΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ
ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ**



Εικόνα 1.¹⁸

από τον Αλέξανδρο Αντωνόπουλο (ΑΕΜ:4865)

Εποπτεύων καθηγητής: Ανδρέας Γεωργακόπουλος

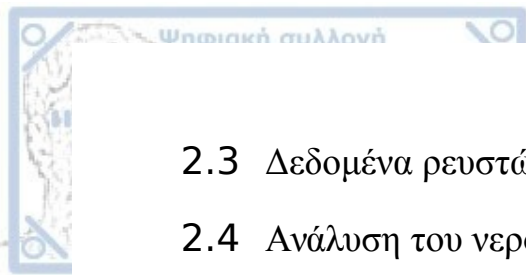
Θεσσαλονίκη

...02/2017



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΙΜΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΕΡΜΗΝΕΙΑΣ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ	11
1.1 Δορυφορικές εικόνες	13
1.2 Γεωλογική χαρτογράφηση	13
1.3 Χάρτες ισοϋψών	14
1.4 Ισοπαχείς χάρτες	14
1.5 Λιθολογικοί χάρτες	15
1.6 Γεωλογική τομή	16
1.7 Δεδομένα επιφανειακών εμφανίσεων	16
1.8 Γεωφυσικά δεδομένα	19
1.8.1 Βαρυτικά δεδομένα	20
1.8.2 Μαγνητικά δεδομένα	22
1.8.3 Σεισμικά δεδομένα	24
1.9 Ενσύρματες γεωφυσικές καταγραφές δεδομένων (Wireline Logging)	31
1.10 Δεδομένα πορώδους και διαπερατότητας	32
1.11 Ερμηνεία της ηλεκτρικής αντίστασης	36
1.12 Δεδομένα πίεσης του ταμιευτήρα	37
2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΕΠΙΣΤΗΜΟΝΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	39
2.1 Ο ρόλος των γεωεπιστημόνων στις διαγραφίες πολφού	39
2.2 Πυρηνοληψία και αναλύσεις των δειγμάτων	41



2.3	Δεδομένα ρευστών δειγμάτων	49
2.4	Ανάλυση του νερού στοιχείου	53
2.5	Ο ρόλος των γεωεπιστημόνων	54
3	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ	
	ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ	58
3.1	Υδραυλική διάρρηξη	58
3.2	Διάρρηξη με χρήση εκρηκτικών	59
3.3	Άλλοι μέθοδοι διάρρηξης	59
3.4	Προσομοίωση ταμιευτήρα	60
4	Η ΛΕΚΑΝΗ ΕΚΒΟΛΗΣ ΤΟΥ PEARL RIVER	61
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	66
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	68

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ιστορία του πετρελαίου ξεκινάει από τα αρχαία χρόνια. Η πρώτη ωφέλιμη χρήση του από τον άνθρωπο έγινε σε περίοδο πολέμου οπότε και χρησιμοποιήθηκε ως μέσο απώθησης των εχθρών, εξαιτίας της εύφλεκτης ιδιότητάς του. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε για την στεγανοποίηση των πλοίων και αργότερα στο χώρο της ιατρικής, ως φαρμακευτική αγωγή. Παράλληλα, η εξέλιξη της επιστήμης οδήγησε στην ανακάλυψη της κηροζίνης, με αποτέλεσμα η ζήτηση για πετρέλαιο να αυξηθεί όπως και η κατανάλωση του. Η θέρμανση, ο φωτισμός και η ευκολία στην μαγειρική αποτέλεσαν το έναυσμα για μεγαλύτερη παραγωγή πετρελαίου. Η διαπίστωση της ενεργειακής του απόδοσης είχε ως επακόλουθο την χρήση του ως πηγή κίνησης στα αυτοκίνητα. Ακολούθως, η ανέγερση βιομηχανιών και η κήρυξη των παγκόσμιων πολέμων οδήγησε στην εύρεση και εξάντληση των μεγαλύτερων μέχρι τώρα ταμιευτήρων κοιτασμάτων πετρελαίου.¹ Είναι γεγονός ότι το φαινόμενο του υπερπληθυσμού της γης σε συνδιασμό με την απαίτηση των ανθρώπων για καλύτερη ποιότητα ζωής, είχε ως αποτέλεσμα την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων. Επομένως ο ρόλος του γεωλόγου πετρελαίου στη σημερινή εποχή είναι αρκετά σημαντικός, καθώς η αρμοδιότητα του αποτελεί η αναζήτηση συνεχώς νέων κοιτασμάτων.²

Από την άλλη πλευρά, η διαχείριση του φυσικού αερίου ξεκίνησε στα τέλη του 20ου αιώνα όπου και καθιερώθηκε ως παγκόσμια ενεργειακή πρώτη ύλη. Το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης του προέρχεται από την καύση του για θέρμανση αλλά και από την οικιακή χρήση. Ο κύριος παράγοντας που ευνοεί την προτίμηση του σε αντίθεση με άλλες πηγές ενέργειας σχετίζεται με το γεγονός ότι δεν απαιτείται ιδιαίτερος χώρος αποθήκευσης παρά μόνο μια σύνδεση με το δίκτυο διανομής. Επίσης, η εφαρμογή του στη βιομηχανία και στην ηλεκτροπαραγωγή αυξάνεται συνεχώς με οφέλη όχι μόνο στο οικονομικό τμήμα αλλά και στο περιβάλλον. Πράγματι, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι δύο φορές μικρότερες από

την αντίστοιχη καύση άνθρακα και σε συνδυασμό με την μετατροπή του σε υγρή μορφή μειώνεται ο όγκος του. Συνεπώς, η προοπτική αύξησης της παραγωγής φυσικού αερίου κρίνεται ως αναπόφευκτη στο προσεχές μέλλον.¹

Η βελτίωση της υπάρχουσας μεθοδολογίας, η ανεύρεση νέων μεθόδων έρευνας, νέας τεχνολογίας για εξόρυξη, κρίνεται όλο και περισσότερο επιτακτική, ώστε να γίνει δυνατή η- με οικονομικό ή γενικότερα κοινωνικό όφελος- απόληψη από τη γη των εμφανίσεων υδρογονανθράκων που σήμερα θεωρούνται ασύμφορες για εκμετάλλευση.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται τον ειδικό ρόλο των γεωεπιστημόνων κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της αναπτυξιακής και παραγωγικής διαδικασίας ελέγχου ενός κοιτάσματος υδρογονανθράκων (πετρελαίου-φυσικού αερίου).

Γενικά, στην παγκόσμια βιομηχανία πετρελαίου έχει γίνει αποδεκτή η εφαρμογή ορισμένων διεργασιών που αποσκοπούν στην επεξεργασία και την ανάλυση των δεδομένων του περιβάλλοντα χώρου έρευνας. Πράγματι, σε μια υποτιθέμενη περιοχή με σοβαρές ενδείξεις ύπαρξης ενός κοιτάσματος υδρογονανθράκων πραγματοποιείται μια σειρά τεχνικών διεργασιών για περαιτέρω μελέτη και εξακρίβωση του. Συνεπώς, η έρευνα, η αξιολόγηση, η ανάπτυξη, η παραγωγή και τέλος η ανάπτυξη των αποθεμάτων και το πεδίο απενεργοποίησης ή εγκατάλειψης του κοιτάσματος συμπληρώνουν τα πεδία αυτά της ολοκληρωμένης εξόρυξης υδρογονανθράκων. Επομένως, σε κάθε στάδιο ξεχωριστά λαμβάνει μέρος η συγκομιδή δεδομένων, τα οποία προέρχονται από τεχνολογικές αλλά και εργαστηριακές μεθόδους και στη συνέχεια ακολουθεί η εύστοχη ερμηνεία τους από τους προαναφερθέντες επιστήμονες. Ο σκοπός της κάθε μεθόδου ξεχωριστά εστιάζει στην πλήρη κατανόηση της δομής του ταμιευτήρα, τη γνωστοποίηση της ποιότητας και της ποσότητας του κοιτάσματος ώστε να κριθεί το συμφέρον της συγκεκριμένης επένδυσης για γεώτρηση και άντληση.¹

Αρχικά, ο σχηματισμός των υδρογονανθράκων στηρίζεται σε πολλούς παράγοντες και συνήθως εντοπίζεται σε περιοχές, όπου στο γεωλογικό παρελθόν αποτέλεσαν ιζηματογενείς

λεκάνες με μεγάλη συσσώρευση οργανικής ύλης. Η εύρεση της οργανικής ύλης πραγματοποιείται μέσα από μεθόδους της γεωχημείας και ο εντοπισμός τους στο μητρικό πέτρωμα (*source rock*) αποτελεί κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα για την παρουσία κοιτάσματος. Συνοπτικά, η οργανική ύλη για να θεωρηθεί ικανή για σχηματισμό υδρογονανθράκων πρέπει κατά τη διάρκεια της διαγένεσης να έχει υποστεί θερμική ωρίμανση, με σκοπό τη δημιουργία του κατάλληλου τύπου κοιτάσματος (*δηλαδή η οργανική ύλη μετατρέπεται σε πετρέλαιο σε θερμοκρασία 60°C - 120°C ενώ σε θερμοκρασία 120°C - 200°C μετατρέπεται σε φυσικό αέριο*). Στη συνέχεια, αξιολογείται η μεταναστευτική διαδικασία των υδρογονανθράκων ώστε να διευκρινιστεί η ποσότητα μεταφοράς τους στον ταμιευτήρα. Έπειτα, εντός του ταμιευτήρα αναλύεται η ικανότητα συγκράτησης και εσωτερικής μεταφοράς του κοιτάσματος, με ιδιαίτερη επισήμανση στα στοιχεία του πορώδους και της διαπερατότητας. Όσον αφορά το πέτρωμα κάλυμμα (*cap rock*), η αποτελεσματικότητα του επικεντρώνεται κυρίως στις διαστάσεις του και στην τιμή της διαπερατότητας του.³

Είναι γεγονός ότι οι μεγαλύτερες σε έκταση κοιτασματολογικού ενδιαφέροντος λεκάνες πετρελαίου έχουν ανακαλυφθεί και έχουν τύχει πλήρους εκμετάλλευσης. Το πρόβλημα αυτό σε συνδυασμό με τη συνεχόμενη άνοδο ζήτησης υγρών καυσίμων δυσχεραίνει ακόμα περισσότερο την κατάσταση. Η λύση εντοπίζεται στο πρόσωπο των γεωεπιστημόνων και στην ανάγκη εμβάθυνσης στη λειτουργία σχηματισμού και μετανάστευσης πετρελαίου, ώστε να κατανοηθούν οι διαδικασίες γένεσης και μεταφοράς του, καταλήγοντας στην εύρεση νέων κοιτασμάτων.¹

Πιο συγκεκριμένα, στην διαδικασία αξιολόγησης πραγματοποιείται μια πρώτη εκτίμηση του κοιτάσματος εισάγοντας πληροφορίες για το σχήμα και την εσωτερική του δομή. Επιπρόσθετα, εκτιμάται η χωρική κατανομή της ποιότητας του με βάση το πορώδες και τη διαπερατότητα και βεβαιώνεται η ύπαρξη ιζηματογενών στρωμάτων στον ταμιευτήρα. Τα

στοιχεία αυτά στη συνέχεια μαζί με τα δεδομένα της αγοραστικής αξίας θα συμβάλλουν στην εξακρίβωση του αν το κοίτασμα είναι οικονομικά βιώσιμο για την εταιρεία, ώστε να ξεκινήσει η παραγωγή του. Η πηγή των δεδομένων στη διαδικασία της αξιολόγησης προέρχεται κατά κύριο λόγο από τους σεισμικούς καταγραφείς και τις ερευνητικές γεωτρήσεις. Συνήθως, η χρήση σεισμικών μεθόδων προτιμάται στο στάδιο της αξιολόγησης αλλά και της έρευνας, δεδομένου ότι το κόστος της γεώτρησης είναι ψηλότερο.¹

Αδιαμφισβήτητα, η δειγματοληπτική διάτρηση του εδάφους παρέχει ένα πλήθος δεδομένων σχετικά με την πετρογραφία και τα περιεχόμενα στην γεώτρηση ρευστά διαλύματα της. Αυτή η εργασία στοχεύει επίσης, στην αναγνώριση της σύστασης και της φυσικοχημικής κατάστασης των υδρογονανθράκων (*πίεση, θερμοκρασία, όγκος*).¹

Στη συνέχεια, οι γεωεπιστήμονες επεξεργάζονται τα αποκτηθέντα στοιχεία με σκοπό τη δημιουργία ενός πρότυπου μοντέλου ταμιευτήρα. Τέλος, γνωστοποιούνται τα στοιχεία του ταμιευτήρα στους μηχανικούς, ώστε να επιλεγθούν τα κατάλληλα υλικά, με σκοπό την αποτροπή κάποιας αστοχίας στη γεώτρηση. Για παράδειγμα, η διάβρωση και η καθίζηση των σωληνώσεων θεωρούνται ως οι πιο μοιραίες αστοχίες για την γεώτρηση αλλά και η πιθανή εκπομπή φυσικών χημικών αερίων είναι ικανή να στοιχίσει τη ζωή των εργαζόμενων σε μια εξέδρα πετρελαίου. Συνεπώς, η γνώση της δομής της γεώτρησης και των περιεχομένων σε αυτήν ρευστών και αερίων σε συνδυασμό με την εξειδίκευση και την εμπειρία του κάθε γεωεπιστήμονα λειτουργεί καταλυτικά για την ασφαλή λειτουργία της παραγωγής υδρογονανθράκων.¹

Στο επόμενο στάδιο έχοντας συλλέξει τα απαραίτητα δεδομένα, λαμβάνονται αποφάσεις για τον προγραμματισμό της ανάπτυξης του παραγωγικού τομέα. Έτσι, καθορίζεται ο αριθμός των γεωτρήσεων, το βάθος των διάτρητων σωληνώσεων καθώς και ο τύπος πλατφόρμας που θα χρησιμοποιηθεί για τις εγκαταστάσεις, είτε τοποθετηθεί στην ξηρά είτε σε παράκτιο περιβάλλον.¹

Αξιοσημείωτο ρόλο στο στάδιο ανάπτυξης διαδραματίζει το μοντέλο του ταμιευτήρα, το οποίο προσομοιώνει την παραγωγή πετρελαίου με βάση διάφορα προγράμματα υπολογιστών. Το περιεχόμενο του αποτελείται από χιλιάδες κελιά τα οποία περιέχουν πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα. Συνήθως, το πορώδες, η ανισοτροπία της διαπερατότητας, η πίεση και τα υπάρχοντα ρήγματα εμπεριέχονται στη βάση δεδομένων. Τα μοντέλα ταμιευτήρα αναπαράγονται αρκετές φορές με μοναδικό στόχο την εύρεση της μέγιστης απόληψης πετρελαίου ανάλογα πάντα με την τοποθέτηση της γεώτρησης. Συνοψίζοντας, το κάθε μοντέλο περιέχει δεδομένα για τη δομή και τη γεωλογία του ταμιευτήρα και της παγίδας πετρελαίου αντίστοιχα, καθώς επίσης και δεδομένα για τις πετροφυσικές τους ιδιότητες.¹

Κατά την παραγωγική διαδικασία τα δεδομένα που συλλέγονται παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την πίεση του ταμιευτήρα και την ταχύτητα παραγωγής τόσο του πετρελαίου όσο και του νερού. Συγκεκριμένα, οι νέες αυτές πληροφορίες δίνουν τη δυνατότητα στους γεωεπιστήμονες να αντιληφθούν σε μέγιστο βαθμό την εσωτερική δομή του ταμιευτήρα, το ρυθμό και την ποσότητα του κοιτάσματος. Επιπρόσθετα, μια άλλη εξίσου σημαντική δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα μετά την κύρια παραγωγή είναι η δευτερογενής ανάκτηση του. Σύμφωνα μ' αυτήν οι γεωεπιστήμονες με σκοπό τη διατήρηση της πίεσης του ταμιευτήρα σε φυσικά επίπεδα εντοπίζουν συγκεκριμένες θέσεις όπου θα πραγματοποιηθεί η εισχώρηση νερού ή μεθανίου με σκοπό το πετρέλαιο να ανέρχεται φυσικά μέσω των γεωτρήσεων.¹

Στη διαδικασία παραγωγής είναι γενικά αποδεκτό ότι κατά το τέλος της εξόφλησης του κοιτάσματος το κόστος του εξοπλισμού αυξάνεται δραματικά με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας του πετρελαίου. Στον ίδιο χρόνο εξετάζονται κοντινές περιοχές πετρελαϊκού ενδιαφέροντος, εφόσον τα έξοδα για τις εγκαταστάσεις έχουν ήδη δαπανηθεί και μια επιπλέον εξόρυξη μπορεί να μειώσει τα παραπάνω έξοδα.¹

Αδιαμφισβήτητα, τα έσοδα της εταιρίας δεν πρέπει να είναι λιγότερα από τα έξοδα ώστε η εταιρεία στο τέλος να μην εμφανίσει ζημία. Για τον λόγο αυτό η ανάγκη κλεισίματος της παραγωγής κρίνεται επιτακτική όταν ο ρυθμός άντλησης είναι αρκετά χαμηλός. Συγκεκριμένα, το κόστος για την βελτίωση του εξοπλισμού είναι τεράστιο σε μια τέτοια περίπτωση χαμηλού ρυθμού με αποτέλεσμα την εγκατάλειψη των εγκαταστάσεων. Αυτή όμως δεν θεωρείται οριστική αφού με την πάροδο του χρόνου είναι πολύ πιθανό να ανευρεθεί η κατάλληλη και οικονομικά βιώσιμη τεχνολογία ώστε να εξορυχθεί όλο το εναπομείναν πετρέλαιο.¹

Ένα σημαντικό εργαλείο των γεωλόγων στην πετρελαϊκή βιομηχανία και όχι μόνο αποτελεί η χρήση χαρτών. Πράγματι, η κατασκευή χαρτών πραγματοποιείται αδιάκοπα από τους επιστήμονες του τομέα με μοναδικό σκοπό την αποτύπωση της δομής του ταμιευτήρα και της παγίδας πετρελαίου. Οι χάρτες όπως είναι δεδομένο ποικίλουν σε περιεχόμενο παρέχοντας στοιχεία για τις ιδιότητες του κοιτάσματος, π.χ χάρτες πορώδους, παχομετρικοί χάρτες κ.α. Σε πολλές περιπτώσεις οι χάρτες δημιουργούνται τόσο από την επιφανειακή χαρτογράφηση αλλά και από δεδομένα που προκύπτουν από τη χρήση σεισμικών μεθόδων ή από την στρωματογραφική μελέτη της περιοχής μέσω της περιγραφής των πετρωμάτων της γεώτρησης. Ακόμη, η εύρεση απολιθωμάτων, η ανάλυση της γεωχημείας και μια σειρά από πετρογραφικές ιδιότητες καθορίζουν με πρόσθετα δεδομένα το περιεχόμενο του χάρτη δίνοντας τις αναγκαίες πληροφορίες στον αναγνώστη.¹

Συμπερασματικά, όλα τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από τα προηγούμενα στάδια αποσκοπούν στην εμπεριστατωμένη πρόβλεψη των γεωεπιστημόνων για την τοποθεσία της γεώτρησης παραγωγής. Ειδικότερα, η γνώση της στρωματογραφικής δομής του υπεδάφους και η πλήρης αντίληψη των ιδιοτήτων του κοιτάσματος καθορίζουν αυτήν την επιλογή. Συνεπώς, γίνεται μια πρόβλεψη για το μέγεθος των αποθεμάτων ώστε να υπολογιστούν τα έξοδα και να μετριαστεί το ρίσκο της εταιρείας.¹

Με βάση τις προηγούμενες θέσεις εύρεσης πετρελαίου, οι γεωλόγοι χαρτογράφοι γρήγορα αντιλήφθηκαν την κυρίαρχη δομή παγίδευσης του. Έτσι, το κύριο μέλημα τους έγινε ο εντοπισμός μιας κυρτής αντικλινικής δομής, η οποία χαρακτηρίζεται από χαμηλό δείκτη πυκνότητας και η οποία θα ήταν δυνατό να συγκρατήσει το πετρέλαιο. Πέρα όμως από την ύπαρξη αντικλινικής δομής, σημαντική προϋπόθεση για την ύπαρξη του κοιτάσματος συνιστά και ο πορώδης σχηματισμός, ο οποίος θα έχει την ικανότητα της αποθήκευσης.¹

Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι οι περισσότερες θέσεις στον ηπειρωτικό χώρο έχουν εξορυχθεί. Παρόλη όμως την μείωση αποθεμάτων δεν υφίσταται ιδιαίτερη ανησυχία καθώς εκτιμάται ότι η προσθήκη των καινοτόμων τεχνολογιών στο μέλλον θα ανατρέψουν το φαινόμενο. Σαφέστατα, την αντίληψη αυτή έρχεται να ενισχύσει και η αναμενόμενη αναβάθμιση της γνώσης της γεωεπιστήμης στην αναζήτηση νέων λεπτομερών σχηματισμών παγίδευσης και μικρών σε έκταση ταμιευτήρων, με μεγάλη όμως αποδοτικότητα. Επομένως, η αποκατάσταση των ταμιευτήρων ενδέχεται να βελτιστοποιηθεί με παράλληλη εκμετάλλευση χαμηλής απόδοσης υδρογονανθράκων που για την ώρα είναι μη εκμεταλλεύσιμα.¹

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΙΜΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΕΡΜΗΝΕΙΑΣ

ΥΠΕΛΑΦΟΥΣ

Αρχικά, στη διαδικασία της ανάπτυξης ο πρωταρχικός στόχος αποτελεί ο εντοπισμός των υδρογονανθράκων. Επιπρόσθετα, ο τύπος του κοιτάσματος και η ποσότητα του λαμβάνονται υπόψη με σκοπό να πραγματοποιηθεί στη συνέχεια η εφαρμογή των πιο αποδοτικών και λιγότερο δαπανηρών μεθόδων απόληψης. Ένα ακόμα στοιχείο που υπολογίζεται σε αυτό το στάδιο είναι ο συντελεστής αποληψιμότητας του κοιτάσματος. Σύμφωνα με αυτόν εκτιμάται το ποσοστό των υδρογονανθράκων που θα ανακτηθούν. Έτσι, γίνεται αντιληπτό στην εταιρεία ύστερα από τον υπολογισμό των ανακτήσιμων υδρογονανθράκων το πιθανό κέρδος της, μετριάζοντας το ρίσκο μιας αποτυχημένης ανακάλυψης. Παράλληλα, ο υπολογισμός του παραπάνου συντελεστή εκτιμάται σύμφωνα με τις ιδιότητες ροής του ταμιευτήρα και επικεντρώνεται στη διαπερατότητα και στα δεδομένα του πορώδους του. Ακόμη, πρέπει να προστεθεί ότι μετά από τη διαδικασία απόληψης των υδρογονανθράκων το ποσοστό του ενός τρίτου παραμένει εγκλωβισμένο στους πόρους των σχηματισμών, οπότε η πλήρη ανάκτηση του κοιτάσματος θεωρείται αδύνατη. Συνεπώς, στη διαδικασία ανάπτυξης τα δεδομένα των ιδιοτήτων ροής του ταμιευτήρα σε συνδιασμό με τα στοιχεία πίεσης της ρευστής φάσης και το ποσοστό κορεσμού του ταμιευτήρα συμπληρώνουν το στάδιο της ανάπτυξης υδρογονανθράκων. Τα δεδομένα αυτά αποκτώνται μέσω μιας σειράς εργαλείων που εισέρχονται εντός της γεώτρησης και της ακόλουθης ερμηνείας τους από τους γεωεπιστήμονες, με σκόπο την κατανόηση των χαρακτηριστικών του κοιτάσματος.¹⁶

Από την άλλη πλευρά, το στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας στηρίζεται στην παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου με τον πιο οικονομικό τρόπο, ώστε η εταιρεία να επιφέρει κέρδος στο τέλος της διαδικασίας. Πράγματι, οι γεωεπιστήμονες εργάζονται

αποκλειστικά με σκοπό να βελτιστοποιήσουν την ανάκτηση των υδρογονανθράκων με το μικρότερο δυνατό κόστος. Επίσης, σημαντικός ρόλος των γεωεπιστημόνων στη φάση της παραγωγής αποτελεί η αντιμετώπιση της μείωσης της παραγωγής που εκδηλώνεται κάθε φορά από φυσικά αίτια, εξαιτίας της ελάττωσης της πίεσης του ταμιευτήρα. Γενικά, το φαινόμενο της μείωσης της παραγωγής αντιμετωπίζεται άμεσα με διάφορες τεχνικές, όπως για παράδειγμα, με την εισχώρηση χημικών υλικών ή φυσικού αερίου αυξάνοντας την πίεση του ταμιευτήρα, με αποτέλεσμα να αναβληθεί το πετρέλαιο. Αναμφίβολα, οι μηχανικοί πετρελαίου με σκοπό την αύξηση της διαπερατότητας του ταμιευτήρα χρησιμοποιούν εκρηκτικά μέσα αλλά και όξινα ρευστά διαλύματα διαλύοντας τα δομή των πόρων.¹⁶

Στη συνέχεια, στο στάδιο της παραγωγής εκτεταμένη είναι η χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών με σκοπό να δημιουργηθεί από τους γεωεπιστήμονες ένα μοντέλο προσομοίωσης της παραγωγής. Έτσι, πληροφορίες για την χρονική επίδοση του ταμιευτήρα, τη μεταβολή της πίεσης, της θερμοκρασίας και της δομής του ταμιευτήρα γίνονται γνωστά κάθε στιγμή, αποκτώντας μια πλήρη εικόνα του κοιτάσματος.¹⁶

Η αναζήτηση υδρογονανθράκων αποτελεί αδιαμφισβήτητα μια τέχνη αλλά και παράλληλα μια επιστήμη. Συγκεκριμένα, ο ρόλος των γεωεπιστημόνων είναι να συνδυάζει την επιστημονική ανάλυση με τη φαντασία, σύμφωνα με τις μεθόδους και τις νέες τεχνικές που εφαρμόζονται στο πεδίο έρευνας. Ο συνδυασμός αυτός είναι ικανός να δώσει λύση στον εντοπισμό ενός κοιτάσματος υδρογονανθράκων. Αξίζει να αναφερθεί ότι η εργασία του γεωλόγου πετρελαίου στηρίζεται κατά ένα μεγάλο ποσοστό στην χρήση ειδικών εργαλείων απόκτησης δεδομένων. Πράγματι, η απαραίτητη γνώση για την κατανόηση της δομής και των χαρακτηριστικών του κοιτάσματος προέρχεται αποκλειστικά από αυτά τα μέσα. Χαρακτηριστικά, τα δεδομένα πετρολογικής ανάλυσης του υπεδάφους, των ρευστών του καθώς και η κατανομή του πορώδους του ταμιευτήρα γίνονται γνωστά μέσα από μια σειρά στατιστικών και μεθόδων, οικείων προς τους γεωλόγους.¹

1.1 Δορυφορικές εικόνες

Μια πρώτη προσέγγιση του πεδίου έρευνας γίνεται με τη χρήση δορυφορικών εικόνων αλλά και με τη χαρτογράφηση του υπεδάφους και με τις γεωφυσικές έρευνες. Οι πρώτες χαρακτηρίζονται για το χαμηλό τους κόστος και για την ευκολία στην ερμηνεία τους. Επίσης, έχουν την ιδιότητα να παρέχουν πληροφορίες για μεγάλες εκτάσεις γης και να εστιάζουν στην επιφανειακή δομή της περιοχής και των πετρωμάτων που την αποτελούν. Συγκεκριμένα, οι δορυφόροι παρέχουν φωτογραφίες δύο ειδών, τις φασματικές και εκείνες που απεικονίζουν τη γεωμορφολογία, χαρακτηριστικό γνώρισμα των αεροφωτογραφιών. Με βάση τις φασματικές, η λήψη εικόνων γίνεται σε ένα ευρύ φάσμα μήκους κύματος από 0,2 mm μέχρι 50 cm με μερικές αναπόφευκτες απώλειες λόγω της ατμοσφαιρικής απορρόφησης. Συνεπώς, η ακτινοβολία κάθε λήψης είναι δεδομένο ότι επηρεάζεται από τις υπάρχουσες συνθήκες του τρέχοντος περιβάλλοντος. Παρόλα αυτά, η χρήση των δορυφορικών εικόνων αποτελεί ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο στην αναζήτηση πετρελαίου, καθώς ο εντοπισμός των ταμιευτήρων γίνεται σχετικά εύκολος.¹

1.2 Γεωλογική χαρτογράφηση

Η χαρτογράφηση του εδάφους ορίζεται ως ένα σημαντικό εργαλείο των γεωεπιστημόνων στην αναζήτηση υδρογονανθράκων, καθώς τα στοιχεία τη δομής παγίδευσης τους και η αναγνώριση του ταμιευτήρα προέρχονται αποκλειστικά από αυτήν. Επίσης, η κατανόηση της γεωλογίας του κοιτάσματος προσφέρει πολύτιμα δεδομένα στον χαρτογράφο γεωλόγο, που στη συνέχεια του ανατίθεται να το εξετάσει λεπτομερώς για το ενδεχόμενο της πιθανής ανάπτυξης και παραγωγής του. Στην περίπτωση ύπαρξης δεδομένων από γεωτρήσεις,

μπορεί να απεικονιστεί η τρισδιάστατη μορφή της χαρτογράφησης του υπεδάφους, δίνοντας περισσότερες πληροφορίες για την εσωτερική δομή του κοιτάσματος. Τέλος, η κατασκευή ενός χάρτη του υπεδάφους στηρίζεται σε μια σειρά δεδομένων που λαμβάνονται από διάφορες γεωφυσικές έρευνες και χάρτες (δομικοί χάρτες, χάρτες ισοπαχών, λιθολογικοί χάρτες).⁴

1.3 Χάρτες ισοϋψών

Ακόμη, ένα απαραίτητο εργαλείο το γεωλόγων στην αναζήτηση υδρογονανθράκων αποτελεί η κατασκευή χάρτη ισοϋψών. Αυτός ο τύπος χάρτη περιλαμβάνει γραμμές που ενώνουν σημεία ίδιων χαρακτηριστικών, όπως για παράδειγμα γεωλογικοί σχηματισμοί με ίδιο πάχος ή βάθος συνδέονται με τις ισοϋψείς γραμμές δημιουργώντας μια στενή σύνδεση μεταξύ τους. Με αυτόν τον τρόπο η τελική μορφή τους, παρέχει πληροφορίες για τη γεωλογική δομή, το πάχος, τα στοιχεία του ρήγματος, αν υπάρχει, αλλά και για τα όρια των σχηματισμών. Τα παραπάνω στοιχεία λαμβάνονται σοβαρά υπόψιν με σκοπό την συνέχιση των ερευνών με την κατάλληλη μέριμνα. Μια ιδιαίτερη μορφή χάρτη ισοϋψών αποτελεί ο δομικός χάρτης, λόγω της ιδιαιτερότητας του να απεικονίζει τα βάθη των κάθε πετρωμάτων.⁴

1.4 Ισοπαχείς χάρτες

Οι συγκεκριμένοι χάρτες παρέχουν πληροφορίες κυρίως για το πάχος των στρωμάτων, είτε αυτών που βρίσκονται στην επιφάνεια είτε αυτών που είναι τοποθετημένων υπογείως. Η μορφή τους χαρακτηρίζεται από την παρουσία έγχρωμου στοιχείου, με σκοπό να αποδώσει τις διακυμάνσεις του πάχους όσο πιο παραστατικά μπορεί να κριθεί. Επιπλέον, οι ισοπαχείς χάρτες αποτελούν μια χρήσιμη πηγή πληροφοριών σχετικά με τον εντοπισμό των

στρωματογραφικών παγίδων και το σχεδιασμό ανάκτησης του παρόντος κοιτάσματος υδρογονανθράκων. Ακόμη, τα δεδομένα των ισοπαχών χαρτών μελετώνται από τους γεωεπιστήμονες με σκοπό την αρχική εκτίμηση των απολήψιμων αποθεμάτων με βάση το πάχος των στρωμάτων του ταμιευτήρα. Αναμφίβολα, γίνεται αντιληπτό ότι η παρουσία οποιουδήποτε χάρτη στο αρχείο των γεωλόγων προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για την έρευνα και για την πρώτη εκτίμηση της περιοχής μελέτης.⁴

1.5 Λιθολογικοί χάρτες

Όσον αφορά τους λιθολογικούς χάρτες, αυτοί διαδραματίζουν ένα σπουδαίο ρόλο καθώς δεδομένα για τη δομή, τη στρωματογραφία, το πορώδες, τη λιθολογία και το πάχος γίνονται γνωστά από τους γεωλόγους μέσω της κατασκευής τους. Αρχικά, το περιεχόμενο του χάρτη δημιουργείται από τη γραφική παρουσίαση της λιθολογικής μεταβολής κατά την οριζόντια επέκταση του κάθε σχηματισμού. Η γνώση του λιθολογικού χαρακτήρα κάθε σχηματισμού οδηγεί στον προσδιορισμό του μητρικού πετρώματος και του ταμιευτήρα του. Συνήθως σε μεγάλες περιοχές έρευνας, είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν συσχετισμοί μεταξύ των γειτονικών περιοχών, προβάλλοντας επίσης γεωλογικές τομές που απεικονίζουν τα παραπάνω δεδομένα. Τέλος, στην περίπτωση δειγματοληπτικών γεωτρήσεων ο συσχετισμός και ο προσδιορισμός του βάθους κάθε σχηματισμού γίνονται μεγαλύτερη ακρίβεια. Έτσι, κατά την αναζήτηση κοιτάσματος υδρογονανθράκων η μεταβατική αλλαγή στα στρώματα του υπεδάφους, είτε αφορά το πάχος είτε τη σύσταση δηλώνει την πιθανή συσσώρευση του κοιτάσματος.⁴

1.6 Γεωλογική τομή

Οι γεωλογικοί χάρτες, τα δεδομένα πυρηνοληψίας, οι ενσύρματες καταγραφές αλλά και τα στρωματογραφικά και δομικά δεδομένα παρέχουν στο γεωλόγο χαρτογράφο τις κύριες πληροφορίες για την κατασκευή μιας γεωλογικής τομής που θα αποδώσει με ακρίβεια την κατακόρυφη αναπαράσταση του ταμιευτήρα. Αναμφίβολα, η κατασκευή της γεωλογικής τομής παρουσιάζει μια πλήρη εικόνα της κάτοψης της περιοχής έρευνας περιλαμβάνοντας μια σειρά από δεδομένα σχετικά με τη θέση και το πάχος των σχηματισμών. Συγκεκριμένα, η γεωλογική τομή απεικονίζει γραφικά την κάθετη κατανομή των γεωλογικών σχηματισμών περιλαμβάνοντας, εκτός από το πάχος και το βάθος του κάθε πετρώματος, τα λιθολογικά του χαρακτηριστικά και τις τεκτονικές δομές του.⁴

1.7 Δεδομένα επιφανειακών εμφανίσεων

Μία από τις κύριες εργασίες των γεωλόγων αποτελεί η κατασκευή χαρτών με σκοπό να κατανοηθεί η ευρύτερη περιοχή έρευνας από πλευράς στρωματογραφίας και τεκτονικής. Το μεγαλύτερο ποσοστό των γεωλογικών σχηματισμών στην επιφάνεια της γης βρίσκονται καλυμμένα από βλάστηση ή χώμα με αποτέλεσμα να δυσχεραίνει το έργο του χαρτογράφου. Από την άλλη πλευρά η έκθεση των πετρωμάτων στην επιφάνεια της γης δημιουργεί τις κατάλληλες προϋποθέσεις χαρτογράφησης παρέχοντας δεδομένα στους γεωλόγους για την κατανόηση της δομής της περιοχής. Όσον αφορά τον εντοπισμό ενός κοιτάσματος πετρελαίου η κατασκευή γεωλογικού χάρτη ορίζεται ως σημαντική και αρχική εργασία με σκοπό την αναγνώριση της ιδιαίτερης στρωματογραφικής δομής που φιλοξενεί το κοιτάσμα. Πράγματι, η διαδικασία αυτή αποτελεί το πρώτο βήμα στην ανακάλυψη ύπαρξης πετρελαίου και

μάλιστα πρώτου δαπανηθούν επιπλέον χρήματα για τις ακόλουθες διαδικασίες που συνίστονται στην πετρελαϊκή έρευνα.¹

Η κατασκευή ενός χάρτη για κάθε γεωλόγο στηρίζεται στην προσωπική του κρίση, κατά συνέπεια οι χάρτες μιας συγκεκριμένης περιοχής διαφέρουν ανάλογα με την εμπειρία του κάθε επιστήμονα. Ιδιαίτερα, η διαφορά αυτή εμφανίζεται σε περιοχές όπου ο βαθμός έκθεσης των πετρωμάτων στην επιφάνεια της γης είναι μικρός. Έτσι, ο συσχετισμός των σχηματισμών με τις γειτονικές περιοχές να οδηγεί σε πιθανά σφάλματα. Κατά την χαρτογράφηση του πεδίου έρευνας είναι απαραίτητη η σημείωση ορισμένων στοιχείων που αφορούν τα πετρώματα. Συγκεκριμένα, καταγράφεται η θέση, το υψόμετρο, η λιθολογία του κάθε πετρώματος αλλά και χαρακτηριστικά της δομής του, της ορυκτολογίας του και των περιεχόμενων βιοδεικτών του. Τέλος, στους περισσότερους χάρτες απεικονίζεται και η στρωματογραφική στήλη της περιοχής βοηθώντας τους αναγνώστες του να κατανοήσουν τη στρωματογραφία της περιοχής.¹

Η χρησιμότητα του γεωλογικού χάρτη στην αναζήτηση πετρελαίου μπορεί να αποδοθεί λεπτομερώς σύμφωνα με το χαρακτηριστικό παράδειγμα του χάρτη της περιοχής Staffordshire, της βόρειας Αγγλίας. Συγκεκριμένα, όπως έχει προαναφερθεί η δημιουργία ενός κοιτάσματος πετρελαίου προϋποθέτει κάποια βασικά στοιχεία στη δομή και στη λιθολογία, ώστε να σχηματιστεί και να διατηρηθεί με επιτυχία στο γεωλογικό χρόνο. Αρχικά, στον γεωλογικό αυτό χάρτη είναι εμφανής η αντικλινική δομή παγίδευσης του πετρελαίου που χαρακτηρίζει τη γεωμετρία των κοιτασμάτων υδρογονάνθρακα. Έπειτα, παρατηρείται μια λιθολογική ενότητα σχιστόλιθων που λειτουργεί ως το πέτρωμα κάλυμα με την ιδιότητα να συγκρατεί το παρόν κοιτάσμα εντός του ταμιευτήρα (μικρή διαπερατότητα) εμποδίζοντας τη διαφυγή του. Όσον αφορά τα πετρώματα του ταμιευτήρα με κύριο χαρακτηριστικό τους το μεγάλο πορώδες και τη διαπερατότητα, ψαμμίτες αλλά και εμφανίσεις ασβεστόλιθου και δολομίτη εντοπίζονται στον χάρτη λειτουργώντας ως πετρώματα του ταμιευτήρα. Το μητρικό

πέτρωμα στην περιοχή αυτή έπειτα από ενδείξεις αποτελείται από θαλάσσιας προέλευσης πηλίτες και βιτουμενούχες μάργες που χαρακτηρίζονται αρκετά πετρελαιοφόρες. Συνεπώς, ο γεωλογικός χάρτης σύμφωνα με τα δεδομένα που παρέχει για την διάταξη, την τεκτονική και τους λιθολογικούς χαρακτήρες των πετρωμάτων ενθαρρύνει τη συνέχιση των ερευνών με σκοπό την διαπίστωση ύπαρξης εκμεταλλεύσιμου κοιτάσματος.¹

Στη σύγχρονη εποχή, οι χαρτογράφηση δεν αρκεί τόσο ώστε να δοθεί η άδεια για την εφαρμογή περαιτέρω πολυδάπανων μεθόδων έρευνας της περιοχής. Η προσοχή πλέον στηρίζεται στην εξέταση του πετρώματος του ταμιευτήρα όταν αυτό βρίσκεται σε ευθεία παρατήρηση από τους γεωλόγους. Η εξέταση στηρίζεται στην αναγνώριση ορισμένων παραμέτρων που αφορούν την διαπερατότητα και το πορώδες αλλά και δεδομένα της δομής και της διανυσανδρεσιμότητας του ταμιευτήρα και της ετερογένειας του επίσης.¹

Τα δείγματα από τις επιφανειακές εμφανίσεις των πετρωμάτων υπόκεινται τις ίδιες αναλύσεις και τεχνικές που πραγματοποιούνται στα δείγματα των πυρήνων της γεώτρησης αλλά και της υγρής φάσης δειγμάτων πετρελαίου. Οι γεωεπιστήμονες που ειδικεύονται στις αναλύσεις των επιφανειακών δειγμάτων είναι αναγκαίο να συμπεριλάβουν τους εξωτερικούς παράγοντες (ατμόσφαιρα, υδρόσφαιρα, βιόσφαιρα) που είναι υπεύθυνοι για την πιθανή διάβρωση τους. Επομένως, η διάβρωση στο μητρικό πέτρωμα προκαλεί την οξείδωση των οργανικών, ενώ στους ψαμμίτες και τους άνθρακες προξενεί τη διάλυση των ορυκτών συστατικών του καθώς και αντιδράσεις καθίζησης. Έτσι, γίνεται αντιληπτό το γεγονός ότι τα αποτελέσματα των μετρήσεων θα αποκλύουν από τα πραγματικά στοιχεία όπως ακριβώς συμβαίνει στα δείγματα του πυρήνα εξαιτίας της μόλυνσης από τα γεωτρητικά ρευστά. Εκτός από τις τεχνικές που εφαρμόζονται υπάρχει μία μέθοδος αποκλειστικά μόνο για δείγματα ιζημάτων. Η λειτουργία της στηρίζεται στον υπολογισμό του δυναμικού πετρελαίου από δείγμα του μητρικού πετρώματος. Η μέτρηση διεξάγεται σε εργαστήριο όπου το δείγμα θερμαίνεται με σκοπό να μετρηθεί η απόδοση του πετρελαίου. Ειδικότερα, οι παράγοντες που

υπολογίζονται είναι ο S_1 και ο S_2 , όπου ο πρώτος δηλώνει το μέτρο του ελεύθερου πετρελαίου, ενώ ο δεύτερος τα παραγόμενα προϊόντα διάσπασης των υδρογονανθράκων.

Επίσης, ο υπολογισμός του S_1/S_2 μετριέται σε χιλιόγραμμα πετρελαίου ανά τόνο μητρικού πετρώματος. Τα αποτελέσματα της μέτρησης με βάση την τιμή της απόδοσης δηλώνει αν το πέτρωμα που εξετάστηκε είναι το μητρικό πέτρωμα ή όχι. Συγκεκριμένα, τιμές κάτω των 5 kg t^{-1} δεν αποτελούν μητρικές πηγές πετρελαίου, ενώ τιμές περίπου $15\text{-}20 \text{ kg t}^{-1}$ αντιπροσωπεύουν χαρακτηριστικά μητρικά πετρώματα υψηλής απόδοσης.¹

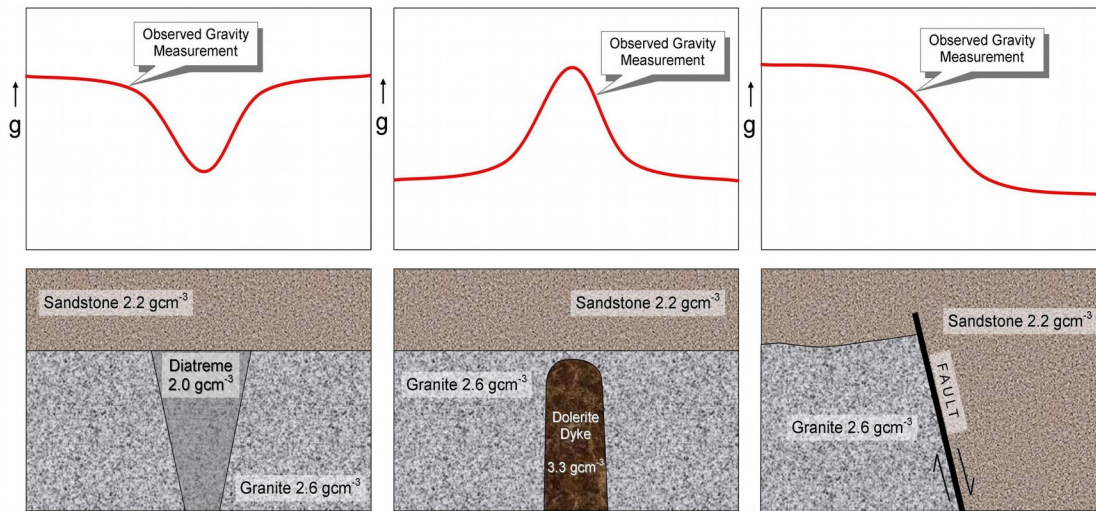
1.8 Γεωφυσικά δεδομένα

Η επιστήμη της γεωφυσικής, εκμεταλλευόμενη τις φυσικές ιδιότητες που παρουσιάζει η γη, είναι σε θέση να βοηθήσει ενεργά το έργο του γεωλόγου στην αναζήτηση ενός κοιτάσματος. Έτσι, εφαρμόζοντας γεωφυσικές τεχνικές, λαμβάνονται δεδομένα σχετικά με τις ιδιότητες των υπεδάφινων σχηματισμών που δεν είναι ορατές από την επιφάνεια. Συγκεκριμένα, η στρωματογραφία της περιοχής, η δομή, η ακριβής θέση των σχηματισμών και το βάθος συνάντησης τους, αποτελούν τα σημαντικότερα στοιχεία που λαμβάνονται από τη χρήση των γεωφυσικών ερευνών και κατά συνέπεια συμπληρώνουν τη μελέτη των γεωεπιστημόνων. Συγκεκριμένα, στην αναζήτηση υδρογονανθράκων, η χρήση γεωφυσικών τεχνικών αποσκοπεί στον εντοπισμό του ταμιευτήρα και στην κατανόηση της αρχιτεκτονικής του με βάση τις ιδιαίτερες ιδιότητες που παρουσιάζει, οι οποίες του δίνουν την δυνατότητα να συγκρατεί τους υδρογονάνθρακες μέσα στα όρια του.⁴

1.8.1 Βαρυτικά δεδομένα

Άλλο ένα χρήσιμο εργαλείο στην έρευνα υδρογονανθράκων αποτελούν τα βαρομετρικά δεδομένα. Αν και φθηνά στη χρήση, έχουν ένα μειονέκτημα λόγω της χαμηλής ποιότητας ανάλυσης τους, με αποτέλεσμα οι παρερμηνείες αυτών να είναι συχνό φαινόμενο. Αξίζει όμως να αναφερθεί η πρακτικότητα τους στον εντοπισμό οποιουδήποτε τύπου τεκτονικής δομής, η γρήγορη καταγραφή δεδομένων και η δυνατότητα αξιοποίησης τους σε θέσεις δύσβατων περιοχών με ελάχιστη προετοιμασία υλικοτεχνικής υποστήριξης. Ακόμη, σε πολλές περιπτώσεις χρησιμεύει ως εργαλείο μιας πρώτης αντίληψης για την περιοχή, ώστε να ακολουθήσει στη συνέχεια η εφαρμογή της σεισμικής έρευνας.¹ Γενικά, ο θεμελιώδης στόχος της βαρυτικής μεθόδου είναι να παρέχει στους γεωεπιστήμονες χρήσιμες πληροφορίες για τη γεωλογία του υπεδάφους. Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται ακόμη ως παθητική, καθώς δεν απαιτείται καμία εξωτερική ενέργεια για την εφαρμογή της. Η απόκτηση των δεδομένων βαρύτητας θεωρείται σχετικά απλή διαδικασία, καθώς η συνεργασία τουλάχιστον δύο ατόμων είναι αρκετή. Ακόμη, οι μετρήσεις λαμβάνονται πάντα εγκάρσια του στόχου έρευνας, εφόσον πληροφορίες για το γεωγραφικό πλάτος, μήκος και για το υψόμετρο των βαρυτικών σταθμών ληφθούν υπόψιν. Επιπρόσθετα, η εφαρμογή της μεθόδου στηρίζεται στη μέτρηση της βαρυτικής έλξης που ασκείται από τη γη σε ένα σταθμό μέτρησης στην επιφάνεια. Γενικά, η ένταση του πεδίου βαρύτητας είναι ανάλογη προς τη μάζα και συνακόλουθα προς την πυκνότητα του υπεδάφους.⁵ Πράγματι, η βαρυτική μέθοδος στηρίζεται στο νόμο της παγκόσμιας έλξης, όπου η βαρυτική τους ανομοιογένεια αποδίδεται στη διαφορετική κατανομή της πυκνότητας των γεωλογικών σχηματισμών. Συνεπώς, το βαρυτόμετρο, ως εργαλείο, καταγράφει τις ανωμαλίες του βαρυτικού πεδίου της γης, όπου η ποικιλία των μετρήσεων οφείλεται στη διαφορετική πυκνότητα του κάθε πετρώματος. Τα πυριγενή και

μεταμορφωμένα, ως πυκνά πετρώματα, παρουσιάζουν υψηλές τιμές βαρυτικής δύναμης, σε αντίθεση με ιζηματογενή πετρώματα.⁴



Εικόνα 2. Ενδείξεις βαρυτικών δεδομένων σε διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς.¹⁹

Πολλές φορές στη λήψη του σήματος διαπιστώνονται ανακρίβειες ως προς τον χαρακτηρισμό του πετρώματος, με αποτέλεσμα να χρήζεται αναγκαία η συγκομιδή επιπλέον γεωφυσικών δεδομένων, όπως για παράδειγμα τα σεισμικά και μαγνητικά δεδομένα, προκειμένου να υπάρξει μια εμπεριστατωμένη γνώμη. Το κύριο πρόβλημα των γεωφυσικών ερευνών αποτυπώνεται στις αδιευκρίνιστες ερμηνείες των δεδομένων που αφορούν τη γεωλογία του υπεδάφους. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των γεωφυσικών μετρήσεων που αντιστοιχούν σε περισσότερους από ένα γεωλογικούς σχηματισμούς. Έτσι, η ερμηνεία των γεωφυσικών θεωρείται από τις δυσκολότερες εργασίες στο πεδίο της έρευνας τους.⁵ Η απόκτηση των βαρυτικών δεδομένων μπορεί εύκολα να πραγματοποιηθεί πάνω σε στερεή και υγρή επιφάνεια αλλά εξίσου αποδοτική είναι και σε αέριο περιβάλλον. Η διαφορά τους όμως στηρίζεται στην ακρίβεια και στην ποιότητα της μέτρησης όσο και στην ταχύτητα λήψης. Πράγματι, τα δεδομένα λήψης από πεδίο ξηράς είναι αξιόπιστα και με μεγάλη ανάλυση αλλά η διαδικασία θεωρείται χρονοβόρα. Αντίθετα, τα βαρυτικά στοιχεία από αέρος καταγράφονται ταχύτατα και καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις γης. Στο σημείο αυτό αξίζει να τονιστεί η ανάγκη

εξομάλυνσης των δεδομένων λόγω αναπόφευκτων θορύβων στα ληφθέντα σήματα. Για παράδειγμα, η τοπογραφία, η θερμοκρασία, τα παλιρροιακά φαινόμενα, το υψόμετρο και το γεωγραφικό πλάτος αποτελούν τους παράγοντες που καθορίζουν τις τιμές των βαρυτικών ανωμαλιών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την πλήρη διόρθωση των δεδομένων από πλευράς των ειδικών επιστημόνων, λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω στοιχεία. Τέλος, τα δεδομένα από την έρευνα βαρύτητας χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ισοϋψών χαρτών, όπου η αναγνώριση αντικλινικών δομών και δομών άλατος διευκολύνεται σημαντικά με την ανάγνωση τους.¹

1.8.2 Μαγνητικά δεδομένα

Ο ρόλος των μαγνητικών μεθόδων είναι καθοριστικός για τον εντοπισμό του ταμιευτήρα πετρελαίου και των επιμέρους χαρακτηριστικών που το συνιστούν. Για παράδειγμα, μέσω των μαγνητικών μεθόδων, η μορφή του ταμιευτήρα, η τεκτονική του υπόσταση και ειδικά το είδος της δομής του ορίζονται με ακρίβεια, σε αντίθεση με τη χρήση της μεθόδου των σεισμικών ερευνών.¹ Πράγματι, η μέθοδος των μαγνητικών ερευνών χαρακτηρίζεται, εκτός από την ακρίβεια των στοιχείων των δεδομένων και από τη γρήγορη απόκτηση τους, χωρίς το κόστος τους να είναι δαπανηρό για την εταιρεία.⁴ Η απόκτηση των δεδομένων αυτών πραγματοποιείται μέσω κάποιου μαγνητόμετρου που βρίσκεται συνήθως τοποθετημένο σε ένα αεροπλανοφόρο μέσο. Συνεπώς, η εναέρια λήψη των δεδομένων δείχνει την δυνατότητα πρόσβασης που έχει η μέθοδος αυτή σε μη προσβάσιμες περιοχές, οι οποίες ήταν αδύνατο να μελετηθούν με τις προηγούμενες έρευνες (σεισμικές έρευνες). Η μαγνητική έρευνα στηρίζεται στις υπάρχουσες τοπικές μαγνητικές ανωμαλίες που εντοπίζονται σε μικρό βάθος από το φλοιό της γης, εξαιτίας των διακυμάνσεων της έντασης του μαγνητικού πεδίου της γης. Επομένως, οι μαγνητικές ανωμαλίες χαρακτηρίζονται από συνεχή και σταθερή

διάδοση, με αποτέλεσμα να θεωρούνται χρήσιμο σημείο αναφοράς στους ερευνητές γεωφυσικούς, όσον αφορά το εσωτερικό περιβάλλον της γης. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων με βάση την ένταση του μαγνητικού πεδίου υποδεικνύουν τη μαγνητική ικανότητα του κάθε γεωλογικού σχηματισμού. Αυτό σημαίνει ότι και τα στοιχεία για το πάχος των ιζηματογενών πετρωμάτων γίνονται γνωστά. Έτσι, έμμεσα γίνονται αντιληπτές στο γεωεπιστήμονα οι διαστάσεις των πετρωμάτων του ταμιευτήρα, τα οποία φιλοξενούν τους υδρογονάνθρακες. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η κατανομή των στοιχείων αντίστοιχα σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη δυναμική τους. Στην πρώτη, για παράδειγμα, εμπεριέχονται τα διαμαγνητικά υλικά με μηδενική μαγνητική έλξη (*αλίτης, ανυδρίτης*). Στη δεύτερη τα παραμαγνητικά, τα οποία εμφανίζουν μαγνητισμό (*ενώσεις αλουμινίου*) και στην τρίτη ανήκουν τα σιδηρομαγνητικά υλικά με ισχυρή μαγνητική αλληλεπίδραση (*μαγνητίτης, ιλμενίτης*).¹ Η τελευταία κατηγορία αποτελείται από πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα που φέρουν σιδηρούχα ορυκτά στο πλέγμα τους. Αυτά γενικά θεωρούνται πετρώματα βάσης, δηλαδή υπόκεινται των ιζηματογενών και σχηματίζουν τεκτονικές δομές, λειτουργώντας έτσι ως παγίδες, με σκοπό την αποτροπή διαφυγής των υδρογονανθράκων. Άρα, γίνεται αντιληπτό στους επιστήμονες, με βάση τις διακυμάνσεις της μαγνητικής έντασης, η παρουσία οποιασδήποτε πτυχής που θα μπορούσε να λειτουργεί ως παγίδα. Έπειτα από την ολοκλήρωση της συλλογής των πληροφοριών ακολουθεί η διαδικασία τροποποίησης τους, εξαιτίας της χωρικής μεταβολής της μαγνητικής έντασης. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτή η συνθετότητα των σεισμικών ερευνών, σε σχέση με την απλούστερη βαρομετρική. Τέλος, με σκοπό την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας της σεισμικής έρευνας, μπορούμε να θεωρήσουμε το μαγνητικό πεδίο της γης σαν ένα γιγάντιο μαγνήτη, τον διαπερνούν οι χαρακτηριστικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου. Οι συγκεκριμένες, όταν συναντηθούν με σίδηρο προκαλούν μια ανωμαλία στη διάταξη τους, διαταράσσοντας την ομαλή καμπυλότητα τους. Επίσης, σε πυριγενές πέτρωμα η ανωμαλία της έντασης του μαγνητικού πεδίου

εξαρτάται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από το βάθος του σχηματισμού. Πράγματι, έχει διαπιστωθεί ότι η ύπαρξη ενός πυριγενούς στα 300 μέτρα από την επιφάνεια προκαλεί έντονες ανωμαλίες στο μαγνητικό πεδίο, ενώ στα 3000 μέτρα η ανωμαλία είναι ηπιότερη. Το γεγονός αυτό αποκαλύπτει τον ειδικό ρόλο των γεωεπιστημόνων που αποκρυπτογραφούν τις διακυμάνσεις της μαγνητικής έντασης με σκοπό την ταυτοποίηση των υποκείμενων πετρωμάτων. Για παράδειγμα, η χαμηλή ένταση του μαγνητικού πεδίου αποτελεί ένα στοιχείο για την ύπαρξη ενός ιζηματογενούς πετρώματος μη μαγματικής προέλευσης, το οποίο αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα του πετρώματος του ταμιευτήρα. Τέλος, η διαδικασία της μαγνητικής έρευνας ολοκληρώνεται με την κατασκευή ενός τοπογραφικού χάρτη υπεδάφους, όπου κατασκευάζεται σύμφωνα με τις ισοϋψείς καμπύλες ίσης μαγνητικής έντασης, ενώ στοιχεία για τη στρωματογραφία και τη δομή του ταμιευτήρα γίνονται γνωστά.⁴

1.8.3 Σεισμικά δεδομένα

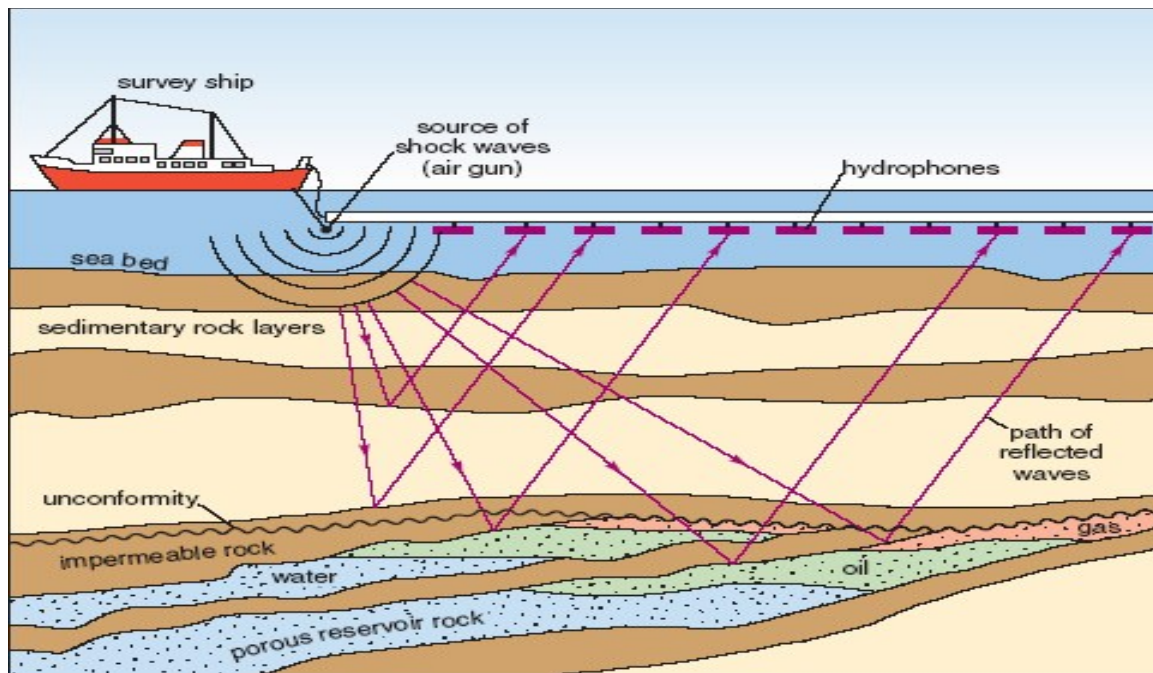
Η εφαρμογή σεισμικών εργαλείων είναι βαρύνουσας σημασίας κατά την διαδικασία ανάπτυξης και παραγωγής πετρελαίου, καθώς ο εντοπισμός δομών πετρελαίου αναγνωρίζεται με μεγάλη ευκολία. Επίσης, η σεισμική έρευνα παρέχει μια λεπτομερή εικόνα της γεωλογίας του υπεδάφους προσφέροντας πολύτιμα δεδομένα για το παρόν κοίτασμα.¹ Αρχικά, η σεισμική έρευνα στηρίζεται στη διάδοση φυσικών ή τεχνητών ελαστικών σεισμικών κυμάτων, τα οποία αποστέλλονται στο εσωτερικό της γης. Στη συνέχεια, τα κύματα αυτά μέσω της ανάκλασης τους από τους υποκείμενους σχηματισμούς ανέρχονται στην επιφάνεια και καταγράφονται από ηλεκτρονικούς ανιχνευτές (*γεώφωνα*). Γενικά, το φαινόμενο της ανάκλασης παρατηρείται όταν το σεισμικό κύμα εντοπίσει μια ανωμαλία στην ιζηματογένεση των σχηματισμών, δηλαδή όταν καταγράφεται η αλλαγή των σχηματισμών.⁴ Κατά τη λειτουργία τους οι πηγές παράγουν και αποστέλλουν σεισμικά κυματόμορφα σήματα σε

μικρό βάθος και σε μεγάλη εδαφική έκταση, καταγράφοντας με αυτό τον τρόπο ένα ευρύ πλήθος δεδομένων. Συνεπώς, η χρήση σεισμικών εργαλείων παρέχει μια πλήρη εικόνα στον γεωλόγο πετρελαίου όσον αφορά το πεδίο έρευνας μειώνοντας το ρίσκο για την ύπαρξη κοιτάσματος υδρογονανθράκων. Κατά την έναρξη διάδοσης σεισμικών κυμάτων λαμβάνονται χαρακτηριστικά δεδομένα που περιγράφουν την πυκνότητα και τη στρωματογραφική δομή του υπεδάφους. Χαρακτηριστικό αποτελεί επίσης το εύρος διάδοσης των κυμάτων, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ δεκάδων με χιλιάδων χιλιομέτρων. Αδιαμφισβήτητα, η εμπειρία των γεωλόγων και των γεωφυσικών είναι αναγκαία στη σεισμική μέθοδο λόγω της τοπικής της εμβέλειας και της καθετότητας της, οι οποίες με τη σειρά τους καθορίζουν τον αριθμό των μετρήσεων στο χώρο. Αφού οι γεωεπιστήμονες λάβουν γνώση των αποτελεσμάτων της μεθόδου, εντοπίζουν τις καταλληλότερες θέσεις για την τοποθέτηση των γεωτρήσεων. Έπειτα, επιπρόσθετες έρευνες λαμβάνουν μέρος στα επιλεγμένα σημεία, ώστε να εξασφαλιστεί η ασφάλεια της γεώτρησης από μια πιθανή διαρροή αερίου. Ειδικά εργαλεία τύπου *sonar*, μία δειγματοληψία εδάφους και μία μεγάλης ακρίβειας σεισμική έρευνα αποκαλύπτουν τυχόν απρόβλεπτα στοιχεία, με σκοπό να πραγματοποιηθεί να αποφευχθούν τυχόν αρνητικές συνέπειες και να σχεδιάσουν τις επόμενες κινήσεις τους. Την ανακάλυψη της δεξαμενής πετρελαίου ακολουθεί άλλη μία διάδοση σεισμικών κυμάτων, παρέχοντας αποτελέσματα για την εκτίμηση των αποθεμάτων και των θέσεων της ερευνητικής και παραγωγικής γεώτρησης. Προχωρώντας στο στάδιο παραγωγής, τα νεοαποκτηθέντα στοιχεία της έρευνας αφορούν τις κινήσεις μεταξύ πετρελαίου, νερού και φυσικού αερίου αλλά και την μεταβολή της πίεσης μέσα στον ταμιευτήρα. Αδιαμφισβήτητα, το χαμηλό κόστος της σεισμικής έρευνας, την καθιστά αρκετά ελκυστική σε θαλάσσιο περιβάλλον σε αντίθεση με τις πολυδάπανες γεωτρήσεις. Γενικά στην πετρελαϊκή έρευνα, η χρήση συμβατικών κυμάτων διάδοσης είναι εκτεταμένη, καθώς η ιδιαιτερότητα τους να μη διαδίδονται σε υγρό μέσο διευκολύνει την αναγνώριση υδρογονανθράκων. Συγκεκριμένα, η λειτουργία της σεισμικής

μεθόδου βασίζεται στην τροποποίηση των ηχητικών κυμάτων, όταν αυτά συναντούν διαφορετική λιθολογία. Ειδικότερα, η διαφορετική πυκνότητα του κάθε μέσου έχει ως αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων και να καταγράφονται στον δέκτη οι διάφορες τιμές της. Η εφαρμογή της μεθόδου στηρίζεται σε δύο κύρια όργανα, έναν πομπό που παράγει και διαδίδει τα σεισμικά κύματα και προφανώς στην ύπαρξη του δέκτη, που αποτελείται από ηλεκτρονικούς ανιχνευτές και καταγράφουν τα ανακλώμενα κύματα. Τέλος, η αποτελεσματικότητα της στηρίζεται στη δεξιοτεχνία των γεωεπιστημόνων να κατανοήσουν τη διάταξη και τη λιθολογία των στρωμάτων μικρού βάθους, διαμέσου της ανωμαλίας που παρατηρείται στην ταχύτητα διάδοσης.¹

Σε χερσαίες περιοχές έρευνας η πηγή ενέργειας του πομπού ποικίλει και επαφίεται στην κρίση του αρμόδιου γεωεπιστήμονα για την κατάλληλη επιλογή. Έτσι, οι περισσότερες διαδεδομένες πηγές παραγωγής ακουστικών κυμάτων προέρχονται από εκρήξεις, δηλαδή με τη χρήση εκρηκτικών τύπου δυναμίτη, είτε με την παραγωγή δονήσεων, χρησιμοποιώντας ένα ειδικά διαμορφωμένο όχημα εξοπλισμένο με ατσάλινη πλάκα μετάδοσης δονήσεων καθορισμένης συχνότητας (*Vibroiseis*). Η παραγωγή δονήσεων προτιμάται έναντι της χρήσης εκρηκτικών σε αστικές και αγροτικές περιοχές, ενώ σε μη προσβάσιμες περιοχές η χρήση δυναμίτη αποτελεί μονόδρομο. Ακόμη, χαρακτηριστικές πηγές ενέργειας συνιστούν τα μηχανήματα κρούσεων (*Thumper*) και η χρήση ενός μείγματος προπανίου με σκοπό την επίτευξη ελεγχόμενων εκρήξεων.¹ Από την άλλη πλευρά, σε θαλάσσιο ή λιμναίο περιβάλλον γίνεται χρήση ενός όπλου εισπίεσης αέρα. Συνήθως, τα όπλα πεπιεσμένου αέρα αποτελούνται από θαλάμους πεπιεσμένου αέρα, τα οποία τοποθετούνται σε πλοία, εφόσον η οποιαδήποτε πρόσβαση είναι αδύνατη. Στη συνέχεια, η απελευθέρωση του αέρα συνοδεύεται από ένα δυνατό κρότο, με αποτέλεσμα τα ακουστικά κύματα που παράγονται να μεταδίδονται διαμέσου του νερού στον πυθμένα του βυθού, διαπερνώντας τα κατώτερα ιζήματα-πετρώματα. Ακολούθως, η μετάδοση των κυμάτων αντίδρασης επιστέφει στα πλοία, όπου

βρίσκονται τοποθετημένοι οι ηλεκτρονικοί ανιχνευτές (υδρόφωνα) και καταγράφονται τα δεδομένα σε σχέση με τη χρονική διαφορά μετάδοσης και επιστροφής του σήματος.⁴



Εκόνα 3. Υποθαλάσσια σεισμική έρευνα.²⁰

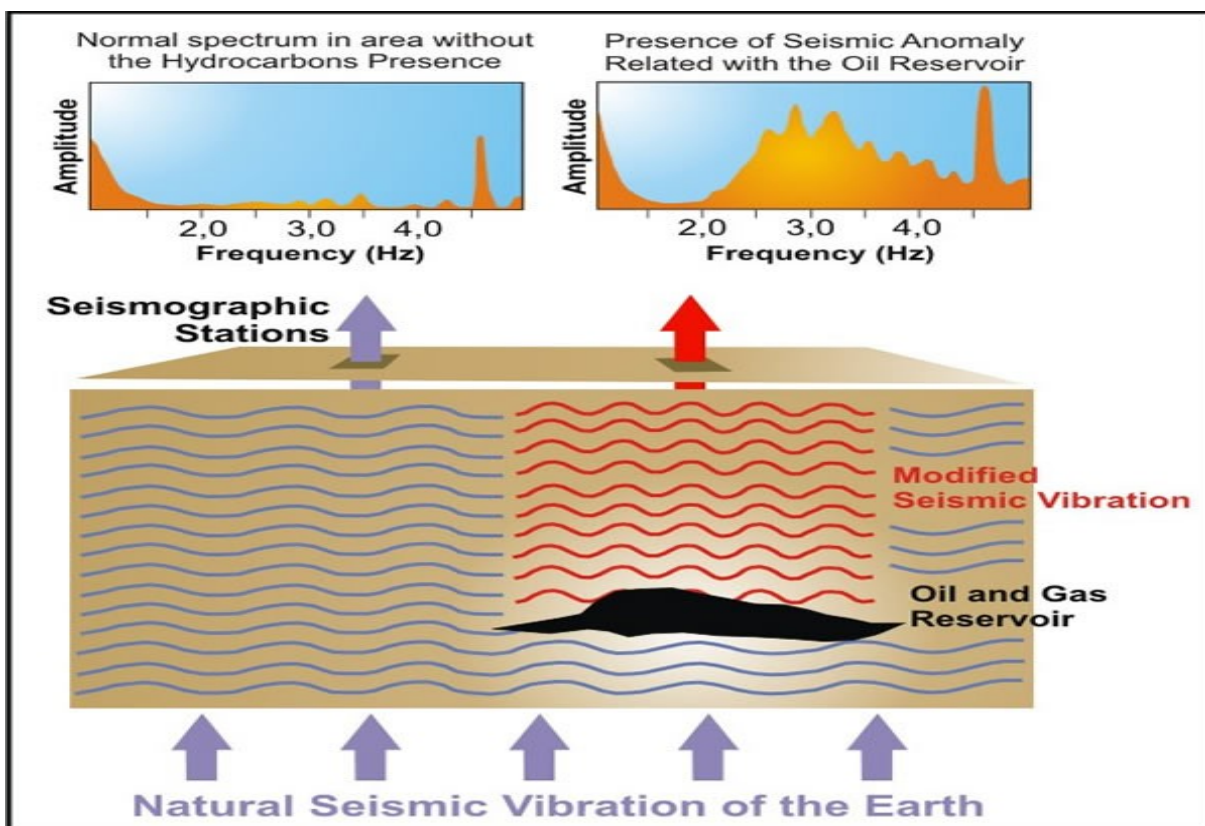
Γενικά, τα σεισμικά κύματα έχουν την ιδιότητα να διαδίδονται διαμέσου των πετρωμάτων μεταβάλλοντας την ταχύτητα τους ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κάθε γεωλογικού σχηματισμού. Τα χαρακτηριστικά που είναι υπεύθυνα για τις μεταβολές της ταχύτητας των κυμάτων αφορούν αποκλειστικά την πυκνότητα και το πορώδες του πετρώματος. Συγκεκριμένα, η αύξηση της ταχύτητας διάδοσης είναι ανάλογη της πυκνότητας αλλά αντιστρόφως ανάλογη του πορώδους. Κατά συνέπεια τα ηχητικά κύματα διαδίδονται στο εσωτερικό της γης μέσω του φλοιού της, με αλλαγές στο χρόνο διάδοσης για κάθε διαφορετικό σχηματισμό. Τα κύματα στο έδαφος αναπτύσσουν συνήθως μια ταχύτητα των 305 μέτρων το δευτερόλεπτο. Όμως, στην περίπτωση συνάντησης του ηχητικού κύματος με σχηματισμό μεταμορφωμένων πετρωμάτων, ο αριθμός της ταχύτητας ανέρχεται περίπου στα έξι χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι οι γεωεπιστήμονες με τη χρήση σεισμικών, σε συνδυασμό με δεδομένα από προϋπάρχουσες γεωτρήσεις, είναι σε θέση

να υπολογίσουν το χρόνο διαδρομής του σεισμικού κύματος από την παραγωγή του μέχρι τη λήψη του από τα όργανα ανίχνευσης. Η μέτρηση αυτή στηρίζεται στη γνώση της λιθολογίας του κάθε στρώματος από το οποίο διέρχεται το κύμα. Έτσι, πολύ εύκολα γνωστοποιείται το βάθος ασυνέχειας των σχηματισμών, δημιουργώντας μια πλήρη εικόνα της δομής του υπεδάφους.⁴

Έπειτα, το σήμα που λαμβάνεται από τα ειδικά όργανα ανίχνευσης, πριν σταλεί σε ψηφιακή μορφή με σκοπό την αποθήκευση του, ενισχύεται και φιλτράρεται απομακρύνοντας τους διάφορους θορύβους που αλλοιώνουν τα ανακλώμενα κύματα. Η επεξεργασία των δεδομένων αναμφίβολα αποτελεί ένα απαραίτητο κομμάτι στη σεισμική μέθοδο. Συνεπώς, ο μη καθαρισμός του σήματος από τις διάφορες παρεμβολές μπορεί να προκαλέσει πολλές παρερμηνείες στη συνέχεια. Πράγματι, στο επόμενο στάδιο καλείται ο γεωεπιστήμονας να ερμηνεύσει τα ανακλώμενα κύματα με μοναδικό σκοπό την εμπεριστατωμένη παρουσίαση της γεωλογικής υπόστασης της περιοχής. Επίσης, η συγκεκριμένη ερμηνεία στηρίζεται αποκλειστικά στην προσωπική αντίληψη του και συχνά αντιμετωπίζεται με επιφύλαξη, καθώς λαμβάνεται υπόψη η αοριστία της μεθόδου και ο μικρός αριθμός δεδομένων. Πολλές φορές η απόδοση της γεωλογικής ιστορίας ανατίθεται σε δύο ακόμη συναδέλφους, ώστε να μειωθεί η πιθανότητα μιας παρερμηνείας των αποτελεσμάτων, η οποία θα στοιχίσει στην εταιρεία αρκετούς οικονομικούς πόρους. Η εργασία αυτή πραγματοποιείται σε εργαστήριο με τον κατάλληλο εξοπλισμό και ηλεκτρονικά προγράμματα, τα οποία παρέχουν πληροφορίες για τη σεισμική ένταση, εξίσου απαραίτητες για την κατανόηση της δομής και της στρωματογραφίας του υπεδάφους. Παράλληλα, μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στις αναμενόμενες ανωμαλίες των σεισμικών δεδομένων. Συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο μέρος των καταγεγραμμένων στοιχείων χαρακτηρίζεται από χαμηλής απόδοσης ποιότητα, τα οποία σε συνδυασμό με τις επιφανειακές αντανakλάσεις ενός ισχυρού μέσου, παραποιούν το αποτέλεσμα της μεθόδου. Ακόμη, η πλευρική μεταβολή της ταχύτητας μετάδοσης των

σεισμικών κυμάτων και η αποστολή τους εκτός φάσης προκαλεί αλλοίωση στα τελικά στοιχεία.¹

Στη συνέχεια, τα δεδομένα που βρίσκονται αποθηκευμένα σε μαγνητικές ταινίες ή δίσκους αποθήκευσης (CD) αποδίδονται με διάφορους τρόπους απεικόνισης με σκοπό να διατεθούν ευανάγνωστα στη διάθεση των γεωεπιστημόνων. Συνεπώς, ο ρόλος των γεωεπιστημόνων στη σεισμική έρευνα περιλαμβάνει την έρευνα και την ερμηνεία των δεδομένων που χαρακτηρίζουν συγκεκριμένους στρωματογραφικούς ορίζοντες. Αναλυτικά, τα δεδομένα εμφανίζονται συνήθως σε φωτογραφικό και στεγνό χαρτί είτε ως παρουσίαση του πλάτους με τα ημιτονοειδή εγκάρσια κύματα να είναι διατεταγμένα σε χρονοσειρές σε σχέση με το χρόνο άφιξης τους. Μια ακόμα απεικόνιση τους αποτελεί η παρουσίαση της μεταβλητής πυκνότητας, όπου τα μέγιστα πλάτη εμφανίζονται με σκιασμένο μαύρο χρώμα σε αντίθεση με τα χαμηλά που απεικονίζονται με άσπρο.⁴



Εικόνα 4. Καταγραφή σεισμικών ανωμαλιών.²¹

Συμπερασματικά, είναι αντιληπτό ότι τα τεχνολογικά επιτεύγματα στον τομέα της εξερεύνησης υδρογονανθράκων βοηθούν ενεργά στη μείωση των δαπανών για τον εντοπισμό τους ενώ συγχρόνως, το ποσοστό επιτυχίας της ανακάλυψης του κοιτάσματος έχει αυξηθεί σημαντικά.⁶ Αρχικά, στις υπεράκτιες εγκαταστάσεις κατά τις αρχές της δεκαετίας του 1980, κοινή ήταν η καταγραφή δύο διαστάσεων (2D) σεισμικών δεδομένων, όπου απεικονιζόταν η δομή μιας μόνο επιφάνειας. Στη συνέχεια, η ενσωμάτωση πολλών 2D δεδομένων προκάλεσε την ανακάλυψη τριών διαστάσεων σεισμικών, με αποτέλεσμα να αποδίδεται η εικόνα ενός όγκου. Το γεγονός αυτό ήταν καταλυτικός παράγοντα ώστε να αντικατασταθούν τα προηγούμενα σεισμικά δεδομένα και να θεωρηθούν τα 3D ως ένα πρότυπο εργαλείο στην εξερεύνηση και στην ανάπτυξη των υδρογονανθράκων. Όσον αφορά το παραγωγικό στάδιο, η πολύχρονη καταγραφή τριών διαστάσεων σεισμικών δεδομένων (4D) προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για την αποτελεσματικότητα της ανάπτυξης του πεδίου αλλά και τη δυνατότητα άμεσης παρακολούθησης της παραγωγής. Έτσι, οι γεωεπιστήμονες είναι σε θέση να πραγματοποιούν την έγκαιρη προσαρμογή της παραγωγής με σκοπό να αποκομίζουν τη μέγιστη παραγωγή υδρογονανθράκων, χωρίς περαιτέρω ανοίγματα γεωτρήσεων.⁷ Επομένως, η εφαρμογή 3D σεισμικών με την ιδιότητα να αποδίδουν τον όγκο της περιοχής λήψης τους, έχουν γίνει σήμερα ευρέως αποδεκτή στη βιομηχανική κοινότητα πετρελαίου λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρει. Συγκριμένα, η μέθοδος των 3D σεισμικών είναι ικανή να αποδώσει λεπτομερώς τις παγίδες πετρελαίου και ιδιαίτερα εκείνες που χαρακτηρίζονται από λεπτά τοιχώματα.⁶ Τέλος, τα τρισδιάστατα σεισμικά σύνολα δεδομένων ερμηνεύονται συνήθως σε ένα σταθμό εργασίας, όπου πραγματοποιείται η προβολή τους προς οποιαδήποτε κατεύθυνση και έπειτα ερμηνεύονται από τους γεωφυσικούς αποδίδοντας τα χαρακτηριστικά της δομής του κοιτάσματος.¹

1.9 Ενσύρματες γεωφυσικές καταγραφές δεδομένων (Wireline Logging)

Κατά τη διάρκεια μιας γεώτρησης ή μετά το τέλος της πλήρους διάνοιξης, ένας ποικίλος συνδυασμός εργαλείων κατέρχεται στον πυθμένα της, με σκοπό την καταγραφή των φυσικών ιδιοτήτων των περιβάλλοντων σχηματισμών. Το ιδιαίτερο αυτό εργαλείο, κατευθυνόμενο με τη βοήθεια ενός ενσύρματου καλωδίου, λαμβάνει δεδομένα για το πορώδες, τα συστατικά και τα ρευστά υγρά του κάθε σχηματισμού, όπως επίσης και για την εσωτερική κατάσταση της γεώτρησης. Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι όλα τα προηγούμενα δεδομένα λαμβάνονται υπόψη αργότερα, μετά από τη μελέτη της πυρηνοληψίας, όπου βγαίνει το τελικό συμπέρασμα.¹

Επιπρόσθετα, σημαντική είναι η ύπαρξη εργαλείων που μετρούν τη φυσική ραδιενέργεια των σχηματισμών, καθώς παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες στους γεωεπιστήμονες, παρουσιάζοντας στοιχεία προέλευσης και καταλήγοντας έμμεσα στην ταυτοποίηση τους. Ειδικότερα, η λειτουργία τους στηρίζεται στην ακτινοβολία γάμμα, ανιχνεύοντας την εκπεμπόμενη ακτινοβολία των ραδιενεργών στοιχείων, όπως για παράδειγμα το κάλιο, το ουράνιο και το θόριο. Έτσι γίνεται αντιληπτό ότι τα στοιχεία αυτά ανάλογα με την περιεκτικότητά τους αντιπροσωπεύουν και το αντίστοιχο πέτρωμα ή ίζημα. Παραδείγματος χάριν, το κάλιο χαρακτηρίζει αργιλικό υλικό, ενώ το ουράνιο αποτελεί προϊόν αποσάθρωσης πυριγενών πετρωμάτων σε αντίθεση με το θόριο που προσδιορίζει ένα αδιάλυτο στοιχείο το οποίο εντοπίζεται συνήθως στους βωξίτες. Τυπικά, οι σχιστόλιθοι είναι περισσότερο ραδιενεργοί από τους ψαμμίτες αλλά οι εξαιρέσεις δεν παύουν να υφίστανται. Λόγω των εξαιρέσεων αυτών, υπάρχει η πιθανότητα της μεθόδου αυτής να οδηγήσει σε σφάλμα δίνοντας ψευδείς πληροφορίες για τη λιθολογία του σχηματισμού. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτή η απαραίτητη αλληλεξάρτηση της μεθόδου με επιπρόσθετες έρευνες.¹

Επιπλέον, ευρέως διαδεδομένο εργαλείο καταγραφής της λιθολογίας αποτελεί η καταγραφή SP (*Spontaneous Potential*). Η συγκεκριμένη μεταδίδει τη διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού των γεωλογικών σχηματισμών μεταξύ ενός σταθερού ηλεκτροδίου στην επιφάνεια της γεώτρησης και ενός ελεύθερου εντός αυτής. Η μόνη ιδιαιτερότητα της μεθόδου είναι η ύπαρξη ηλεκτρικά αγωγίμης λάσπης εσωτερικά της γεώτρησης. Επομένως, η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας καθορίζει την ταυτότητα του κάθε στρώματος, εφόσον η ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων είναι γνωστή και σταθερή. Απεναντίας, σε απλές στρωματογραφικές δομές προτιμάται η εφαρμογή κάθετων σεισμικών προφίλ (VSPs), εξοπλισμένης με πομπό και δέκτες, με τους τελευταίους να τοποθετούνται εντός της γεώτρησης. Η επιλογή της στηρίζεται στο γεγονός ότι αποδίδει αποτελέσματα με μεγαλύτερη ακρίβεια από τις προηγούμενες απλές σεισμικές έρευνες. Ακόμη, τα δεδομένα της απεικονίζονται σε μορφή γραφήματος με δύο άξονες, από τους οποίους ο ένας παρουσιάζει τις τιμές του βάθους και ο άλλος το χρονικό διάστημα μετάδοσης του σήματος. Έτσι, έμμεσα μέσω του χρόνου διαπιστώνεται η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων για το κάθε στρώμα ξεχωριστά.¹

1.10 Δεδομένα πορώδους και διαπερατότητας

Τα εργαλεία μέτρησης του κενού χώρου και της μεταξύ τους επικοινωνίας μέσα σε ένα σχηματισμό κατανέμονται ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους σε τρία πακέτα εργαλείων. Αρχικά, το εργαλείο εκπομπής ηχητικού σήματος (*sonic tool*) εξοπλισμένο με έναν πομπό και δέκτη, έχει τη δυνατότητα καταγραφής του πραγματικού χρόνου λήψης του παλμού στον δέκτη. Ειδικότερα, ο χρόνος αυτός διαφέρει από σχηματισμό σε σχηματισμό, όπως είναι φυσικό, καθώς αλλάζει το πορώδες. Για παράδειγμα, σε συμπαγή πετρώματα ο χρόνος είναι αρκετά μικρός σε αντίθεση με τον άνθρακα και άλλα αργιλικά ιζήματα, όπου ο

παλμός καθυστερεί να φτάσει στο δέκτη.¹ Στη συνέχεια, τα δεδομένα των μετρήσεων ερμηνεύονται από τους μηχανικούς υπολογίζοντας το ηχητικό πορώδες και παρακολουθώντας τις τάσεις της πίεσης των πόρων. Η σημασία όμως του εργαλείου εκπομπής ηχητικών κυμάτων οφείλεται στις πληροφορίες που παρέχει στους μηχανικούς της γεώτρησης, όσον αφορά τη διάτρηση των πετρωμάτων και την πυκνότητα της λάσπης. Για παράδειγμα, η διάτρηση μέσα σε ζώνες υπερπίεσης μπορεί να αποβεί μοιραία για την ίδια τη γεώτρηση, όπως και η χαμηλή πυκνότητα της λάσπης μέσα στην γεώτρηση.⁸ Επίσης, αξίζει να σημειωθεί η χρήση του *sonic tool* ως βοηθητικού μέσου των σεισμικών δεδομένων, εφόσον προφίλ ταχύτητας παράγονται απ' αυτό, όπως και ο συνδυασμός του με το εργαλείο πυκνότητας.¹

Το εργαλείο πυκνότητας αρχικά αποτελεί μέρος της ομάδας των εργαλείων πυρηνικής ενέργειας, λειτουργεί με βάση την ύπαρξη μιας πυρηνικής πηγής και των δύο ανιχνευτών, τα οποία απαρτίζουν τα κύρια μέρη του εργαλείου πυκνότητας. Η διαδικασία μέτρησης του πορώδους ξεκινά με την εκπομπή μεσαίας ακτινοβολίας γάμμα, που παράγει η πηγή προς τα τοιχώματα της γεώτρησης. Συνεπώς, η γάμμα ακτινοβολία, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως σωματίδιο ενέργειας, διαδίδεται εντός των σχηματισμών και έρχεται σε επαφή με τα ηλεκτρόνια των σχηματισμών. Η επαφή των σωματιδίων ενέργειας ή αλλιώς των φωτονίων με τα ηλεκτρόνια έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ενέργειας τους λόγω σύγκρουσης με τα ηλεκτρόνια. Πράγματι, το φαινόμενο της ελάττωσης της ενέργειας των φωτονίων, που ονομάζεται *σκέδαση Compton*, καταγράφεται από τους παραπάνω ανιχνευτές. Γενικά, πρέπει να αναφερθεί ότι η πυκνότητα του κάθε σχηματισμού συνδέεται με την παρουσία ηλεκτρονίων. Έτσι, ένα πέτρωμα με μεγάλη πυκνότητα χαρακτηρίζεται από μεγάλη παρουσία ηλεκτρονίων με αποτέλεσμα κατά την εκπομπή φωτονίων να χάνεται και περισσότερη ενέργεια. Γενικά, είναι παραδεκτό ότι πετρώματα με μεγάλη πυκνότητα, ακολούθως θα έχουν μικρό πορώδες. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι το εργαλείο πυκνότητας ορίζεται ως ένα αποτελεσματικό μέσο στην καταγραφή των δεδομένων πορώδους.⁹ Επομένως, λαμβάνοντας

υπόψιν τις πραγματικές τιμές της πυκνότητας του κάθε πετρώματος που έχουν υπολογιστεί προηγουμένως σε ειδικά διαμορφωμένο εργαστήριο, πραγματοποιείται μια απλή συσχέτιση των τιμών, με σκοπό να εξακριβωθεί η ταυτότητα του εκάστοτε σχηματισμού. Τέλος, τα δεδομένα της πυκνότητας είναι συνάρτηση τόσο του πορώδους όσο και του τύπου πετρώματος, οπότε αν το πέτρωμα είναι γνωστό τότε μπορεί εύκολα να υπολογιστεί και το πορώδες του. Το εργαλείο πυκνότητας επίσης έχει την ικανότητα να εντοπίζει την ποσότητα του φυσικού αερίου, το οποίο ως πιο χαμηλής πυκνότητας γεμίζει τα κενά των πορωδών σχηματισμών.¹

Ακόμη, το εργαλείο νετρονίων, ένα εξίσου αποτελεσματικό όργανο στην απόδοση δεδομένων του πορώδους και της διαπερατότητας, λειτουργεί αποκλειστικά μέσω της αντίδρασης των ατόμων νετρονίων-υδρογόνου.¹ Αρχικά, το εργαλείο νετρονίων αποτελείται από μια ραδιενεργή πηγή, από την οποία απελευθερώνονται νετρόνια που προσβάλλουν τον σχηματισμό της γεώτρησης. Τα νετρόνια, με την εισαγωγή τους εντός του σχηματισμού, συγκρούονται με τα υπάρχοντα άτομα, προκαλώντας μια ελάττωση στην ταχύτητα τους και μάλιστα αποκτούν θερμική ενέργεια. Το γεγονός αυτό οδηγεί στη συνέχεια στη σύλληψη των νετρονίων από τα άτομα του σχηματισμού. Κατά συνέπεια, η μείωση της ενέργειας των νετρονίων οφείλεται στο παρόμοιο μέγεθος και μάζα των δύο τύπων ατόμων, τα οποία χαρακτηριστικά διαθέτει το άτομο του υδρογόνου.¹⁰ Συνεπώς, η παρατήρηση μιας έντονης ελάττωσης της ενέργειας των νετρονίων δηλώνει μεγάλη συγκέντρωση υδρογόνου υγρής μορφής, η οποία καθορίζει τα δεδομένα του πορώδους. Δεδομένο αποτελεί το γεγονός ότι η ύπαρξη μεγάλης ποσότητας συσώρευσης υδρογόνου στους πόρους των πετρωμάτων δηλώνει αντίστοιχα και μεγάλο πορώδες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το φυσικού αέριο που όταν βρίσκεται στους πόρους των πετρωμάτων, η τιμή του πορώδους νετρονίων είναι χαμηλή.¹

Η σύγχρονη τεχνολογία συντέλεσε στην ανακάλυψη νέων εργαλείων μέτρησης της διαπερατότητας. Έτσι, τα εργαλεία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (*NMR*) έκαναν την εμφάνιση τους παρέχοντας πληροφορίες τόσο για το πορώδες και την κατανομή μεγέθους των πόρων, οι οποίες στη συνέχεια ερμηνεύονται από τους γεωεπιστήμονες, υπολογίζοντας τη διαπερατότητα, ιδίως για πυριτιοκλαστικούς σχηματισμούς. Γενικά, η λειτουργία τους στηρίζεται στην πρόκληση των ατομικών πυρήνων να σχηματίσουν εξωτερικά μαγνητικά πεδία. Το φαινόμενο αυτό είναι αποτέλεσμα της ιδιότητας αρκετών ατομικών πυρήνων να διαθέτουν μαγνητική ροπή. Επομένως, οι πυρήνες των ατόμων θεωρούνται ως μικροσκοπικοί μαγνήτες και κατά συνέπεια αλληλεπιδρούν με οποιοδήποτε μαγνητικό πεδίο, επιφέροντας μετρήσιμα σήματα στους δέκτες των εργαλείων. Το πλεονέκτημα της μεθόδου βασίζεται στα πολύ ισχυρά σήματα που δημιουργούνται όταν ανιχνεύεται το υδρογόνο. Συνεπώς, λαμβάνοντας υπόψη τη μεγάλη μαγνητική ροπή του υδρογόνου και σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το στοιχείο εντοπίζεται στους πόρους των πετρωμάτων, είτε ως νερό είτε ως υδρογονάνθρακας, πραγματοποιείται εύκολα η λήψη των δεδομένων από το εργαλείο, τα οποία στη συνέχεια ερμηνεύονται με τη βοήθεια των γεωεπιστημόνων σε δεδομένα πορώδους και διαπερατότητας.¹¹ Ειδικότερα, η λεπτομερειακή λειτουργία του *NMR* εξελίσσεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, όπου προκαλείται η ευθυγράμμιση των ατομικών πυρήνων με κύριο σκοπό τη μαγνήτισή τους. Έπειτα, η ευθυγράμμιση τους διαταράσσεται με την πρόκληση ραδιοσυχνοτήτων (*RF*) δημιουργώντας ένα μετρήσιμο πεδίο. Τέλος, το υδρογόνο όπως προαναφέρθηκε ελευθερώνει ένα σήμα εύκολα ανιχνεύσιμο, εντοπίζοντας τα υγρά περιβάλλοντα. Η διαπερατότητα στη συνέχεια μετριέται όταν οι μαγνητικοί πυρήνες των ατόμων από την παραλληλία που βρισκόντουσαν περιστραφούν κάθετα προς το μαγνητικό πεδίο. Ο χρόνος επιστροφής τους στην παράλληλη θέση ονομάζεται χρόνος χαλάρωσης, ο οποίος ανάλογα με την τιμή του παρέχει πληροφορίες για τα υγρά, το μέγεθος των πόρων και τους παράγοντες της διαπερατότητας.¹

1.11 Ερμηνεία της ηλεκτρικής αντίστασης

Σημαντική παρουσία στην ομάδα των ενσύρματων διαγραφιών παρουσιάζει η μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης των υπεδάφινων σχηματισμών εντός της γεώτρησης. Η παρούσα τεχνική, με την παρουσία ενός συστήματος ηλεκτροδίων, προσφέρει ένα μεγάλο πλήθος πληροφοριών σχετικά με τη σύσταση των διατρημένων ιζημάτων. Έτσι, έπειτα από την ερμηνεία των μετρήσεων από τους γεωεπιστήμονες γίνεται διάκριση των στρωμάτων ανάλογα με τον τύπο του κάθε πετρώματος. Τα πλεονεκτήματα της εντοπίζονται στο γεγονός της μεγάλης εμβέλειας του σήματος σε συνδυασμό με τη λεπτομερή χαρτογράφηση και οπτικοποίηση των δομών, που λαμβάνονται από την επεξεργασία και συνεργασία των γεωλόγων. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί η χρησιμότητα του εργαλείου και στον εντοπισμό της φύσης των υγρών που εμπεριέχονται στα κενά και τους πόρους των πετρωμάτων εκτός από τη συνεισφορά του στον συσχετισμό των πετρωμάτων. Πράγματι, το εργαλείο αυτό μέσω της καταγραφής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των ρευστών που υπάρχουν στους πόρους και τα κενά των σχηματισμών, καταγράφει έμμεσα το πορώδες και τη διαπερατότητα τους, δηλώνοντας επίσης και τον τύπο του ρευστού.¹² Τα εργαλεία των ρευστών δηλαδή παίζουν ιδιαίτερο ρόλο στην αναγνώριση του τύπου του πετρώματος και στην εύρεση πετρελαίου, όπου η κύρια λειτουργία τους στηρίζεται στη μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης του κάθε γεωλογικού σχηματισμού. Αναφορικά, το πετρέλαιο χαρακτηρίζεται από λίγο μεγαλύτερη αντίσταση στο ηλεκτρικό ρεύμα σε σύγκριση με το νερό. Στην πράξη γίνονται δύο μετρήσεις, η μία καταγράφει την αντίσταση των σχηματισμών βαθιά μέσα στη γεώτρηση, ενώ η δεύτερη κοντά στο φρεάτιο της γεώτρησης, όπου η παρουσία της λάσπης της γεώτρησης έχει ιδιαίτερη σημασία λόγω της χαμηλής της αντίστασης. Αδιαμφισβήτητα, η μικρή αγωγιμότητα του πετρελαίου εμφανίζεται έντονα στο σήμα. Επομένως, οι υδροφόροι σχηματισμοί έχουν την ιδιότητα να παρουσιάζουν παρόμοια

μέτρηση με τη λάσπη της γεώτρησης, αναγνωρίζοντας με αυτό τον τρόπο το διαφορετικό σήμα του υγρού πετρελαίου. Στην περίπτωση όμως που η λάσπη της γεώτρησης περιέχει προϊόντα του πετρελαίου ως συστατικά, τότε η μέθοδος της ηλεκτρικής αντίστασης αντιμετωπίζει δυσκολία.¹

1.12 Δεδομένα πίεσης του ταμιευτήρα

Τα εργαλεία πίεσης παρέχουν στον γεωεπιστήμονα ένα ευρύ φάσμα δεδομένων για το παρόν κοίτασμα πετρελαίου. Πράγματι, στοιχεία για την πιθανή ελάττωση στη ροή του υγρού κατά τη διάρκεια της παραγωγής, όπως και δεδομένα για την εσωτερική δομή του ταμιευτήρα γίνονται γνωστά μέσα από το ειδικό εργαλείο *Repeat Formation Tester (RFT)*. Πρακτικά, το όργανο μέτρησης της πίεσης εισέρχεται εντός του φρεατίου της γεώτρησης στο καθορισμένο βάθος υψηλής σημασίας ενδιαφέροντος με τη βοήθεια ενός συρματόσχοινου. Έπειτα, αυτό με τη βοήθεια ενός μηχανισμού αγκιστρώνεται λαμβάνοντας μετρήσεις και τουλάχιστον δύο δείγματα ρευστής φάσης. Αξίζει να αναφερθεί ότι για τη λειτουργία του οργάνου όπως και για τη λήψη των δειγμάτων σε κάθε σημείο ενδιαφέροντος, δαπανείται ένα αρκετά μεγάλο ποσό χρημάτων, το οποίο δηλώνει άμεσα τη σημαντικότητα και τη ακρίβεια του. Το συγκεκριμένο είναι σχεδιασμένο να καταγράφει την πίεση σε διάφορα σημεία εντός της γεώτρησης πολύ γρήγορα και με ακρίβεια.¹ Εκτενέστερα, το εργαλείο RFT είναι σχεδιασμένο να μετρά την πίεση του κάθε σχηματισμού αλλά και να λαμβάνει δείγματα της υγρής φάσης για διεξοδικές αναλύσεις. Επίσης, χαρακτηριστικό προτέρημα του RFT είναι η λήψη ενός μεγάλου αριθμού μετρήσεων πίεσης. Ακόμη, κατά τη διαδικασία της μέτρησης οι μηχανικοί έχουν τη δυνατότητα δοκιμής της διαπερατότητας εκτιμώντας την παραγωγική διαδικασία. Γενικά, η εφαρμογή του εργαλείου RFT παίζει ιδιαίτερο ρόλο στην επαλήθευση της πρώτης εκτίμησης της πίεσης του ταμιευτήρα, με σκοπό να διορθωθούν τα τυχόν

λανθασμένα στοιχεία στο κατασκευασμένο προφίλ πίεσης. Συμπερασματικά, το RFT εξαιτίας της διπλής μέτρησης, που λαμβάνει σε κάθε σημείο μέτρησης, μειώνει δραματικά την πιθανότητα καταγραφής λανθασμένου αριθμού πίεσης εξαιτίας κάποιας τεχνικής βλάβης του εργαλείου. Αναφορικά, στοιχεία της υδροστατικής πίεσης, της πίεσης των πόρων αλλά και της παροδικής πίεσης που προκύπτει από τη δειγματοληψία του οργάνου παραλαμβάνονται κατά το τέλος της μέτρησης του.¹³ Επομένως, τα εργαλεία πίεσης αποδίδουν κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με την αποθεματική εξάντληση του ταμιευτήρα αλλά και για τη ροή της ρευστής φάσης. Συνοπτικά, όταν οι τιμές της πίεσης είναι υψηλές, τότε αυτές δηλώνουν τις θέσεις ροής, ενώ σε αντίθετη περίπτωση δηλώνουν την εξάντληση του ταμιευτήρα. Τέλος, δεδομένα θερμοκρασίας αλλά και χαρακτηριστικά της δομής της γεώτρησης μπορούν να αποκτηθούν άμεσα μέσω των προηγούμενων στοιχείων.¹

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΕΠΙΣΤΗΜΟΝΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

2.1 Ο ρόλος των γεωεπιστημόνων στις διαγραφίες πολφού

Η διαγραφή πολφού (*Mud logging*) αποτελεί μια διαδικασία με απώτερο σκοπό την παρακολούθηση, καθώς και την ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση της περιεκτικότητας των θρυμμάτων σε πετρέλαιο και φυσικό αέριο που έρχονται και καταγράφονται στην επιφάνεια μιας λειτουργικής γεώτρησης. Συγκεκριμένα, το mud logging εξετάζει μικροσκοπικά και παρατηρεί τα θρύμματα (*cuttings*) που προέρχονται από τη δράση του κοπτικού άκρου σε μια γεώτρηση. Επιπρόσθετα, κατά τη λειτουργία της αποκτώνται στοιχεία για τις χημικές και μηχανικές ιδιότητες του γεωτρητικού ρευστού. Παράλληλα, η αξιολόγηση δειγμάτων αέριας φάσης και των συστατικών των υδρογονανθράκων πραγματοποιείται εκτενώς κατά την εφαρμογή της διαγραφίας. Γενικά, η μέθοδος της διαγραφίας πολφού στηρίζεται στην ανίχνευση των στοιχείων πετρελαίου και των αέριων συστατικών του, όπως και στην εύρεση του τύπου πετρώματος των θρυμμάτων. Ακόμη, η συμπλήρωση της αεριο-χρωματογραφίας (*gas chromatography*) με καινοτόμες τεχνικές και τα εργαλεία μέτρησης MWD (*Measurement While Drilling*) και LWD (*Logging While Drilling*), τα οποία κωδικοποιούνται ως παλμοί πίεσης και αποστέλλονται στην επιφάνεια, πρόσφεραν στην μέθοδο του πολφού ένα ειδικό ρόλο στη διαδικασία ανάπτυξης και παραγωγής των υδρογονανθράκων με τα δεδομένα να συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια λειτουργίας της γεώτρησης.³

Η κυκλοφορία πολφού, η οποία είναι υπεύθυνη για την ψύξη του κοπτικού άκρου κατά την περιστροφική διάτρηση ακολουθεί μια καθορισμένη πορεία. Αναλυτικά, η λάσπη κατευθύνεται μέσα από το εσωτερικό τμήμα των διατρητικών στελεχών προς το κοπτικό άκρο

και στη συνέχεια μεταφέρεται στην επιφάνεια με άμεση επαφή της με τα τοιχώματα της γεώτρησης. Συνεπώς, τα θρύμματα που σχηματίζονται παρασύρονται εξαιτίας της κίνησης του πολφού, με αποτέλεσμα τη δειγματοληψία τους και συνεπώς τη λιθολογική και χημική ερμηνεία τους από τους γεωεπιστήμονες. Πράγματι, οι γεωεπιστήμονες κατά τη διάρκεια όρυξης μια γεώτρησης εργάζονται πάνω στην αποκωδικοποίηση των δεδομένων που αποκτούν από τα εγκλειώμενα ρευστά των πετρωμάτων. Επίσης, ένα άλλο δεδομένο που συλλέγεται μέσω της διαδικασίας mud logging είναι η μεταβολή θερμοκρασίας της κινούμενης λάσπης. Πράγματι, η θερμοκρασία των υπεδάφινων σχηματισμών μεταδίδεται μέσω της επαφή και στον πολφό, αποδίδοντας ένα επιπλέον στοιχείο για το υπέδαφος. Όσον αφορά την εργασία του γεωλόγου στην παραπάνω διαδικασία, αυτή περιλαμβάνει την σποραδική δειγματοληψία του πολφού της γεώτρησης κατά τη διάρκεια της πυρηνοληψίας αλλά και στις γεωφυσικές καταγραφές εντός της γεώτρησης (*wireline logging*). Η λήψη των θρυμμάτων πραγματοποιείται από τα κόσκινα στα οποία καταλήγει ο πολφός, με αποτέλεσμα τον μετέπειτα καθορισμό της λιθολογικής και ορυκτολογικής του ταυτότητας και τον χαρακτηρισμό των βιοδεικτών που τον αποτελούν. Πολλές φορές με σκοπό την απόκτηση πληροφοριών για το μητρικό πέτρωμα και τη στρωματογραφία της περιοχής, τα δείγματα αναλύονται με ειδικές τεχνικές και δοκιμές σε εργαστήρια, λαμβάνοντας ισοτοπικές αναλύσεις. Ακόμη, η ιδιαιτερότητα των αερίων να διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα δημιούργησε την ανάγκη συμπλήρωσης του εξοπλισμού του mud logging με την παγίδα απαγωγής αερίων. Έτσι, μέσω της παγίδας λαμβάνεται δείγμα αερίου, το οποίο στη συνέχεια μεταφέρεται σε συνθήκες κενού αέρος, με σκοπό τη μέτρηση της περιεκτικότητας του σε υδρόθειο H_2S και τον προσδιορισμό της σύστασης του ολικού αερίου σε υδρογονάνθρακες. Τέλος, οι ισοτοπικές αναλύσεις στο αέριο δείγμα και η ανάλυση με αεριο-χρωματογραφία συμπληρώνουν μια ολοκληρωμένη ακολουθία αναλύσεων της αέριας φάσης των δειγμάτων. Επιπρόσθετα, η αφαλάτωση των δειγμάτων, η απαερίωση τους και η αφαίρεση των κόκκων

άμμου προστίθενται με τη σειρά τους στις αρμοδιότητες των γεωλόγων μαζί με τον επιπρόσθετο καθαρισμό τους. Ακόμη, στις αρμοδιότητες του γεωεπιστήμονα περιλαμβάνεται επίσης και η γνώση των στοιχείων που προκαλούν τη μόλυνση του πολφού, με σκοπό να ξεχωρίζει τα υλικά που διατηρούν τις ιδιότητες του πολφού με αυτά της μόλυνσης.³

2.2 Πυρηνοληψία και αναλύσεις των δειγμάτων

Η εφαρμογή της πυρηνοληπτικής διάτρησης αποσκοπεί στην απόκτηση αντιπροσωπευτικών δειγμάτων για περαιτέρω ανάλυση του εδάφους. Όσον αφορά την πυρηνοληψία, αυτή πραγματοποιείται με την παρουσία του δειγματολήπτη (*core barrel*). Αυτός έχει την ιδιότητα να αποθηκεύει το- κυλινδρικής μορφής- δείγμα, το οποίο έχει αποκοπεί από το σχηματισμό λόγω του κοπτικού άκρου που είναι συνδεδεμένο σε αυτόν. Γενικά, ο δειγματολήπτης αποτελείται από χαλύβδινα στελέχη μήκους 1,5 - 3,0 m , τα οποία μετά το τέλος της δειγματοληψίας ανέρχονται στην επιφάνεια του γεωτρήπανου με τη χρήση ενός συρματόσχοινου, χωρίς όμως να μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά του. Εκτός από την κανονική πυρηνοληψία, συνήθως πραγματοποιείται και η πυρηνοληψία πλευρικού τοιχώματος με τη μόνη διαφορά ότι το δείγμα λαμβάνεται από το εξωτερικό μέρος της γεώτρησης. Επίσης, ο πυρήνας έχει την ιδιότητα να αποκτά μια επιφάνεια κρούστας, εξαιτίας της κρούσης του χαλύβδινου σωλήνα μέσα στον υποκείμενο σχηματισμό. Συνεπώς, τα στοιχεία διαπερατότητας εμφανίζονται μη αξιόπιστα και δεν πρέπει να ληφθούν υπόψη στα αποτελέσματα της μελέτης.¹

Ο ρόλος του γεωεπιστήμονα που ειδικεύεται στην ανάλυση του ταμιευτήρα ορίζεται αρκετά ακριβής και για τον λόγο αυτό πραγματοποιείται μια λεπτομερική και ολοκληρωμένη περιγραφή του ταμιευτήρα χρησιμοποιώντας μια σειρά από τεχνικές κατάλληλες για την απόδοση των ιδιοτήτων του. Οι περισσότερες από τις γεωφυσικές

μεθόδους, τις ενσύρματες διαγραφίες και τις αναλύσεις των δειγμάτων πυρηνοληψίας αποσκοπούν την εκτίμηση τριών βασικών παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τον ταμιευτήρα.

Έτσι, ο υπολογισμός του πορώδους, της διαπερατότητας του κάθε στρώματος του ταμιευτήρα αλλά και η εκτίμηση του κορεσμού των περιεχόμενων ρευστών προσελκύουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον σε μία μέτρηση. Από την άλλη μεριά, διαφορετικές μέθοδοι οδηγούν σε δεδομένα που αποκλίνουν σημαντικά από τις μετρήσεις προηγούμενων μεθόδων. Πράγματι, η μέτρηση του πορώδους ενός σχηματισμού με τη χρήση γεωφυσικών μεθόδων και ο αντίστοιχος υπολογισμός του με τη διαδικασία της πυρηνοληψίας, έχει ως αποτέλεσμα τη μη αντιστοιχία των εκτιμήσεων. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην επεξεργασία που ακολουθεί το δείγμα της γεώτρησης αλλά και στη διαφορά της πίεσης και θερμοκρασίας μεταξύ επιφάνειας και του βάθους που αναρτήθηκε το παρόν δείγμα. Γενικά, τα απαραίτητα στοιχεία ενός ταμιευτήρα υδρογονανθράκων, με σκοπό να κριθεί παραγωγικός, στηρίζονται στην ικανότητα αποθήκευσης και στην μεταδοτικότητα των ρευστών του. Συνεπώς, ο ταμιευτήρας πρέπει να συγκρατεί και συγχρόνως να επιτρέπει την κινητικότητα των ρευστών του, παρόλη την ύπαρξη μιας διατρητικής γεώτρησης. Τέλος, η ύπαρξη φυσαλίδων αερίου είτε η ύπαρξη μιας ροής πετρελαίου εντός του πυρήνα της γεώτρησης, επιτρέπει την επιτόπου εξέταση των χαρακτηριστικών του από τους γεωεπιστήμονες.¹⁴

Οι μετρήσεις που λαμβάνονται μέσα στη γεώτρηση αλλά και τα αποτελέσματα από τις δοκιμές παραγωγικότητας, ορίζονται καίριας σημασίας για την εκτίμηση του ταμιευτήρα υδρογονανθράκων. Αρχικά, η μικροσκοπική και μακροσκοπική εξέταση του πυρήνα έχει ως αποτέλεσμα τον καθορισμό της λιθολογικής του ετερογένειας. Έπειτα, τα δεδομένα της τριχοειδούς πίεσης λαμβάνονται σχολαστικά, καθώς ορίζουν με τη σειρά τους την κίνηση των ρευστών στον ταμιευτήρα. Στη συνέχεια, λαμβάνονται υπόψιν οι ιδιότητες ροής των ρευστών δειγμάτων και το ποσοστό του πόρων.¹⁵

Ωστόσο, η πληροφόρηση για τη στρωματογραφική δομή της περιοχής προέρχεται αποκλειστικά από την πυρηνοληψία και τα θραύσματα της διάτρησης κατά τη διάρκεια της γεώτρησης. Αρχικά, δείγματα συλλέγονται από το γεωτρύπανο για επιπλέον εργαστηριακές μελέτες, που αφορούν τις πετροφυσικές του ιδιότητες. Αξίζει να σημειωθεί ότι με την πετρογραφική ανάλυση του δείγματος, στοιχεία για τη διαγένεση και την ποιότητα του γίνονται γνωστά. Από την άλλη μεριά, τα θραύσματα του πετρώματος μολύνονται εξαιτίας της επίδρασης της λάσπης του γεωτρύπανου, με αποτέλεσμα την αλλοίωση των χαρακτηριστικών του. Έτσι, οι χρήσεις του περιορίζονται μόνο στην ταυτοποίηση του τύπου του πετρώματος.¹

Ειδικότερα, η διαμόρφωση μιας εμπειριστατωμένης εικόνας για τον ταμιευτήρα γίνεται εφικτή με αναλυτικότερες μελέτες του καρότου δειγματοληψίας, οι οποίες μελέτες στηρίζονται στη συμβατική και την ειδική ανάλυση. Η συμβατική ανάλυση παρέχει δεδομένα πορώδους, διαπερατότητας και του ποσοστού της αφθονίας πετρελαίου.¹ Γενικά, η συμβατική ανάλυση αποσκοπεί στην απόκτηση δεδομένων που αφορούν τις βασικές ιδιότητες των πετρωμάτων. Επίσης, ο διατεθειμένος όγκος αποθήκευσης ρευστών στον ταμιευτήρα, το ποσοστό ροής και τα είδη των ρευστών που συνιστούν την υγρή φάση του ταμιευτήρα, γίνονται γνωστά μέσα από τη συμβατική ανάλυση του πυρήνα. Ενώ, η ειδική ανάλυση πυρήνα περιλαμβάνει επιπρόσθετες δοκιμές που πραγματοποιούνται σε εργαστήρια.¹⁵ Δηλαδή, εκτελείται σε πολύπλοκες περιπτώσεις όπου η γεωλογία της περιοχής είναι άγνωστη και η ερμηνεία των γεωλόγων είναι γεμάτη από αμφιβολίες. Τέλος, οι μετρήσεις αυτές λαμβάνουν κυρίως δεδομένα της μηχανικής και της πετροφυσικής του ταμιευτήρα και όχι τόσο για τη γεωεπιστήμη του πετρελαίου. Ειδικότερα, αυτή αποσκοπεί στον καθορισμό της σχετικής διαπερατότητας, της τομογραφίας του πυρήνα, στον υπολογισμό της τριχοειδούς πίεσης και στη μέτρηση της διαβρεξιμότητας.¹

Η εξέταση του πορώδους και της διαπερατότητας προϋποθέτει τη λήψη μικρότερων κυλινδρικών πυρήνων από τον αρχικό δειγματοληπτικό πυρήνα. Συνήθως, λαμβάνεται το δείγμα κάθετα και παράλληλα στον πυρήνα. Γενικά, οι γεωεπιστήμονες, κατά την συλλογή των πυρήνων δειγματοληψίας, δίνουν μεγάλη προσοχή στις διαταραχές των πυρήνων από την καταπόνηση και το βάθος της γεώτρησης, ώστε να χαρακτηρίσουν με ακρίβεια τους σχηματισμούς. Ακόμη, στην περίπτωση ύπαρξης μεγάλου βάθους δειγμάτων αλλά και σε σχηματισμούς με ιζηματολογική δομή, η λήψη των κυλινδρικών πυρήνων πραγματοποιείται κάθετα και παράλληλα στη δομή ή στρώση.¹

Ο υπολογισμός του πορώδους και της διαπερατότητας διεξάγεται ύστερα από μια προεργασία του δείγματος. Πράγματι, οι πυρήνες του δείγματος περνούν από μια διαδικασία καθαρισμού με ειδικές μεθόδους, προτού καθοριστούν οι τιμές της διαπερατότητας και του πορώδους. Βέβαια, όταν εφαρμόζεται η μέθοδος των υγρών, μια τέτοια διαδικασία δεν συνίσταται, εφόσον αυτή πραγματοποιείται μόνο σε φρέσκα δείγματα. Ειδικά, στη διάθεση των γεωεπιστημόνων υπάρχει ένα ευρύ πεδίο μεθόδων καθαρισμού, όπου η επιλογή τους εξαρτάται από το βαθμό συμπαγοποίησης του σχηματισμού. Γενικά, τα πετρώματα του ταμιευτήρα με μεγάλο βαθμό συμπαγοποίησης και χαμηλό πορώδες ακολουθούν μεθόδους υψηλής ενέργειας με δραστικούς διαλύτες (*τολουένιο*). Ενώ, η μέθοδος χαμηλής ενέργειας εφαρμόζεται σε πιο χαλαρά πετρώματα. Αδιαμφισβήτητα, οι διαλύτες παίζουν μεγάλο ρόλο ως βασικό συστατικό στις μεθόδους καθαρισμού. Το πιο διαδεδομένο διαλυτικό υγρό είναι το τολουένιο, ενώ η μαθανόλη χρησιμοποιείται κυρίως για την απομάκρυνση του άλατος στον σχηματισμό. Στην περίπτωση ύπαρξης αργίλου, τότε ως κατάλληλη μέθοδος επιλέγεται ο καθαρισμός συνεχούς ροής που αποτελείται από ένα μείγμα διαλυτών. Η λειτουργία του στηρίζεται στην αποτροπή των υγρών φάσεων να περάσουν διαμέσου των δειγμάτων, καθώς σε αντίθετη περίπτωση προκαλείται καταστροφή των τοιχωμάτων των πόρων, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο τη διαπερατότητα των δειγμάτων.¹

Αναμφίβολα, στο δείγμα εκτός από τον καθαρισμό του, είναι αναγκαία η ξύρανση του, ώστε να επιτευχθεί η απομάκρυνση της υπάρχουσας υγρασίας. Η τεχνική ξύρασης τις περισσότερες φορές πραγματοποιείται με τη χρήση ενός ειδικά διαμορφωμένου φούρνου με βεβαιωμένη κυκλοφορία αέρα. Το απαραίτητο θερμοκρασιακό εύρος για τη ξύρανση κυμαίνεται μεταξύ 82°C - 115°C και ιδιαίτερα στην περίπτωση συμπαγοποιημένων σχηματισμών με ανθεκτικά ορυκτά στη δομή του, ο φούρνος με αέρα αποτελεί την κατάλληλη επιλογή. Ακόμα, αν τα δείγματα διατηρούνται σε κενό αέρος, τότε το εύρος θερμοκρασιών της ξύρασης τους μεταβάλλεται σε χαμηλότερες τιμές. Από την άλλη μεριά, όταν στο πλέγμα των ορυκτών υπάρχει η ένυδρη φάση ή εύθραυστα ορυκτά, τότε εφαρμόζονται πιο ομαλές τεχνικές μέθοδοι, με σκοπό τη διατήρηση των τιμών της διαπερατότητας στις πραγματικές συνθήκες περιβάλλοντος για να εκτιμηθεί στη συνέχεια ορθά το κοίτασμα.¹

Στη συνέχεια, το τελικό δείγμα υπόκειται στη μέτρηση του πορώδους με σκοπό την απόκτηση τριών παραμέτρων, τον κύριο όγκο του δείγματος, τον όγκο των πόρων και τον όγκο των κόκκων. Αρχικά, ο κύριος όγκος υπολογίζεται μέσα από τη μέθοδο υδραργύρου και από τον κανόνα του Αρχιμήδη. Συγκεκριμένα, ο υδράργυρος ως ένα βαρύ χημικό στοιχείο έχει την ιδιότητα να μην αναμιγνύεται με άλλα υγρά. Έτσι, χύνεται στην επιφάνεια του μικρού κυλινδρικού δείγματος, καλύπτοντας τις κοιλότητες και δίνοντας στοιχεία για το μήκος και τη διάμετρο των κενών και συνεπώς δηλώνει τον κύριο όγκο. Όσον αφορά την εύρεση του όγκου των πόρων, οι γεωεπιστήμονες ακολουθούν κυρίως δύο μεθόδους. Σύμφωνα με την πρώτη το ξηρό δείγμα τοποθετείται σε υγρό μέσο γνωστής πυκνότητας και από τη διαφορά βάρους εξαιτίας της προσθήκης αυτής υπολογίζεται ο άγνωστος όγκος. Η δεύτερη μέθοδος αποτελεί πιο πολύπλοκη διεργασία, καθώς προστίθεται στο δείγμα φυσικό αέριο, νερό και πετρέλαιο προκαθορισμένου βέβαια όγκου και αφού υπολογιστεί ο όγκος αερίου από τη μέθοδο υδραργύρου αφαιρείται ο όγκος των παραπάνω υγρών και στη

συνέχεια καταγράφεται το νέο αποτέλεσμα της μέτρησης. Τέλος, ο όγκος των κόκκων γίνεται γνωστός από τον νόμο του Boyle, που στηρίζεται στο χημικό στοιχείο ήλιο και τη διαφορά της πίεσης του.¹

Η τιμή της διαπερατότητας εντοπίζεται άμεσα με τη συμπλήρωση του νόμου του Darcy. Έχοντας πλήρως υπολογίσει τις διαστάσεις και τη διαφορική πίεση, εκχύνεται στο εξεταζόμενο δείγμα υγρό άζωτο με γνωστές τις ιδιότητες του ως προς το ιξώδες και τον ρυθμό ροής του. Η παραπάνω λειτουργία αποσκοπεί στη συμπλήρωση των μεταβλητών και έπειτα στην εύρεση της διαπερατότητας. Παράλληλα, χρειάζεται να δηλωθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις η τιμή της διαπερατότητας ποικίλει από την κατακόρυφη θέση προς την οριζόντια. Για αυτό τον λόγο λαμβάνονται υπόψιν όλες οι μετρήσεις. Επίσης, σε περιπτώσεις που το δείγμα βρίσκεται σε κατάσταση υψηλής πίεσης, εφαρμόζεται εισπίεση αέρα μέσα σε ειδικά εξοπλισμένο εργαστήριο. Η μέθοδος αυτή δε συνίσταται σε άλλες περιπτώσεις καθώς τα αποτελέσματα είναι ανακριβή.¹

Ο θεμέλιος λίθος για την κατασκευή του μοντέλου ενός ταμιευτήρα ορίζεται ο ρόλος των γεωεπιστημόνων να ερμηνεύσουν τα δεδομένα που αποκτώνται από τον πυρήνα της γεώτρησης. Συνοπτικά, κατασκευάζεται ένα αρχείο, όπου καταγράφονται συνοπτικά η λιθολογία και η στρωματογραφική δομή της γεώτρησης. Επίσης, στο φύλλο καταγραφής του πυρήνα απεικονίζεται το πάχος των κόκκων, το βάθος κάθε σχηματισμού όπως επίσης, και παρατηρήσεις σχετικά με την ύπαρξη συγκεντρώσεων μεταλλικών ορυκτών και βιογενών δομών. Ακόμη, το φύλλο ολοκληρώνεται με τη στρωματογραφική τομή της γεώτρησης.¹

Είναι γεγονός ότι η χρήση ενός οπτικού μικροσκοπίου καθώς επίσης, και ενός μικροσκοπίου σάρωσης ηλεκτρονίων (*SEM*) απαιτεί γνώση της πετρογραφίας. Στη διαδικασία αναζήτησης υδρογονανθράκων, η χρήση τους παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την ποιότητα των υδρογονανθράκων όπως και για τον τόπο προέλευσης των ιζημάτων. Πράγματι, ο εντοπισμός του χώρου προέλευσης των σχηματισμών και του περιβάλλοντος απόθεσης

γίνεται εύκολα με την αναγνώριση των ορυκτολογικών συστατικών του δείγματος. Ακόμη, στο μικροσκόπιο κάτω από μεγάλη μεγέθυνση, αναγνωρίζεται η υφή και ο ιστός του δείγματος.¹ Επίσης, η ανάλυση των βαρέων ορυκτών παρέχει εξίσου καίριας σημασίας αποτελέσματα σχετικά με την προέλευση των ορυκτών, όπως για παράδειγμα τα ορυκτά σιλλιμανίτης και κυανίτης υποδηλώνουν πέτρωμα που σχηματίστηκε σε ακραίες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας (μεταμορφωμένο πέτρωμα) που λόγω της αποσάθρωσης εντοπίζεται στα ιζήματα του ταμιευτήρα.¹⁷ Επιπρόσθετα, ευρήματα απολιθωμάτων παρέχουν χαρακτηριστικά στοιχεία για το περιβάλλον του ταμιευτήρα. Το πλεονέκτημα του μικροσκοπίου σάρωσης ηλεκτρονίων είναι το γεγονός ότι η εστίαση του είναι μεγαλύτερη από το αντίστοιχο οπτικό και άρα πιο αξιόπιστο στην ακρίβεια της ποιότητας των αποτελεσμάτων.¹

Η επιστήμη της γεωχημείας διαδραματίζει μοναδικό ρόλο στην έρευνα των υδρογονανθράκων καθώς παρέχει πληροφορίες για όλα τα στάδια του πετρελαίου, δηλαδή από την απόθεση του μέχρι την παγίδευση του. Συγκεκριμένα, η χημική ανάλυση υγρών δειγμάτων και των ορυκτών συστατικών των σχηματισμών έχει ως αποτέλεσμα να αποδώσει χαρακτηριστικά στοιχεία για τον τρόπο σχηματισμού του ταμιευτήρα. Στη γεωχημική ανάλυση του πετρώματος, τα στοιχεία που προκύπτουν σχετίζονται όπως και στην πετρογραφική ανάλυση με την προέλευση, τη διαγένεση και τη συσχέτιση των ιζημάτων. Ενώ, η ανάλυση των ρευστών στηρίζεται στην κατηγοριοποίηση τους μέσα στον ταμιευτήρα και στη διαγενετική του ιστορία.¹

Αδιαμφισβήτητα, η εύρεση απολιθωμάτων εντός του πυρήνα της γεώτρησης λειτουργεί ως σημείο αναφοράς για το σχηματισμό στον οποίο βρέθηκε. Πράγματι, το κάθε απολίθωμα χαρακτηρίζεται από μια ηλικία και από ένα συγκεκριμένο περιβάλλον διαβίωσης, με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται με ευκολία η συσχέτιση των στρωμάτων της κάθε γεώτρησης από τους ειδικούς επιστήμονες. Είναι, επίσης, γνωστό ότι τα απολιθώματα

σχηματίζονται και διατηρούνται σε ευνοϊκές μόνο συνθήκες και όχι σε ακραίες συνθήκες περιβάλλοντος, όπου παρατηρείται η καταστροφή της δομής τους. Γενικά, η ανάλυση των απολιθωμάτων ονομάζεται βιοστρωματογραφία και χωρίζεται σε δύο κλάδους, στην παλυνολογία και στη μικροπαλαιοντολογία. Η πρώτη μελετά τη γύρη και τους σπόρους, ενώ η δεύτερη τους απολιθωματοφόρους οργανισμούς. Ειδικότερα, η βιοστρωματογραφική ανάλυση πραγματοποιείται σε όλα τα δείγματα που έχουν παρθεί από τη δειγματοληπτική γεώτρηση, όπως για παράδειγμα στους πυρήνες της καροταρίας, του πλευρικού τοιχώματος και στα θραύσματα που αιωρούνται εντός της λάσπης της γεώτρησης. Στα δύο πρώτα δείγματα υπάρχει το πλεονέκτημα της γνώσης του απόλυτου βάθους που αποκτήθηκαν, καθώς γίνεται καταγραφή του βάθους στα ειδικά κουτιά αποθήκευσης της καροταρίας. Συμπερασματικά, έπειτα από τη διαπίστωση ύπαρξης ενός απολιθώματος σε κάποιο δείγμα πραγματοποιείται η συσχέτιση του με τον στρωματογραφικό ορίζοντα που αποκτήθηκε. Τα θραύσματα, που σχηματίζονται εξαιτίας της δράσης του κοπτικού άκρου (*cuttings*) και τα οποία έχουν άμεση σχέση με τη λάσπη γεώτρησης, δε θεωρούνται από τους γεωεπιστήμονες σίγουροι δείκτες του βάθους πηγής τους. Συνοπτικά, η συνεχής ροή της γεωτρητικής λάσπης, εντός του φρεατίου της γεώτρησης, προκαλεί μια αμφιβολία στον καθορισμό του βάθους προέλευσης των θρυμμάτων. Την ίδια αβεβαιότητα δημιουργούν και τα θραύσματα (*cavings*), που προέρχονται από την αστάθεια των τοιχωμάτων της γεώτρησης που αναμειγνύονται και αυτά στη λάσπη της γεώτρησης. Επίσης, αξιοσημείωτο αποτελεί το δεδομένο ότι τα απολιθώματα μπορεί να έχουν υποστεί τη δράση της διάβρωσης και με τον παράγοντα της μεταφοράς να αποτεθούν σε άλλα πετρώματα νεώτερης ηλικίας.¹

Η διάνοιξη των γεωτρήσεων αποσκοπεί, ακόμη, στη συσχέτιση των υποκείμενων σχηματισμών, σύμφωνα με τη λιθοστρωματογραφία των δειγμάτων, δηλώνοντας με αυτόν τον τρόπο τη δομή του ταμιευτήρα. Πολλές φορές, όμως, η λιθοστρωματογραφική συσχέτιση δεν είναι ικανή να αποδώσει με ακρίβεια το προφίλ του ταμιευτήρα χωρίς την βοήθεια των

απολιθωμάτων που εντοπίζονται σε διάφορα στρώματα με κοινό χαρακτηριστικό την ηλικία διαβίωσης τους. Επομένως, η βιοστρωματογραφική συσχέτιση διευκολύνει αρκετά το έργο του γεωλόγου σε πολύπλοκα στρωματογραφικά συστήματα ταμιευτήρα.¹

Αρχικά, οι οργανισμοί που έδωσαν τα χαρακτηριστικά απολιθώματα, λόγω της εξέλιξης τους, εμφανίζουν διαφορετικές ηλικίες. Συγκεκριμένα, στο γεωλογικό παρελθόν οι ζώντες οργανισμοί είχαν ευρεία παγκόσμια εξάπλωση και γρήγορη εξέλιξη, το οποίο δηλώνει το μικρό χρόνο διαβίωσης τους. Για το λόγο αυτό ο τύπος κάθε απολιθώματος δηλώνει μια ενδεικτική ηλικία, η οποία άμεσα χαρακτηρίζει την ηλικία των ιζημάτων, εντός των οποίων βρίσκεται το απολίθωμα. Τέλος, υπολογίζοντας τη μεγάλη ανάπτυξη τους σε ποικίλα περιβάλλοντα, οι επιστήμονες που ειδικεύονται στη μελέτη των απολιθωμάτων πρέπει να είναι σε θέση να αξιολογήσουν, μέσα από τα δείγματα της πυρηνοληψίας, τη διαχρονική τους απόθεση στο συγκεκριμένο περιβάλλον. Επιπρόσθετα, ορισμένες κατηγορίες απολιθωμάτων περιγράφουν έμμεσα το περιβάλλον της απόθεσης των ιζημάτων. Για παράδειγμα, τα τρηματοφόρα αποτελούν δείκτες του βάθους του νερού ή της αλατότητας, ενώ η απολίθωση σπόρων και γύρης δηλώνουν συνήθως δελταϊκές και παραλιακές αποθέσεις.¹

2.3 Δεδομένα ρευστών δειγμάτων

Ο ταμιευτήρας πετρελαίου εκτός από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο περιέχει στη σύνθεση του και νερό. Η ετερογένεια του πετρελαίου, η συσσώρευση του, όπως και το επίπεδο στο οποίο είναι χωρισμένος ο ταμιευτήρας σε τμήματα, χαρακτηρίζεται από τις παραπάνω φάσεις. Επίσης, τα δεδομένα αυτά μελετούνται εκτενώς και κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης και της παραγωγικής διαδικασίας του κοιτάσματος. Η συνέχιση των εργασιών με σκοπό την ολοκλήρωση της παραγωγικής διαδικασίας προϋποθέτει την ακριβή μέτρηση του ρυθμού άντλησης της ρευστής φάσης του πετρελαίου, καθώς και την αναλυτική σύνθεση του

κοιτάσματος. Τα δεδομένα αυτά αποτελούν καθοριστικό παράγοντα κατά τη διάρκεια ρύθμισης του προϋπολογισμού του κόστους κατασκευής των επιμέρους εγκαταστάσεων παραγωγής. Είναι δεδομένο ότι στη βιομηχανία πετρελαίου το κόστος εγκατάστασης και κατασκευής μιας υπεράκτιας πλατφόρμας (*offshore platform*) είτε χερσαίας εγκατάστασης (*onshore platform*) αποτελεί τη μεγαλύτερη δαπάνη χρημάτων, από το αρχικό κεφάλαιο, με αποτέλεσμα, πριν εγκριθεί η οικοδόμησή τους, να εξετάζεται κάθε παράγοντας που μπορεί να χαρακτηρίσει την παραγωγή μη κερδοφόρα. Η σειρά αυτών των αναλύσεων στηρίζεται στη λήψη υγρού δείγματος που περιέχεται εντός της γεώτρησης. Γενικά, οι κύριοι παράγοντες που μελετώνται από τους γεωεπιστήμονες αναφέρονται στην εμπορική αξία της σύνθεσης του πετρελαίου.¹

Αξίζει να σημειωθεί ότι η δειγματοληψία ρευστών πραγματοποιείται με δύο κύριους τρόπους είτε μέσω της γεώτρησης, η οποία τροφοδοτεί την επιφάνεια με ρευστά, είτε λαμβάνονται δείγματα από τους κυλινδρικούς πυρήνες της γεώτρησης. Ειδικότερα, στα υγρά δείγματα εντοπίζεται μια ιδιαιτερότητα, εξαιτίας της διαφοράς των συνθηκών πίεσης και θερμοκρασίας μεταξύ επιφάνειας και του ταμιευτήρα; μεταβάλλεται η φάση και η σύνθεση τους αλλά και παρατηρείται μια αναπόφευκτη ρύπανση. Για το λόγο αυτό οι γεωεπιστήμονες πετρελαίου καταφεύγουν στην απόκτηση δεδομένων για τα περιεχόμενα ρευστά μέσα από άλλες πηγές ερευνών. Πράγματι, κατά τη διάρκεια των δοκιμών παραγωγής και σύμφωνα με τη θερμοκρασία και την πίεση του περιβάλλοντος απόθεσής τους, γνωστοποιούνται έγκυρα στοιχεία για τα ρευστά του ταμιευτήρα. Η πιο συνηθισμένη όμως λήψη δειγμάτων πραγματοποιείται από τις δοκιμές ρυθμού ροής και από την ανάλυση της πίεσης του ταμιευτήρα. Τα παραπάνω δεδομένα χαρακτηρίζονται συνήθως ως δευτερεύοντα προϊόντα, εφόσον δεν αποδίδουν πλήρως τις συνθήκες της δεξαμενής πετρελαίου. Οι αιτίες αυτής της μη αξιοπιστίας των ρευστών οφείλεται σε συγκεκριμένες ενέργειες, όπως για παράδειγμα στην κλασματοποίηση των ρευστών, την ιδιότητα του φυσικού αερίου να μην αναμειγνύεται,

στη μερική καταβύθιση των υγρών αλλά και στη ρύπανση τους με τα υγρά της γεώτρησης. Όμοια κατάληξη έχουν και τα δείγματα νερού, αλλά είναι πιθανό να αναμειχθούν με μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, προκαλώντας μεταβολές στην οξύτητα και στο δυναμικό της οξειδαναγωγής. Επίσης, δείγματα πετρελαίου εξάγονται από τη γεώτρηση για την πραγματοποίηση χημικών αναλύσεων αλλά και για την εξακρίβωση των φυσικών τους ιδιοτήτων. Ακόμη, στα στερεά δείγματα των πυρήνων μπορεί εύκολα να αποκτηθεί δείγμα πετρελαίου μέσω της χρήσης οργανικού διαλύτη. Ενώ, δείγμα νερού μπορεί να εξαχθεί με τη χρήση απεσταγμένου νερού. Αξίζει να σημειωθεί ότι η φυγοκέντρωση αποτελεί μια διαδεδομένη διαδικασία διαχωρισμού μειγμάτων τόσο του νερού όσο και του πετρελαίου. Εν κατακλείδι, η εξέταση του ταμιευτήρα είναι πιο ακριβής με την ανάλυση του δείγματος από την πυρηνοληψία, αν και οι φυσικές ιδιότητες των ρευστών είναι αδύνατο να αποδοθούν. Επιπλέον, η μελέτη παλιών δειγμάτων πολλές φορές προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες, καθώς οι απομείναντες από την εξάτμιση σύνθετοι οξειδωμένοι υδρογονάνθρακες και άλατα παρέχουν στοιχεία για τα ρευστά της δεξαμενής. Μάλιστα, η εξέταση των αλάτων οδηγεί στον προσδιορισμό της κατηγοριοποίησης του ταμιευτήρα.¹

Όσον αφορά το πετρέλαιο υπάρχουν ορισμένα χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να αναγνωριστούν από τον γεωλόγο πετρελαίου που μελετά το κοίτασμα υδρογονανθράκων. Αρχικά, αυτός πρέπει να είναι σε θέση να καθορίσει τον τύπο του μητρικού πετρώματος από τον οποίο προέρχεται το πετρέλαιο. Στη συνέχεια, διεξάγει μια σειρά από μετρήσεις για τα χαρακτηριστικά του πετρελαίου και του μητρικού πετρώματος, καθώς και για το βαθμό ωρίμανσης του. Επίσης, σημαντική πηγή πληροφοριών για το κοίτασμα αποτελεί η προέλευση των αερίων αλλά και η σχέση μεταξύ των ρευστών του με αυτά του μητρικού πετρώματος. Τα παραπάνω δεδομένα προέρχονται αποκλειστικά από τη χημική ανάλυση πετρελαίου με δείγματα που αποκτήθηκαν από περισσότερες των δύο γεωτρήσεων, με σκοπό την απόκτηση αξιόπιστων πληροφοριών για τη συσχέτιση του ταμιευτήρα.¹

Αναμφίβολα, η δουλειά των γεωεπιστημόνων πραγματοποιείται με αρκετή ευκολία χρησιμοποιώντας τα ειδικά εργαλεία που προσδιορίζουν το χαρακτήρα του πετρελαίου. Ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία στην εξέταση του πετρελαίου ορίζεται η ισοτοπική ανάλυση. Η λειτουργία της στηρίζεται στη καταμέτρηση της αναλογίας των ισοτόπων ^{12}C και ^{13}C . Πράγματι, η αναλογία των ισοτόπων του άνθρακα είναι ικανή να χαρακτηρίσει το κάθε κλάσμα πετρελαίου, καθώς και να αποδώσει τα συστατικά του πετρελαίου, το οποίο προέρχεται από μητρική πηγή υψηλής ωρίμανσης. Στην περίπτωση αυτή κρίνεται ουσιώδης η σημασία της ανάλυσης αυτής, εφόσον τα πολύπλοκα μόρια του μητρικού πετρώματος έχουν καταστραφεί και αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για κάθε γεωλόγο πετρελαίου. Επιπρόσθετα, εξίσου αποδοτική στην αναγνώριση του αερίου του ταμειυτήρα και της πηγής πρόελευσης του συνίσταται η ταξινόμηση αερίου. Η συγκεκριμένη βασιζόμενη στην απουσία των χρησίων βιολογικών δεικτών του αερίου καθορίζει την αναλογία του μεθανίου σε σχέση με τα υπόλοιπα παραπροϊόντα του φυσικού αερίου (αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο) μαζί με τη σύνθεση των ισοτόπων τους. Έτσι, η ταξινόμηση και η αναγνώριση της μητρικής πηγής καθορίζεται με σχετική ευκολία συγκεντώνοντας τα απαραίτητα στοιχεία για την παραγωγική διαδικασία.¹

Την αφθονία των μορίων των υδρογονανθράκων απεικονίζει η αεριοχρωματογραφία (Gas Chromatography) με τη δημιουργία ενός γραφήματος. Ειδικότερα, τα μόρια πετρελαίου εντοπίζονται μεταξύ ενός σταθερού υψηλού μοριακού βάρους υγρής φάσης και αέριας φάσης, η οποία βρίσκεται σε κινητική κατάσταση. Έτσι, κατά τη διάρκεια της χρωματογραφίας το πετρέλαιο ρίχνεται εντός ενός τριχοειδούς σωλήνα με την υγρή φάση να τον περικλύει. Στον σωλήνα ρέει αδρανές αέριο (ήλιο ή άζωτο) με το μήκος να κυμαίνεται μεταξύ 0,3 και 0,9 μέτρα. Το χρονικό διάστημα όπου το μόριο εισάγεται στο σωλήνα μέχρι την καταγραφή του από τον ανιχνευτή ονομάζεται χρόνος κατακράτησης και αποτελεί την μία μεταβλητή στο τελικό γράφημα. Από την άλλη πλευρά η δεύτερη μεταβλητή ορίζεται η παρουσία των

μορίων των υδρογονανθράκων. Τέλος, η αποτελεσματικότητα της χρωματογραφίας φυσικού αερίου στηρίζεται σε ένα πρότυπο αναφοράς και στην επαναληπτική του χρήση. Παρόμοια αποτελέσματα με την παραπάνω εργαστηριακή μέθοδο παράγει και η φασματομετρία μάζας προσδιορίζοντας τα μόρια υδρογονανθράκων.¹

Μια ακόμα τεχνική σημαντική για την αναγνώριση της σύστασης του τύπου του πετρελαίου ονομάζεται Gas chromatography fingerprinting. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην απόδοση του αποτυπώματος του ύψους των διαφορετικών αναλογιών με βάση το γράφημα της χρωματογραφίας του αερίου. Συγκεκριμένα, η διαφορά ύψους χαρακτηρίζει ένα μοναδικό τύπο πετρελαίου καθώς προσφέρει τη δυνατότητα εντοπισμού εμποδίων στη ροή του ρευστού. Κατά συνέπεια, η εφαρμογή όλων των μεθόδων να θεωρείται απαραίτητη.¹

Ο βαθμός ωριμότητας του μητρικού πετρώματος προσδιορίζεται από τον γεωλόγο πετρελαίου σύμφωνα με το βαθμό αντίδρασης των μορίων του πετρελαίου σε διάφορα στάδια ανόδου της θερμοκρασίας. Πράγματι, τα σύνθετα μόρια προέρχονται από φυτικούς ή ζωικούς οργανισμούς σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας.¹

2.4 Ανάλυση του νερού στοιχείου

Είναι δεδομένο το γεγονός ότι το νερό στοιχείο βρίσκεται εντός της υγρής φάσης στο πετρέλαιο, είτε στην αέρια φάση παγιδευμένο στο φυσικό αέριο αλλά και ως αυτούσιο μέσα στον ταμιευτήρα. Επομένως, γίνεται αντιληπτό ότι η χρήση δεδομένων αντίστασης μπορούν να προσδιορίσει με βάση την αλατότητα του νερού τον κάθε σχηματισμό του ταμιευτήρα. Ειδικότερα, η ύπαρξη υφάλμυρου νερού δηλώνει μεγαλύτερη αγωγιμότητα σε σχέση με την παρουσία γλυκού νερού. Επίσης, η μέτρηση της αντίστασης του ταμιευτήρα είναι ικανή να προσδιορίσει το ποσοστό κορεσμού του πετρελαίου.¹

Γενικά, ο χαρακτηρισμός του ταμιευτήρα ως απλού δίχως κάποια ανομοιογένεια στην δομή του δηλώνει άμεσα και την απλή σύνθεση του περιεχόμενου νερού. Συνεπώς, εξετάζοντας το νερό του ταμιευτήρα χαρακτηρίζεται αναλόγως του αποτελέσματος και ο ταμιευτήρας. Η τεχνική που πραγματοποιεί αυτή την εξέταση ονομάζεται υπολειμματική ανάλυση του άλατος, υπολογίζοντας αρχικά την αναλογία των ισοτόπων του $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ από δείγμα νερού που έχει ξεπλυθεί πρώτα με απεσταγμένο νερό. Στην συνέχεια, πρέπει να θεωρηθεί η απαραίτητη μέριμνα για την πιθανή ρύπανση του δείγματος από γεωτρητικά ρευστά. Γενικά, ο γεωλόγος πετρελαίου χρησιμοποιώντας ένα φασματογράφο μάζας υπολογίζει πρώτα την αναλογία του στρόντιου με μεγάλη ακρίβεια και με βάση των χωρικών μεταβολών του εντοπίζει τα σημεία χαμηλής ροής που δηλώνουν σημεία φραγμού μέσα στον ταμιευτήρα. Συνήθως, η ταυτόχρονη χρήση της σεισμικής ανάλυσης είναι ικανή να προσδιορίσει την ακριβή θέση των εμποδίων αυτών στη γεώτρηση εξασφαλίζοντας τα απαραίτητα δεδομένα για την παραγωγική διαδικασία. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρόμοια αποτελέσματα προκύπτουν επίσης και με τη δοκιμή ροής ρευστών που διεξάγεται εντός της γεώτρησης.¹

2.5 Ο ρόλος των γεωεπιστημόνων

Αρχικά, η εύρεση υδρογονανθράκων στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη συνολική προσπάθεια και συνεργασία τριών γεωεπιστημόνων με διαφορετική ειδικότητα. Συγκεκριμένα, η επιστήμη της γεωλογίας, της γεωφυσικής και τέλος της γεωχημείας απαρτίζουν αυτήν την ολοκληρωμένη γνώση που απαιτείται για την εύρεση του κοιτάσματος πετρελαίου και φυσικού αερίου, αλλά και την παραγωγή του. Επομένως, η εργασία των γεωλόγων στη βιομηχανία υδρογονανθράκων επικεντρώνεται κατά ένα μεγάλο βαθμό στη γνώση των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων των πετρωμάτων, με αποτέλεσμα να

αναγνωρίζουν τον κάθε γεωλογικό σχηματισμό που ανασύρεται από τη γεώτρηση αλλά και από τη δειγματοληψία των επιφανειακών πετρωμάτων. Παράλληλα, απαραίτητη προϋπόθεση για τη διεξαγωγή και την αποτελεσματικότητα των γεωφυσικών μεθόδων αποτελεί η δεξιοτεχνία των γεωφυσικών να ερμηνεύσουν τα δεδομένα των ληφθέντων κυμάτων, με σκοπό να δημιουργηθεί μια εμπεριστατωμένη άποψη για τη δομή και τη διάταξη των υπεδάφινων σχηματισμών. Ακόμη, ο ρόλος των γεωχημικών ορίζεται εξίσου σημαντικός καθώς οι χημικές αναλύσεις των υγρών δειγμάτων και συνεπώς του πετρελαίου θεωρούνται ύψιστης σημαντικότητας για την ποιότητα του κοιτάσματος. Γενικά, οι γεωεπιστήμονες ανάλογα με την εξιδανικευμένη γνώση τους πάνω στις συνθήκες και διαδικασίες σχηματισμού των υδρογονανθράκων εντοπίζουν τα ιζήματα του ταμιευτήρα ανακαλύπτοντας το περιβάλλον απόθεσης των υδρογονανθράκων. Επιπρόσθετα, σε κρίσιμες αποφάσεις, όπου υπάρχει αμφιβολία των γεωεπιστημονικών ερμηνειών συντελείται μια ομαδική διαπιστημονική συνεργασία, με σκοπό τη συλλογική λύση του προβλήματος. Επομένως, στοιχεία μηχανικής του ταμιευτήρα και της παραγωγής, πετροφυσικά και γεωφυσικά στοιχεία, δεδομένα γεωτρήσεων, αλλά και νομικοοικονομικές πληροφορίες συμπεριλαμβάνονται, ώστε να ληφθεί η τελική απόφαση της αμφιβολίας που προέκυψε. Αξίζει να σημειωθεί ότι σπουδαίο προσόν ενός γεωεπιστήμονα αποτελεί η εμπειρία που έχει αποκτήσει από τις προηγούμενες εργασίες του. Το γεγονός αυτό υποστηρίζεται από το υψηλό κόστος λειτουργίας των εργαλείων λήψης δεδομένων σε ένα κοίτασμα υδρογονανθράκων και συμπληρώνεται από τις αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη ακεραιότητα. Τέλος, μετά από κάθε διάτρηση συνίσταται επιπλέον μελέτη για τη σύνταξη του γεωτρητικού προγράμματος καταγράφοντας τα αποτελέσματα της γεώτρησης. Έτσι, τα στοιχεία αυτής της αξιολόγησης αποτελούν στη συνέχεια μια βάση δεδομένων, τα οποία θα είναι διαθέσιμα για παρόμοια μελλοντική διάτρηση λύνοντας πιθανές αμφιβολίες εντός της γεώτρησης.¹⁶

Γενικά, στόχος των γεωεπιστημόνων είναι η απόδοση της δομής του υπεδάφους, ενώ η φιλοδοξία τους σε μια έρευνα υδρογονανθράκων στηρίζεται στην εύρεση της θέσης του κοιτάσματος, καθώς και ο λόγος δημιουργίας του. Συμπληρωματικά, ο εντοπισμός του κοιτάσματος τα τελευταία χρόνια γίνεται ολοένα και περισσότερο πιο δύσκολος, εξαιτίας της εξόφλησης των μεγαλύτερων αποθεμάτων πετρελαίου. Επομένως, απαραίτητος είναι ο ρόλος των γεωεπιστημόνων, όπου με πρωτοποριακές και παραγωγικές ιδέες θα ανακαλύψουν νέες αποθεματικές θέσεις υδρογονανθράκων. Παράλληλα, η προσπάθεια των γεωλόγων και των γεωφυσικών να ανακαλύψουν νέα κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου στέφεται με απόλυτη επιτυχία χάρη στη λήψη δεδομένων που προέρχονται από ειδικές τεχνικές (γεωφυσικές μέθοδοι, δορυφορικές εικόνες). Τα δεδομένα, στη συνέχεια, ψηφοποιούνται και μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή αναπαράγονται σε τρισδιάστατη μορφή δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο τη μοντελοποίησή τους. Συνεπώς, γίνεται γνωστό ότι η τεχνολογία εμφανίζεται αρκετά χρήσιμη στους γεωεπιστήμονες, οι οποίοι, έπειτα, ερμηνεύουν καλύτερα το υπέδαφος βάσει της εικόνας προβολής. Εν το μεταξύ, οι γεωχημικοί λαμβάνοντας δείγματα πετρελαίου, όπως και των πηγών του εξετάζουν τη χημική τους σύσταση. Επιπρόσθετα, ο γεωχημικός αναλαμβάνει τη δημιουργία κατασκευής του μοντέλου της λεκάνης περιλαμβάνοντας το μητρικό πέτρωμα, το πέτρωμα-κάλυμμα, τον ταμιευτήρα, τη δομή παγίδευσης αλλά και τον συνολικό όγκο των υδρογονανθράκων.¹⁶

Επιπρόσθετα, η τεκτονική και η στρωματογραφία αποτελούν δύο ξεχωριστές ειδικότητες με σπουδαίο ρόλο στη βιομηχανία πετρελαίου. Αρχικά, ο γεωλόγος παρατηρώντας την τεκτονικές παραμορφώσεις της περιοχής έρευνας είναι ικανός να εντοπίσει τις χαρακτηριστικές δομές που παγιδεύουν το κοίτασμα των υδρογονανθράκων. Έπειτα, ο στρωματογράφος συμμετέχει ενεργά στο συσχετισμό των στρωμάτων, σύμφωνα με τα στοιχεία από τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις. Συνεπώς, ανάλογα με τα χαρακτηριστικές ιδιότητες των κάθε πετρωμάτων (ηλικία, υφή, χρώμα, λιθολογία) πραγματοποιεί την

συσχέτιση τους, λαμβάνοντας πληροφορίες για τις αναλογίες του ταμιευτήρα και της δομής παγίδευσης του πετρελαίου.¹⁶

Γενικά, οι γεωλόγοι χρησιμοποιούν μια ποικιλία εργαλείων και μεθόδων με σκοπό την εξέταση των πετρωμάτων. Ακόμη, η κατεσκευή χαρτών, όπως και η χημικές αναλύσεις και η δημιουργία αριθμητικών μοντέλων του ταμιευτήρα είναι μερικές από τις εργασίες του γεωλόγου. Τέλος, οι γεωλόγοι συμμετέχουν ενεργά στο σχεδιασμό των παραγωγικών εγκαταστάσεων υδρογονανθράκων αλλά και στο σχεδιασμό γεωτρήσεων.¹⁶

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

3.1 Υδραυλική διάρρηξη

Στο στάδιο της παραγωγής, μία από τις εργασίες του μηχανικού πετρελαίου αποτελεί η βελτιστοποίηση της απόδοσης της παραγωγικής γεώτρησης. Συνεπώς, η λύση πρόερχεται από μια τεχνική που ως αποτέλεσμα έχει τη διάρρηξη των πετρωμάτων του ταμιευτήρα. Αρχικά, η διαδικασία ξεκινά με την εισαγωγή μέσα στη γεώτρηση υγρών διαλύματων, με αποτέλεσμα η πίεση εντός του ταμιευτήρα να ανέρχεται σε υψηλά επίπεδα προκαλώντας την αναμενόμενη διάρρηξη των πετρωμάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ρευστά που γεμίζουν τον ταμιευτήρα περιέχουν χημικά πρόσθετα αυξάνοντας τη διάβρωση των σχηματισμών αλλά και σωματίδια χαλαζία-άμμου με μοναδικό σκοπό τη διατήρηση των ανοιγμάτων της διάρρηξης. Στη συνέχεια, έπειτα από τη θραύση των πετρωμάτων προκαλείται ραγδαία πτώση της πίεσης, με αποτέλεσμα τη φυσική άνοδο του φυσικού αερίου στην επιφάνεια.²⁴

Αναλυτικότερα, η τεχνική της υδραυλικής διάρρηξης (fracking) διεξάγεται επειδή το φυσικό αέριο δεν είναι αποθηκευμένο σε ένα χώρο του ταμιευτήρα αλλά εντοπίζεται παγιδευμένο στους πόρους των ιζημάτων. Επομένως, στόχος της υδραυλικής διάρρηξης αποτελεί η συλλογή του σε ένα οριζόντιο χώρο μέσα στον ταμιευτήρα. Έτσι, η εισαγωγή νερού με διάφορα χημικά προκαλεί την αύξηση της πίεσης και ακολούθως τη δημιουργία μικρο-ρωγμών.³

3.2 Διάρρηξη με χρήση εκρηκτικών

Μία από τις παλαιότερες μεθόδους αύξησης της απόδοσης της παραγωγής υδρογονανθράκων αποτελεί η χρήση εκρηκτικών υλών. Η τεχνική αυτή χαρακτηριζόταν από μεγάλη αποτελεσματικότητα αλλά και από υψηλό κίνδυνο. Η μέθοδος είχε ως αποτέλεσμα την πυροδότηση ενός κυλίνδρου από κασσίτερο που ήταν γεμισμένος με νιτρογλυκερίνη. Τα μειονεκτήματα όμως αυτής της τεχνικής ήταν σημαντικά, καθώς με τη ισχυρή έκρηξη δημιουργόντουσαν καθιζήσεις και βλάβες στη γεώτρηση και σε συνδιασμό με τον κίνδυνο τραυματισμού κάποιου εργαζόμενου αποφασίστηκε η χρήση άλλων τεχνικών διάρρηξης. Έπειτα, με την πάροδο του χρόνου η πυρηνική τεχνολογία αντικατέστησε την προηγούμενη εκρηκτική μέθοδο με εξίσου αποδοτικά αποτελέσματα...²⁵

3.3 Άλλοι μέθοδοι διάρρηξης

Παράλληλα, οι γεωεπιστήμονες ανακάλυψαν μια νέα τεχνική διάρρηξης χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια. Συγκεκριμένα, η τεχνική στηρίζεται στη συνεχή δημιουργία μηχανικών φορτίων μέσα στα πετρώματα, μέχρι να προκληθεί η θραύση τους. Έπειτα, νέες θεωρίες προκάλεσαν την ανακάλυψη της θερμικής (κρυογονικής) διάρρηξης. Η λειτουργία της είχε εξίσου ωφέλιμα αποτελέσματα, πετυχαίνοντας μεγάλη αύξηση στην τιμή της διαπερατότητας. Αναλυτικότερα, η εισαγωγή ενός υγρού διαλύματος πολύ χαμηλής θερμοκρασίας από τη θερμοκρασία του ταμιευτηρά είχε ως συνέπεια την συστολή των πετρωμάτων δημιουργώντας ρωγμές στα περιβάλλοντα πετρώματα. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η εφαρμογή όλων των μεθόδων διάρρηξης αποσκοπεί στον ιδιαίτερο ρόλο του γεωεπιστήμονα να αυξήσει την παραγωγή μειώνοντας τα κόστη της γεώτρησης.²⁵

3.4 Προσομοίωση ταμιευτήρα

Ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο που διευκολύνει σημαντικά το έργο των γεωεπιστημόνων αποτελεί η προσομοίωση ταμιευτήρα. Σύμφωνα με αυτήν, η ομάδα των γεωλόγων και των μηχανικών ταμιευτήρα αποκτούν τη δυνατότητα να κατανοήσουν τον τρόπο αποληψιμότητας του κοιτάσματος των υδρογονανθράκων με τον καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Γενικά, τα τεχνολογικά επιτεύγματα της σύγχρονης εποχής συνετέλεσαν στη δημιουργία εξελιγμένων προγραμμάτων, τα οποία εισάγοντας δεδομένα από μετρήσεις του ταμιευτήρα, τα οπτικοποιεί. Έπειτα, το πρόγραμμα είναι δυνατό να πραγματοποιεί αυτομάτως υπολογισμούς και να αποδίδει το ποσοστό παραγωγής σε κάθε χρονική στιγμή. Επομένως, το πρόγραμμα προσομοίωσης λειτουργεί ως μέσο αναπαράστασης του υπεδάφους αποδίδοντας δεδομένα για την απόδοση του ταμιευτήρα. Έτσι, οι γεωεπιστήμονες διαθέτουν όλα τα μέσα με σκοπό στη συνέχεια να διαχειριστούν με ποικίλες προσεγγίσεις τη παραγωγική διαδικασία φέροντας μάλιστα κερδοφόρο αποτέλεσμα για την εταιρεία.¹⁶

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Η ΛΕΚΑΝΗ ΕΚΒΟΛΗΣ ΤΟΥ PEARL RIVER

Το έτος 1980 στην περιοχή του Pearl River της ανατολικής Ασίας ξεκίνησε η έρευνα υδρογονανθράκων, που εξελίχθηκε σε μία από τις μεγαλύτερες ανακαλύψεις στην ιστορία της έρευνας υδρογονανθράκων. Συγκεκριμένα, ανακαλύφθηκε κοιτάσμα υδρογονανθράκων στη λεκάνη εκβολής του ποταμού Pearl River. Το ποτάμι αυτό βρίσκεται στο βόρειο άκρο της Νότιας Σινικής θάλασσας καθώς και μεταξύ των νησιών Ταϊβάν και Χαϊνάν. Έτσι, γίνεται αντιληπτό το γεγονός ότι το κοιτάσμα δέχτηκε την ειδική διαχείριση της υπεράκτιας έρευνας, όπως και των υπόλοιπων σταδίων μέχρι την παραγωγή του. Ακόμη, αξίζει να σημειωθεί ότι ανακαλύφθηκαν δύο σημαντικά κοιτάσματα υδρογονανθράκων, όπου η περιοχή εύρεσης τους εξέπληξε το μεγαλύτερο μέρος των επιστημόνων. Κατά συνέπεια, το παρόν κοιτάσμα να θεωρηθεί ως ένα ξεχωριστό παράδειγμα σχηματισμού υδρογονανθράκων για μελλοντικές ανακαλύψεις.¹

Μέχρι την δεκαετία του 1980 η Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας είχε μεγάλη εμπειρία στην έρευνα και παραγωγή πετρελαίου αλλά εκείνη τη χρονική στιγμή έπρεπε να εξετάσει την περίπτωση κατασκευής μιας υπεράκτιας εξέδρας με σκοπό να δημιουργηθούν οι εγκαταστάσεις της βιομηχανίας πετρελαίου. Το ενδιαφέρον το εταιρειών ήταν μεγάλο και αυτό το αποδεικνύει η συμμετοχή σαράντα εταιρειών στη διεξαγωγή γεωφυσικών ερευνών που κάλυψαν μια έκταση των 240.000 km². Πράγματι, κατά μήκος της Νότιας Σινικής θάλασσας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις 2D σεισμικών, μαγνητικών και βαρυτικών δεδομένων όπου ξεπερνούσαν σε μέγεθος τα 60.000 km. Τέλος, η Κίνα με βάση την διεξαγωγή του διαγωνισμού για την πολυπόθητη άδεια πραγματοποίησε επτά δειγματοληπτικές γεωτρήσεις. Επίσης, γεωτρήσεις δημιουργήθηκαν σε πολλές περιοχές όπως βόρεια του νησιού Χαϊνάν, στα ύδατα της Ταϊβάν αλλά και μία ριχότερη δημιουργήθηκε σε ένα μικρό σύμπλεγμα από κοραλλιογενείς ατόλλες γνωστό ως νησιά Παρασέλ.¹

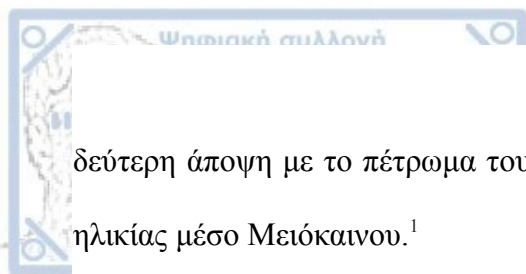
Πίσω στο χρόνο κατά τη διάρκεια του Κρητιδικού με αρχές Παλαιόκαινου η δράση εφελκυστικής τεκτονικής πιστεύεται ότι οδήγησε στη δημιουργία ενός χαρακτηριστικού συστήματος ρηγμάτων με σημαντική ανύψωση της μιας πλευράς του και την αντίθετη κίνηση του άλλου. Έτσι, δημιουργήθηκαν οι συνθήκες σχηματισμού τριών υπολεκανών, οι οποίες αποτελούν τη Νότια Σινική θάλασσα της Κίνας. Ακόμη, παρατηρήθηκε ότι οι υπολεκάνες της Νότιας Σινικής θάλασσας στα τέλη του Ολιγόκαινου και αρχές Ολόκαινου υπέστησαν θερμική καθίζηση. Αρχικά, το πέτρωμα βάσης της λέκανης αποτελείται από γρανίτες Μεσοζωικού και από μεταμορφωμένα πετρώματα, ενώ το βασικό υλικό που την αποτελεί είναι κλαστικά υλικά. Περαιτέρω μελέτες για την κατανόηση του περιβάλλον απόθεσης και της ταυτοποίησης του λιθολογικού χαρακτήρα του κάθε στρώματος προήλθαν με την ανάλυση των δειγμάτων από τις πυρηνοληπτικές γεωτρήσεις. Τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων έφεραν στοιχεία ύπαρξης αργού πετρελαίου μέσα σε ψαμμιτικό ταμιευτήρα λιμναίας πρόελευσης.¹

Τελικά, η αδειοδότηση για το πρώτο στάδιο της έρευνας διάρκειας δύο χρόνων (1983-1985) δόθηκε στην εταιρεία BP όπου πραγματοποίησε γεωτρήση στο στρωματογραφικό σχηματισμό Enping της λεκάνης. Ο κύριος στόχος της μαζί με τις υπόλοιπες γεωτρήσεις ήταν ο εντοπισμός της αντικλινική δομής που δημιουργήθηκε σύμφωνα με τη συμπιεστική τεκτονική που συντελέστηκε στο τέλος του Τριτογενούς μετά από τις εφελκυστικές δυνάμεις του Κρητιδικού. Τα δείγματα της γεώτρησης έφεραν ενδείξεις πετρελαίου αλλά και σημαντικού πάχους συγκολλημένου ανθρακικού πετρώματος. Συγκεκριμένα, ο τύπος του ανθρακικού αυτού πετρώματος χαρακτηρίστηκε ισοτοπικά από ελαφρύ άνθρακα ως αποτέλεσμα της συσσώρευσης οργανικής ύλης είτε εξαιτίας της οξείδωσης του πετρελαίου. Κατά συνέπεια έγινε αντιληπτό ότι το παρόν κοίτασμα μπορεί να διέφυγε από τον ταμιευτήρα κατά τη διάρκεια του Μειόκαινου. Στη συνέχεια, ο αριθμός των κοινοπραξιών για την άδεια του δεύτερου μέρους των εργασιών έρευνας ήταν αρκετά απογοητευτικός με βάση την

παραχώρηση της πρώτης άδειας. Ο λόγος του μικρού ενδιαφέροντος στηρίχθηκε στην ατελέσφορη προσπάθεια του εντοπισμού πετρελαίου. Έτσι, κατά την δεύτερη προσπάθεια οι γεωεπιστήμονες προσπάθησαν να εντοπίσουν το πετρέλαιο και το μητρικό του πέτρωμα. Μια προσπάθεια ιδιαίτερα δύσκολη καθώς παρόμοια παραδείγματα λιμναίου περιβάλλοντος το κοίτασμα εντοπίστηκε είκοσι χιλιόμετρα από το χώρο δημιουργίας του.¹

Γενικά, το περιβάλλον της λεκάνης του Pearl River είναι άφθονη σε άμμο και ψαμμίτες λιμναίας πρόελευσης. Σύμφωνα, με τα δεδομένα των γεωτρήσεων η λιμναία πηγή πετρώματος του πετρελαίου δεν χαρακτηρίζεται από μεγάλο όγκο και η παραγωγή πετρελαίου προβλέπεται να κυμαίνεται σε μικρά επίπεδα. Ακόμη, ένα αρνητικό στοιχείο της παρουσίας της άμμου είναι η ημιτελής παρουσία της σφραγίδας πετρελαίου με αποτέλεσμα η ματανάστευση του να αποτελεί το κύριο πρόβλημα στην έρευνα του.¹

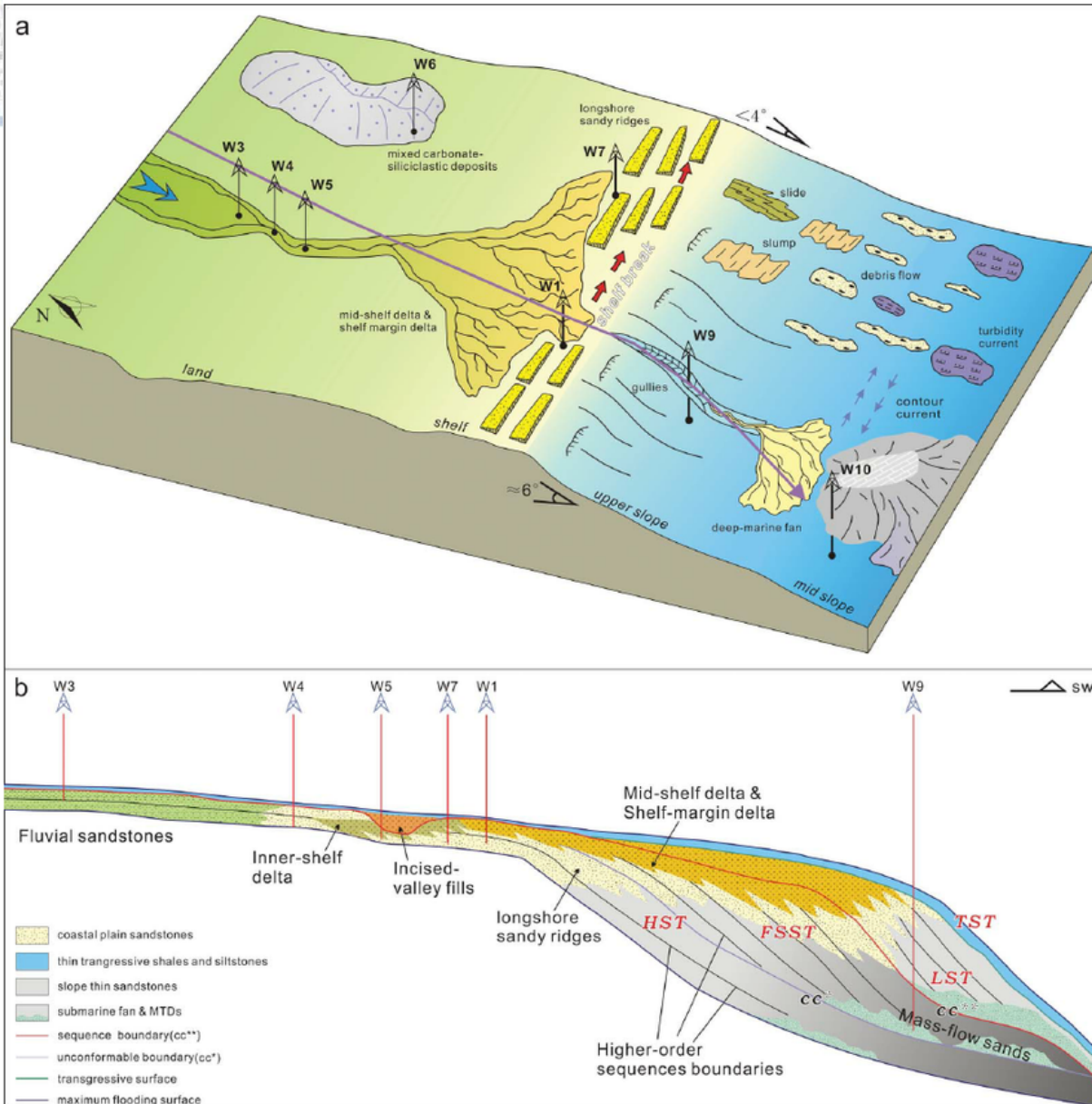
Η ανακάλυψη του τρέχοντος κοιτάσματος υδρογονανθράκων προήλθε από τη συνεργασία τριών εταιρειών Agip, Chevron, και Texaco τον Ιανουάριο του 1985. Μάλιστα, η γεώτρηση που εντόπισε τον ταμιευτήρα πετρελαίου βρισκόταν δέκα χιλιόμετρα νότια του νοτιότερου άκρου της πόλης Huizhou, δηλαδή πολύ μακριά από την πιθανή γνώμη πολλών γεωεπιστημόνων. Αναμφίβολα, οι γνώμες πολλών εταιρειών πριν την ανακάλυψη του κοιτάσματος διέφεραν για την ακριβή θέση του. Από τη μία πλευρά υπήρξε η άποψη ότι ο ταμιευτήρας θα βρισκόταν κάτω από μια αντικλινική δομή παρόλο το γεγονός ότι το πέτρωμα κάλυμμα ήταν ημιτελές. Την αντίθεση τους σε αυτήν τη γνώμη εξέφρασαν αρκετές εταιρείες. Μία από αυτές ήταν και η Amoco, η οποία αν και δεν είχε συμμετάσχει στην έρευνα της περιοχής είχε δηλώσει τις ανηχυσίες της για την παραπάνω άποψη. Μάλιστα, υποστήριζε έντονα την αδυναμία του συγκεκριμένου πετρώματος-κάλυμμα να συγκρατήσει το πετρέλαιο εντός του ταμιευτήρα. Επίσης, οι γεωλόγοι της Amoco θεωρούσαν ότι η επικρατέστερη τοποθεσία του κοιτάσματος ήταν σε περιοχή καλύτερης ανάπτυξης καλύμματος ανεξάρτητα της ποιότητας του ταμιευτήρα. Επομένως, σύμφωνα με την ανακάλυψη αποδείχθηκε σωστή η



δεύτερη άποψη με το πέτρωμα του ταμιευτήρα να χαρακτηρίζεται από ψαμμίτη με κάλλυμα ηλικίας μέσο Μειόκαινου.¹

Τελικά, έπειτα από διαπραγματεύσεις η εταιρεία Amoco κέρδισε την άδεια για την σύμβαση της περιοχής αλλά δεν ήταν η μόνη εταιρεία, καθώς οι διαδικασίες τις χαρτογράφησης και ο προδιορισμός του λιθολογικού τύπου των πυρηνοληπτικών δειγμάτων συντελέστηκαν κάτω από τη συνεργασία πολλών εταιρειών. Η διαπίστωση ότι το κοιτάσμα υδρογονανθράκων ήταν υψηλού κινδύνου ήταν γεγονός αλλά το ρίσκο μειώθηκε ύστερα από την ανακάλυψη του. Τέλος, η Amoco ξεκίνησε την έρευνα εφαρμόζοντας σεισμικές μεθόδους και αναλύσεις συνέχειας με σκοπό την χαρτογράφηση του ταμιευτήρα, με αποκορύφωμα την τελική του παραγωγή το 1996.¹

Το καλοκαίρι του 2006 εντοπίστηκε ένα από τα μεγαλύτερα κοιτάσματα φυσικού αερίου, όπου από τις διαστάσεις των αποθεμάτων διαπιστώνεται το δυναμικό του κοιτάσματος. Αναφορικά, το κοιτάσμα του αερίου υπολογίστηκε σε εκατοντάδες εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Γενικά, αξίζει να σημειωθεί ότι η πολυπλοκότητα εύρεσης του κοιτάσματος οφείλεται στην κίνηση των τεκτονικών πλακών της Ευρασίας, του Ειρηνικού και της Ινδίας, δημιουργώντας μια εκτεταμένη τεκτονική δραστηριότητα.²²



Εικόνα 5. α) Σχηματική αναπαράσταση του Pearl River Mouth Basin. β) Γεωλογική τομή.²³

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Έχει γίνει ήδη κατανοητό από την παρούσα εργασία το γεγονός ότι ο ρόλος των γεωεπιστημόνων στο στάδιο της ανάπτυξης και παραγωγής είναι αρκετά ενεργός. Πράγματι, οι αναλύσεις των δειγμάτων και η ερμηνεία των δεδομένων βοηθούν στο σχεδιασμό της παραγωγής υδρογονανθράκων. Επίσης, η ειδίκευση του κάθε γεωεπιστήμονα και σε συνδυασμό με τα εργαλεία που εφαρμόζονται στα διάφορα στάδια εκμετάλλευσης ενός κοιτάσματος υδρογονανθράκων αποδίδουν χρήσιμα δεδομένα για τον ταμιευτήρα και τους υδρογονανθράκες, με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται μια εμπεριστατωμένη εκτίμηση των χαρακτηριστικών του κοιτάσματος. Παράλληλα, το πετρέλαιο εξακολουθεί να αποτελεί την πρώτη ενεργειακή πηγή με μοναδικό αναταγωνιστή του το φυσικό αέριο. Έτσι, γίνεται αντιληπτό ότι ο ρόλος των γεωεπιστημόνων είναι μείζονος σημασίας όχι μόνο για την παραγωγή των υδρογονανθράκων αλλά και για την παραγωγή ενέργειας, η οποία βελτιώνει σημαντικά το βιοτικό επίπεδο των ανθρώπων. Έπειτα, σημαντικό ρόλο στην εργασία των γεωεπιστημόνων κατέχουν τα εργαλεία που με τη σειρά τους παρέχουν ανάλογα με τον τρόπο λειτουργία τους ένα σύνολο δεδομένων για τις ιδιότητες του υπεδάφους. Στη συνέχεια, ο γεωεπιστήμονας σύμφωνα πάντα με τη δεδομένη εμπειρία και την ειδίκευση του πραγματοποιεί την ερμηνεία των αριθμητικών δεδομένων και των γραφημάτων με απώτερο σκοπό την κατανόηση της δομής, του λιθολογικού τύπου, της πίεσης του ταμιευτήρα. Αναμφίβολα, η τεχνολογία έχει βοηθήσει σημαντικά τη βιομηχανία πετρελαίου τόσο στην παραγωγή όσο και στην ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων. Επιπρόσθετα, στη μελέτη ενός κοιτάσματος υδρογονανθράκων οι περισσότερες πληροφορίες που θα πρέπει να αποκτηθούν βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της γης. Το δεδομένο αυτό δηλώνει την απαραίτητη παρουσία οργάνων και τεχνικών μέσων, καθώς άλλο μέσο προσέγγισης δεν ορίζεται. Έτσι, ειδικά διαμορφωμένα όργανα χρησιμοποιούνται για τη λήψη των υπεδάφινων δεδομένων. Επομένως, ανάλογα με την ειδίκευση ο γεωεπιστήμονας πρέπει να είναι ικανός

στην διαχείριση και ερμηνεία των εργαλείων, τα οποία θα του προσφέρουν μια κατανοητή εικόνα του υπεδάφους με σκοπό να πραγματοποιήσει τον πιο αποδοτικό σχεδιασμό της παραγωγικής διαδικασίας. Από την άλλη πλευρά, επιφανειακά δεδομένα απεικόνισης της περιοχής (χάρτες, δορυφορικές εικόνες) συντελούν στην εύρεση των ορίων δομής της παγίδας πετρελαίου. Γενικά, ο ρόλος των γεωεπιστημόνων και αναλυτικότερα του γεωλόγου, του γεωφυσικού, του μηχανικού πετρελαίου και του γεωχημικού στο στάδιο ανάπτυξης είναι ο υπολογισμός των διαστάσεων του κοιτάσματος και η εκτίμηση της ποιότητας του κοιτάσματος. Η πραγματοποίηση αυτών των στόχων στηρίζεται στα εργαλεία που εισάγονται στη γεώτρηση και στις γεωφυσικές μεθόδους που εκτελούνται από την επιφάνεια της γης. Αδιαμφισβήτητα, το κόστος εκτέλεσης των γεωφυσικών ερευνών, καθώς και των εργαλείων ορίζεται αρκετά υψηλό. Έτσι, στις υποχρεώσεις των γεωεπιστημόνων ώστε να μην παρερμηνευθεί κάποια πληροφορία συμπεριλαμβάνεται το πνεύμα της ομαδικότητας σε γεωεπιστημονικό επίπεδο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να επιτυγχάνεται όσο το δυνατό γίνεται η βέλτιστη ερμηνεία των δεδομένων σχεδιάζοντας στη συνέχεια μια αποδοτική παραγωγή υδρογονανθράκων. Τέλος, οι γεωεπιστήμονες με τη χρήση προγραμμάτων προσομοίωσης έχουν την δυνατότητα ευθείας παρατήρησης των συνθηκών του ταμιευτήρα. Επομένως, οι γεωεπιστήμονες σύμφωνα με το πρόγραμμα προσομοίωσης εφαρμόζουν τις πιο κατάλληλες μεθόδους παραγωγής με σκοπό να αυξήσουν το κέρδος της εταιρείας τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Gluyas, J., & Swarbrick, R. (2004). PETROLEUM GEOSCIENCE. UK: Blackwell Science Ltd. p. 10-51, 101-107.
2. Μιχαηλίδη, Κλ., Βαβελίδη, Μ., Φιλίππιδη, Αν. (2001). *Γενική Κοιτασματολογία*. Σημειώσεις μαθήματος. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα. Σελ.5. Ανάκληση από:
http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo534y/shmeiwseis/GENIKH_KOITASMATOLOGIA.pdf
3. Γεωργακόπουλος, Ανδρ. (2016). *Κοιτασματολογία Πετρελαίου*. Σημειώσεις μαθήματος. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα. Σελ. 32, 34, 36, 76, 265-281. Ανάκληση από:
http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo760e/shmeiwseis/KOITASMATOLOGIA_PETRELAIOY.pdf
4. Halliburton, A. D. (2001). Basic Petroleum Geology and Log Analysis. Halliburton Company. p. 48-56.
5. Mariita, N. O. (2007). *THE GRAVITY METHOD*. Presented at Short Course II on surface exploration for geothermal resources, Kenya. p. 2. Ανάκληση από:
<http://www.os.is/gogn/unu-gtp-sc/UNU-GTP-SC-05-18a.pdf>
6. Cassiani, St. (2007). *EXPLORATION TECHNOLOGY*. National Petroleum Council (NPC). p.10-11. Ανάκληση από: http://www.npc.org/study_topic_papers/21-ttg-explorationtech.pdf
7. Barringer, J., Gooding, J. (2011). *Offshore Environmental Management of Seismic and Other Geophysical Exploration Work*. National Petroleum Council (NPC). p. 10. Ανάκληση από: http://www.npc.org/prudent_development-topic_papers/2-9_env_management_of_seismic_and_geo_expl_paper.pdf
8. Alford, J., Blyth, M., Tollefsen, E., Crowe, J., Rodriguez-Herrera, A., Loreto, J., Mohammed, S., and Pistre, V. (2012). *Sonic Logging While Drilling—Shear Answers*.

- Oilfield*. Review 24, no. 2, p. 8. Ανάκληση από:
file:///C:/Users/alexa/Downloads/or2012spr01_sonic%20(2).pdf
9. Myers, G. D. (2007). Nuclear Logging, Chapter 3D in Volume V(A), Reservoir Engineering and Petrophysics, E.D. Holstein, Editor. p.V-250.
 10. Lysne, P. (1989). Investigation of neutron-porosity log uncertainties: Ocean Drilling Program Hole 642E. In Eldholm, O., Thiede, J., Taylor, E., et al., *Proc. ODP, Sci. Results*, 104: College Station, TX (Ocean Drilling Program), 973–977.
 11. Delhomme, J. P. (2007). The quest for permeability evaluation in wireline logging. In Chery, L. & Marsily, Gh., *Aquifer Systems Management: Darcy's Legacy in a World of Impending Water Shortage*, London: Taylor and Francis. p. 60-61.
 12. Sherborne, J. E. & Newton, W. M. (1942). Factors Influencing Electrical Resistivity of Drilling Fluids, New York: A.I.M.E.. p. 1.
 13. Noah, A. Z. (2014). Use Repeat Formation Tester for Determination of Some Reservoir Characteristics for Kareem Formation in Some Wells at Amal Field, Gulf of Suez Area, Egypt. *American Journal of Research Communication*. p. 160.
 14. Al-Saddique, M. A., Hamada, G. M. and Al-Awad, M. N. (2000). RECENT ADVANCES IN CORING AND CORE ANALYSIS TECHNOLOGY NEW TECHNIQUE TO IMPROVE RESERVOIR EVALUATION. *Engineering Journal of the University of Qatar*, Vol.13. p. 30-31.
 15. Ubani, C. E., Adeboye, Y. B. and Oriji, A. B. (2012). ADVANCES IN CORING AND CORE ANALYSIS FOR RESERVOIR FORMATION EVALUATION. *Petroleum & Coal*. 54 (1). p. 45-46.
 16. Taylor, Ion. (2009). METHODS OF EXPLORATION PRODUCTION OF PETROLEUM RESOURCES. In De Vivo, B., Grasemann, B. and Stuwe, K., *Geology-Volume V, ENCYCLOPEDIA OF LIFE SUPPORT SYSTEMS*, Oxford, United Kingdom: Eolss Publishers Co. Ltd. p. 109-110, 125-127.
 17. Ανάκληση από: <http://www.chemostrat.com/heavy-mineral-analysis/>

18. Ανάκληση από: <http://www.enernews.com/nota/304996/acuerdo-vaca-muerta-concesiones-a-petroleros-en-ganancias-contratistas-neuquen-sigue-conciliacion-acta>
19. Ανάκληση από: <http://www.geologyforinvestors.com/gravity-surveys/>
20. Ανάκληση από: <http://www.capefarewell.com/climate-science/the-science/seismic-profiling.html>
21. Ανάκληση από: <http://www.jlgsgeoservices.com/microzonation-petroleum.php>
22. Dongdong, D., Gongcheng, Zh., Shiguo, W., & Kai, Zh. (2009). Tectonic Evolution and Dynamics of Deepwater Area of Pearl River Mouth Basin, Northern South China Sea Article in Journal of Earth Science. *Journal of Earth Science*, Vol. 20, No. 1, p. 148.
23. Ανάκληση από:
https://www.researchgate.net/publication/277712933_Linking_shelf_delta_to_deep-marine_deposition_in_reservoir_dispersal_of_the_upper_Oligocene_strata_in_the_Baiyun_Sag_the_northern_South_China_Sea/figures?lo=1.
24. Healy, D. (2012). *Hydraulic Fracturing or 'Fracking': A Short Summary of Current Knowledge and Potential Environmental Impacts*. p. 4. Ανάκληση από:
https://www.epa.ie/pubs/reports/research/sss/UniAberdeen_FrackingReport.pdf
25. Gandossi, L. (2013). *An overview of hydraulic fracturing and other formation stimulation technologies for shale gas production*. Luxembourg: Joint Research Centre. p. 33, 37, 41.

