



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ – ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ  
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΦΙΛΙΠΠΟΣ Χ. ΣΑΡΧΩΣΗΣ

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ  
ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

-

HYDROCARBON DEPOSIT APPRAISAL PROCESS

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ  
2021





ΦΙΛΙΠΠΟΣ Χ. ΣΑΡΧΩΣΗΣ  
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5298

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΒΑΙΒΕΩΣΗΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΘΡΑΚΩΝ  
-  
HYDROCARBON DEPOSIT APPRAISAL PROCESS

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,  
Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας –  
Κοιτασματολογίας.

**Επιβλέπων**

Ανδρέας Γεωργακόπουλος, Καθηγητής



1. Εισαγωγή .....	5
2. Έρευνα – Exploration .....	7
2.1. Σεισμικές γραμμές (2D – 3D) .....	10
2.2. Γεωτρήσεις .....	15
2.3. Κόστος έρευνας .....	20
3. Επιβεβαίωση – Appraisal .....	20
3.1. Τοπογραφικοί - Υποεπιφανειακοί χάρτες – Ψηφιακά μοντέλα .....	22
3.2. Τμήματα ταμιευτήρα .....	25
3.3. Γεωτρήσεις επιβεβαίωσης .....	25
4. Υπολογισμός αποθεμάτων .....	26
Βιβλιογραφία .....	29

## 1. Εισαγωγή

Με τον όρο «Υδρογονάνθρακες» χαρακτηρίζουμε το αργό πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Και τα δύο αποτελούνται από άτομα άνθρακα με διαφορετική δομή. Το φυσικό αέριο αποτελείται από 1 έως 4 άνθρακες, ενώ από 4 και πάνω είναι το πετρέλαιο. Η βενζίνη για παράδειγμα έχει από 4 έως 12 άτομα άνθρακα, ενώ η κηροζίνη από 10 έως 14. Οι υδρογονάνθρακες αποτελούνται από τα στοιχεία υδρογόνο και άνθρακα αλλά μπορεί να περιέχουν και άλλα στοιχεία όπως οξυγόνο, θείο και άζωτο. (GadS., 2005)

Οι υδρογονάνθρακες έχουν οργανική και φυτική προέλευση. Από χημική άποψη τα οργανικά και χημικά συστατικά τους απαρτίζονται κυρίως από υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια, και λιγνίνη. Τα συστατικά αυτά μετά τον θάνατο του οργανισμού ή του φυτού, αποτέθηκαν σε μεγάλα βάθη, όπως πυθμένες λεκανών, και καλύφθηκαν κάτω από ιζήματα μεγάλου πάχους. Εκεί το πάχος των υπερκείμενων στρωμάτων αυξάνεται συνεχώς με τη πάροδο του χρόνου και έτσι η πίεση που ασκείται στο νεκρό οργανικό υλικό αυξάνεται δημιουργώντας τα μητρικά πετρώματα. Με την αύξηση αυτή της πίεσης, και κατά συνέπεια και της θερμοκρασίας, το οργανικό υλικό μετατρέπεται σε πετρέλαιο και φυσικό αέριο μέσα στο μητρικό πέτρωμα. Ανάλογα το οργανικό υλικό από το οποίο προέρχονται οι υδρογονάνθρακες, αλλάζουν οι φυσικές ιδιότητες του και η χημική του σύσταση. Το χρώμα του μπορεί εξίσου να ποικίλει, από διάφανο έως μαύρο, κόκκινο, καφέ, ήλεκτρο και να εμφανίζει ιριδίζοντα χρώματα με την έκθεση του στο φως του ηλίου.

Για τον σχηματισμό των υδρογονανθράκων πρέπει να πληρούνται 2 προϋποθέσεις. Πρώτα, η απόθεση της νεκρής οργανικής ύλης να γίνεται μέσα σε ιζηματογενείς λεκάνες μεγάλου πάχους ιζημάτων και η δεύτερη προϋπόθεση είναι η έλλειψη οξυγόνου από τον πυθμένα της λεκάνης και από την υδάτινη στήλη πάνω από τα ιζήματα. Η νεκρή οργανική ύλη που θάβεται και θα μετατραπεί σε πετρέλαιο, αποτελείται από δυο συστατικά, το κηρογόνο, μείγμα οργανικών χημικών ενώσεων και αδιάλυτο κλάσμα, και το βιτουμένιο, διαλυτό κλάσμα οργανικής ύλης.

Μετά τον θάνατο της ζωντανής οργανικής ύλης ακολουθεί η αποσύνθεση της, διάσπαση σε πρωτεΐνες και υδατάνθρακες και επανένωση των συστατικών για τη δημιουργία γεω-πολυμερών. Με ταυτόχρονη απόθεση ιζημάτων και οργανικών συστατικών, το βάρος των υπερκείμενων ιζημάτων αυξάνεται, έτσι με τη πάροδο του χρόνου γίνεται περαιτέρω απόθεση ιζημάτων και κατά συνέπεια αύξηση της πίεσης και

της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα τη δημιουργία κηρογόνου. Τα κοιτάσματα υδρογονανθράκων αρχίζουν από τη συσσώρευση κηρογόνου. Μέσα στο φλοιό της Γης το κηρογόνο θα θερμανθεί σε θερμοκρασίες 60 με 160°C για το πετρέλαιο (παράθυρο πετρελαίου) και από 150 με 200°C για το φυσικό αέριο (παράθυρο φυσικού αερίου). Το κηρογόνο μετατρέπεται σε υδρογονάνθρακες και συσσωρεύεται, μεταναστεύει και παγιδεύεται από γεωλογικές δομές, δημιουργώντας κοιτάσματα.

Αυτή την στιγμή οι υδρογονάνθρακες είναι η κυρία πηγή ενέργειας λόγω των πολλαπλών τους χρήσεων τους ως καύσιμα. Κάποια άλλα προϊόντα που προκύπτουν από την επεξεργασία των υδρογονανθράκων είναι βενζίνη, κηροζίνη, άσφαλτος και πίσσα, νάφθα, κερί παραφίνης και λιπαντικά λάδια. Σημαντικά είναι επίσης και τα υγραέρια όπως αιθυλένιο, βουτένιο, προπυλένιο, τα μας δίνουν προϊόντα όπως αιθυλενογλυκόλη (χρησιμοποιείται σαν πρώτη ύλη σε πολυεστερικά υφάσματα και ως αντιψυκτικό μηχανής), μονομερή για διάφορα πλαστικά και φαρμακευτικά προϊόντα. (GadS., 2005)

Με τον όρο «πόρος - resource» χαρακτηρίζονται οι ποσότητες των υδρογονανθράκων που είναι παγιδευμένες σε γεωλογικούς σχηματισμούς μιας περιοχής, ανακαλυφθέντες και μη ακόμα, όπως και αυτοί που έχουν ήδη τεθεί προς εκμετάλλευση. Οι πόροι χωρίζονται σε 2 κατηγορίες, αυτούς που έχουν ανακαλυφθεί (discovered) και αυτούς που δεν έχουν ανακαλυφθεί (undiscovered) ακόμα. Οι πόροι στη συνέχεια που έχουν ανακαλυφθεί, αν οι τεχνικές συνθήκες επιτρέπουν την εκμετάλλευσή τους, χαρακτηρίζονται τεχνικά απολήψιμοι πόροι (technically recoverable resources). Εδώ πρέπει να κριθεί το οικονομικό κομμάτι. Αν το κόστος για την εξόρυξη είναι πολύ υψηλό, χαρακτηρίζονται οικονομικά μη απολήψιμοι πόροι (economically unrecoverable resources), στην αντίθετη περίπτωση, οικονομικά απολήψιμοι πόροι (economically recoverable resources). Οι οικονομικά απολήψιμοι πόροι χαρακτηρίζονται και ως «αποθέματα - reserve». Τα αποθέματα με τη σειρά τους μπορούν να χαρακτηριστούν επιβεβαιωμένα (proved – 1P), επιβεβαιωμένα και πιθανά (proved plus probable – 2P) και τέλος επιβεβαιωμένα, πιθανά και εφικτά (proved plus probable plus possible – 3P). Τέλος, αν δεν το επιτρέπουν οι τεχνικές συνθήκες για εκμετάλλευσή, τότε χαρακτηρίζονται τεχνικά μη απολήψιμοι πόροι (technically unrecoverable resources).



Μέχρι να φτάσει το πετρέλαιο και τα προϊόντα του στον καταναλωτή, με χρονική σειρά ακολουθούν τα εξής στάδια:

1. Έρευνα – Exploration
2. Εκτίμηση πεδίου - Field appraisal
3. Ανάπτυξη πεδίου – Field development
4. Παραγωγή – Production
5. Εγκατάλειψη πεδίου – Field abandonment

Στη πετρελαϊκή βιομηχανία ο όρος «Upstream» χρησιμοποιείται για αναφορά στις διεργασίες της έρευνας και παραγωγής των υδρογονανθράκων. Η έρευνα των πιθανών κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου γίνεται με τη χρήση γεωφυσικών μεθόδων και όρυξη ερευνητικών γεωτρήσεων (exploratory well drilling) και η παραγωγή με τη λειτουργία των γεωτρήσεων αυτών οι οποίες θα φέρουν αργό πετρέλαιο και φυσικό αέριο.

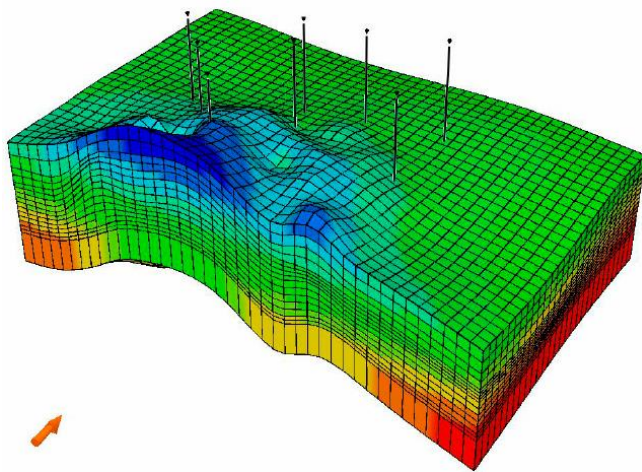
## ***2. Έρευνα – Exploration***

Κατά την έρευνα λαμβάνουμε υπόψιν το ενδεχόμενο ότι μπορεί να μην υπάρχει κοιτάσμα, άρα παίρνουμε ένα ρίσκο, το οποίο αποτελεί πιθανότητα για ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα. Αν δεν ευοδωθεί, συνεπάγεται μεγάλη απώλεια χρημάτων και χρόνου. Το ρίσκο αυτό δεν μπορεί να μηδενιστεί αλλά μπορεί να μειωθεί σημαντικά, με τη σωστή εκτίμηση των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί. Ο ρόλος του γεωλόγου σε αυτό το στάδιο είναι να εκτιμήσει το ποσοστό επιτυχίας εύρεσης απολήψιμων ποσοτήτων υδρογονανθράκων αλλά και η εκτίμηση των ίδιων των ποσοτήτων.

Οι συγκεντρώσεις των υδρογονανθράκων συνήθως εμφανίζονται στις ιζηματογενείς λεκάνες. Για την ύπαρξη συγκέντρωσης υδρογονανθράκων θα πρέπει να υπάρχει ένα μητρικό πέτρωμα πλούσιο σε άνθρακα οργανικής προέλευσης, επαρκής ποσότητα θερμότητας, ύπαρξη διόδων μετανάστευσης των υδρογονανθράκων από το μητρικό πέτρωμα στον ταμιευτήρα, κατάλληλο πορώδες πέτρωμα που θα φιλοξενήσει τους υδρογονάνθρακες, αδιαπέρατο πέτρωμα - κάλυμμα που θα αποτρέπει τη διαφυγή των υδρογονανθράκων και τέλος μια κλειστή δομή ταμιευτήρα – καλύμματος (παγίδα) έτσι ώστε να αποφευχθούν οι περεταίρω διαφυγές.

Μια εταιρία έρευνας θα έρθει σε διαπραγμάτευση με ένα κράτος ή άλλη εταιρία, που παρουσιάζουν ενδιαφέρον έρευνας για υδρογονάνθρακες σε μια περιοχή. Θα χορηγηθεί άδεια για έρευνα και εκμετάλλευση και έτσι θα δημιουργηθεί ένα πρόγραμμα με στόχο τη σύγκριση του μεγέθους του κοιτάσματος και του κόστους. Η χορήγηση άδειας για έρευνα και εκμετάλλευση, συνήθως γίνεται αφού συμφωνηθεί ένα ποσοστό αμοιβής, βάση της ποσότητας των υδρογονανθράκων που θα παραχθεί.

Η περιοχή προς έρευνα είναι το πρώτο στοιχείο που θα μελετηθεί, αρχίζοντας με την ανάγνωση υπαρχόντων χαρτών της περιοχής. Στη συνέχεια δημιουργούνται ψηφιακά μοντέλα της λεκάνης. Υπάρχουν δύο ειδών μοντέλα, τα γεωλογικά που δείχνουν τη θέση του ταμιευτήρα και δίνουν πληροφορίες για τα υποκείμενα πετρώματα, και τα μοντέλα προσομοίωσης ταμιευτήρα που δημιουργούνται με μεθόδους πεπερασμένων στοιχείων από μηχανικούς για να δείξουν την κίνηση των ρευστών στο στάδιο της παραγωγής. Θα γίνει μελέτη των ιζημάτων, υποκείμενων πετρωμάτων και τεκτονικών στοιχείων της περιοχής έτσι ώστε να γίνει γνωστός ο τρόπος δημιουργίας της λεκάνης καθώς και οι περιοχές οι οποίες μπορεί να φιλοξενούν υδρογονάνθρακες.



Εικόνα 2-1: Ψηφιακό μοντέλο ταμιευτήρα  
(Πηγή: <http://www.oil-gasportal.com/upstream/field-appraisal-phase/>)

Στόχος της φάσης Έρευνας – Exploration, είναι να εντοπίσει τη θέση πιθανού κοιτάσματος έτσι ώστε στην επόμενη φάση της επιβεβαίωσης - appraisal να γίνει μια ποσοτικοποίηση του μεγέθους του κοιτάσματος, έτσι ώστε να κριθεί αν η απόληψη του έχει οικονομικό όφελος, καθώς και των ρίσκων στο ενδεχόμενο της μη ύπαρξης κοιτάσματος. Ο συνδυασμός της γεωλογικής πληροφορίας και των ψηφιακών μοντέλων θα μας οδηγήσουν σε μια πιθανή ανακάλυψη συγκέντρωσης υδρογονανθράκων. Οι γεωλογικές υποθέσεις θα επιβεβαιωθούν από τα αποτελέσματα



ορύξεων ερευνητικών γεωτρήσεων. Αν δεν υπάρχει οικονομική αποδοτικότητα, τότε παύουν περαιτέρω οικονομικές επενδύσεις (Gluyas and Swarbrick, 2006).

Ο τόπος στον οποίο θα αναγνωριστεί η πιθανή συγκέντρωση υδρογονανθράκων θα πρέπει να είναι τεχνικά προσεγγίσιμος και να ικανοποιεί τις ανάγκες της αγοράς έτσι ώστε να υπάρχει σίγουρο οικονομικό όφελος από τις επενδύσεις. Παράλληλα, γίνονται οικονομικές προσφορές προς τον κάτοχο της περιοχής, που είναι συνήθως το Κράτος (Gluyas and Swarbrick, 2006).

Βάση των οικονομικών επενδύσεων αποτελεί η προοπτική τα κέρδη να είναι μεγαλύτερα από την επένδυση. Η έρευνα όμως για υδρογονάνθρακες βασίζεται στη λήψη αποφάσεων με αβεβαιότητα. Για τη λήψη αυτών των αποφάσεων χρησιμοποιείται η Αναμενόμενη Νομισματική Αξία (Expected Monetary Value – EMV). Έτσι έχουμε:

$$NPV \times POS > AEC \times (1 - POS)$$

- NPV (Net Present Value): οικονομικές απολαβές με την επιτυχή ολοκλήρωση του προγράμματος
- POS (Probability of Success): πιθανότητες επιτυχούς ολοκλήρωσης του προγράμματος
- AEC (Abortive Exploration Cost): απώλειες επενδύσεων σε περίπτωση εγκατάλειψης – αποτυχίας του προγράμματος
- 1 – POS (Probability of Failure): αντίθετα από το POS, είναι οι πιθανότητες αποτυχίας του προγράμματος

Μετά τη χορήγηση της άδειας έρευνας, ακολουθούν κάποιες συγκεκριμένες διαδικασίες οι οποίες είναι η ανάλυση των υπάρχοντων δεδομένων, η δημιουργία βάσης δεδομένων, ο προγραμματισμός χαρτογράφησης και η λήψη αεροφωτογραφιών, σεισμικές έρευνες και μετέπειτα η ανάλυση των δεδομένων αυτών, ο προγραμματισμός ερευνητικών γεωτρήσεων και τέλος η ανάλυση όλων των δεδομένων που έχουν συλλεχτεί για τη λήψη απόφασης προς εκμετάλλευση.

Οι πιο σημαντικές ερευνητικές τεχνικές που θα χρησιμοποιηθούν είναι η γεωλογική χαρτογράφηση, πετρογραφία, στρωματογραφία, ιζηματολογία, τεκτονική γεωλογία και γεωχημεία. Παράλληλα, θα χρησιμοποιηθούν και γεωφυσικές τεχνικές όπως: η

σταθμική ανάλυση, η μαγνητομετρική έρευνα και κυρίως η σεισμική έρευνα. Στη συνέχεια θα γίνει ανάλυση και αξιολόγηση των δεδομένων που έχουν συλλεχτεί, για τον εντοπισμό των κοιτασμάτων υδρογονανθράκων. Στο τελευταίο στάδιο όπου ξέρουμε πιθανές θέσεις παρουσίας υδρογονανθράκων γίνεται όρυξη ερευνητικών γεωτρήσεων, logging εντός των γεωτρήσεων, πυρηνοληψίες και ενδεχομένως δοκιμές παραγωγής γεωτρήσεων.

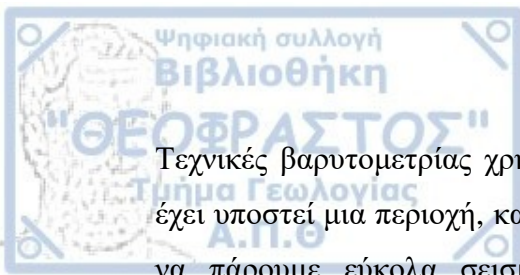
### **2.1. Σεισμικές γραμμές (2D – 3D)**

Η ερμηνεία των δεδομένων που συλλέγονται με γεωφυσικές μεθόδους έχει δυο στόχους, να δώσει μια εικόνα της δομής του υπεδάφους και της στρωματογραφίας της περιοχής. Για να λάβουμε μια πρώτη εικόνα της δομής μιας περιοχής χρησιμοποιούμε σεισμικές, βαρυτομετρικές, μαγνητικές, ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους καθώς και φωτογραφίες δορυφόρων. Τα δεδομένα που λαμβάνουμε μας δίνουν πληροφορίες για την εύρεση παγίδων, τον τύπο των πετρωμάτων, τους τεκτονικούς σχηματισμούς που εμφανίζονται, τις τοπικές συγκεντρώσεις ρευστών και των συνθηκών κάτω από τις οποίες σχηματίστηκαν. Επίσης με τις μεθόδους αυτές μειώνουμε το ρίσκο όρυξης στείρας γεώτρησης καθώς οι ορύξεις γίνονται στρατηγικά σε καλές θέσεις (Gluyas and Swarbrick, 2006).

Για να γίνει ερμηνεία των δεδομένων που λάβαμε από τις γεωφυσικές τεχνικές, θα πρέπει να συσχετιστούν με τους πυρήνες δειγματοληψίας, ώστε να έχουμε μια μεγαλύτερη κατανόηση της στρωματογραφίας για να δημιουργήσουμε ένα δομικό μοντέλο της υπό έρευνα περιοχής. Επίσης, σημαντικό είναι να τονιστεί πως τα δεδομένα που συλλέγονται αποτελούν ένα σημαντικό πλεονέκτημα για τις εταιρίες, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθούν για διαπραγματεύσεις με τον κάτοχο των δικαιωμάτων της περιοχής.

Οι εικόνες από δορυφόρους έχουν 2 μορφές:

- φασματικές εικόνες, που περιέχουν μήκη κύματος από υπεριώδη ακτινοβολία μέχρι μικροκύματα, αλλά δεν βρίσκουν μεγάλη χρήση στην έρευνα για συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων,
- και γεωμορφολογικές εικόνες οι οποίες μοιάζουν με τις αεροφωτογραφίες. Στα δεδομένα που λαμβάνουμε από δορυφόρους υπάρχουν παρεμβολές από την ατμόσφαιρα, υδρόσφαιρα, βιόσφαιρα και το έδαφος.



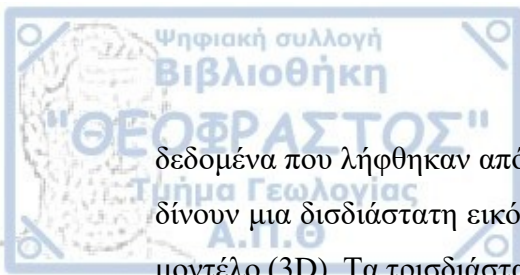
Τεχνικές βαρυτομετρίας χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση της τεκτονικής που έχει υποστεί μια περιοχή, και είναι ιδιαίτερα χρήσιμες σε περιοχές που δεν μπορούμε να πάρουμε εύκολα σεισμικά δεδομένα. Παρόλο που έχουν χαμηλό κόστος, εμφανίζουν πιο χαμηλή ποιότητα στην ανάλυση από τα σεισμικά δεδομένα, η ερμηνεία τους δεν είναι πάντα εύκολη και μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα αποτελέσματα, καθώς το σήμα που λαμβάνεται αποτελεί το σύνολο όλων των πετρωμάτων της περιοχής και δεν είναι εύκολο να διακρίνουμε το αίτιο που προκάλεσε την ανωμαλία. Για τη διευκρίνιση της ανωμαλίας θα πρέπει να γίνει συνδυασμός των μαγνητικών ή σεισμικών δεδομένων με τα βαρυτικά δεδομένα. Η συλλογή τους μπορεί να γίνει σε στεριά, όπου υπάρχει μεγάλη ανάλυση και ακρίβεια, στη θάλασσα και στον αέρα όπου δεν έχουμε τόσο μεγάλη ανάλυση αλλά η συλλογή γίνεται πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη κάλυψη.

Τα δεδομένα που συλλέγονται από τη βαρυτομετρία δεν είναι άμεσα αξιοποιήσιμα καθώς θα πρέπει να υποστούν διορθώσεις, πριν ερμηνευτούν, όπως:

- ισοστατική διόρθωση,
- διόρθωση ελεύθερου αέρα,
- διόρθωση Bouguer,
- διόρθωση γεωγραφικού πλάτους,
- διαφορές θερμοκρασίας και
- φαινομένων παλίρροιας.

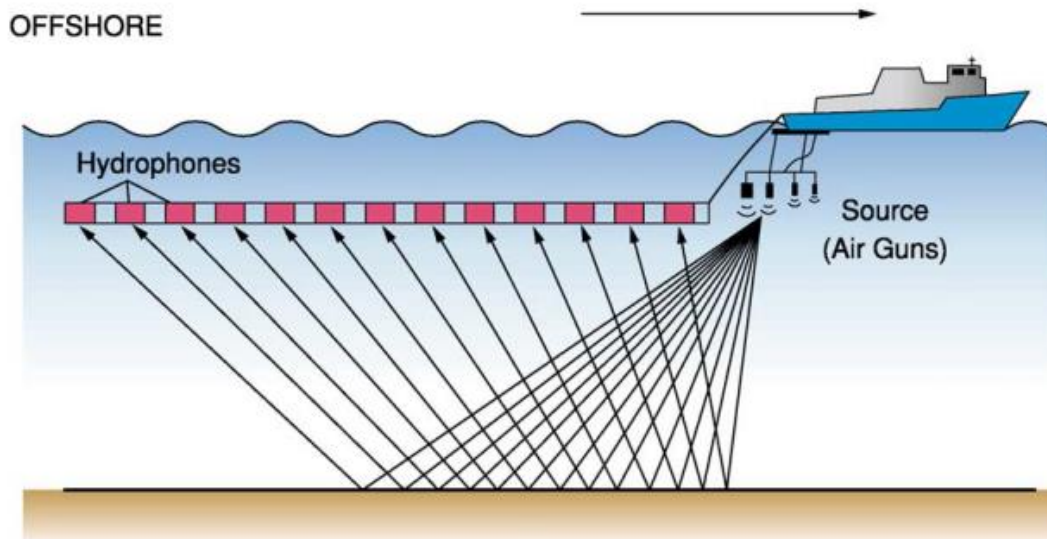
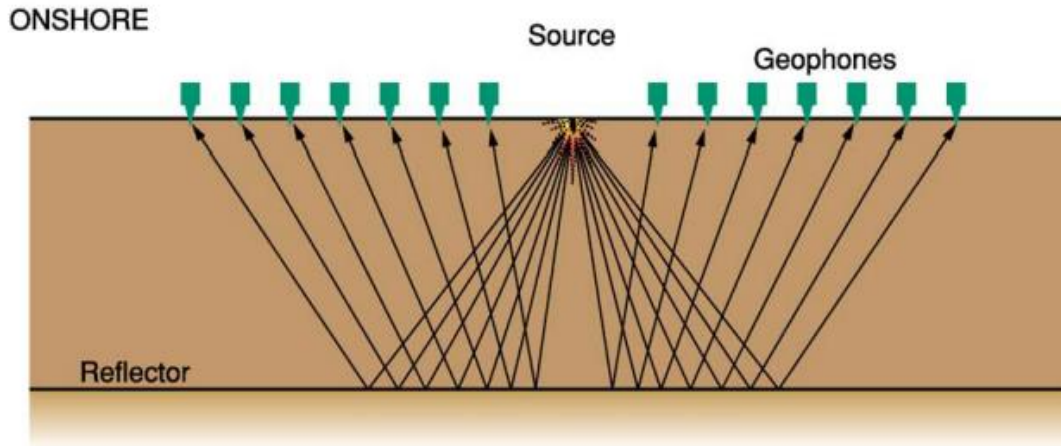
Αφού γίνουν όλες οι απαραίτητες διορθώσεις, τα δεδομένα αποτυπώνονται σε ισοβαρείς χάρτες. Κατά τη διαδικασία έρευνας για συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων, γίνεται αναζήτηση μεγάλων βαρυτικών ανωμαλιών που να έχουν οικονομικό ενδιαφέρον, καθώς το μέγεθος, το σχήμα και ο προσανατολισμός των ανωμαλιών συμπίπτει με αυτούς των παγίδων υδρογονανθράκων.

Τα σεισμικά δεδομένα θα δώσουν μία λεπτομερή εικόνα του υποβάθρου, από την οποία μπορεί αν γίνει αναγνώριση των διόδων μετανάστευσης των υδρογονανθράκων μέσα στο σύστημα μητρικό – ταμιευτήρας καθώς και η περιγραφή της δομής παγίδευσης (σχήμα, όγκος, έκταση). Οι σεισμικές εικόνες προκύπτουν από ενεργειακά κύματα που γεννήθηκαν από μία πηγή, ταξίδεψαν μια απόσταση και συλλέχθηκαν ξανά αφού ανακλάστηκαν από διάφορα στρώματα, δίνοντας μία εικόνα του υπεδάφους. Τα



δεδομένα που λήφθηκαν από την παράκτια και την υπαίθρια σεισμική χαρτογράφηση, δίνουν μια δισδιάστατη εικόνα (2D), και συνήθως συνδυάζονται με ένα τρισδιάστατο μοντέλο (3D). Τα τρισδιάστατα μοντέλα μας παρέχουν περισσότερες πληροφορίες από ένα δισδιάστατο μοντέλο. Δημιουργούνται με τη τοποθέτηση των ανιχνευτών σε παράλληλες και κάθετες μεταξύ τους γραμμές σε ίση απόσταση, δημιουργώντας έτσι ένα κάναβο. Τα τρισδιάστατα μοντέλα δημιουργούνται από έναν υπολογιστή με την τοποθέτηση των συγκεντρώσεων υδρογονανθράκων σε συγκεκριμένες θέσεις  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , στην περιοχή υπό έρευνα. Ο υπολογιστής δίνει τη δυνατότητα, περιστροφής και μετακίνησης, του ψηφιακού μοντέλου που έχει δημιουργηθεί, προς όποια κατεύθυνση είναι επιθυμητή. Είναι προφανές ότι αυτό διευκολύνει τη μελέτη τη περιοχής σημαντικά, σε σχέση με άλλες μεθόδους. Συνήθως τρισδιάστατες (3D) έρευνες γίνονται πριν τις ερευνητικές γεωτρήσεις καθώς έχουν μικρότερο κόστος.

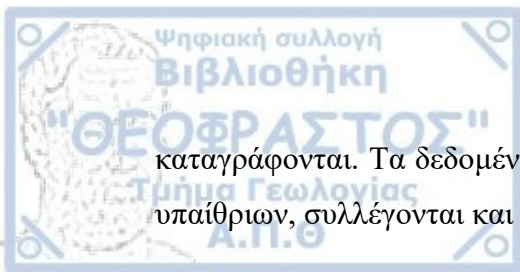
Η υπαίθρια σεισμική χαρτογράφηση γίνεται με εκρηκτικά ή ειδικές διατάξεις που ονομάζονται Vibroseis ή Vibrators. Ο δυναμίτης τοποθετείται σε μικρής διαμέτρου τρύπες στο έδαφος και εκρήγνυται δημιουργώντας σεισμικά κύματα. Το Vibroseis από την άλλη είναι ένα όχημα το οποίο φέρει μία μεταλλική πλάκα, στο κάτω μέρος του οχήματος, η οποία ακουμπά το έδαφος και παράγει τεχνητές δονήσεις. Το τεχνητό κύμα που παράγεται θα διασχίσει τα στρώματα της περιοχής σε μια συγκεκριμένη πορεία. Η καταγραφή αποτυπώνει τις διαφορές στα πετρώματα μέσα από τα οποία τα κύματα διαδίδονται. Όταν το κύμα αυτό φτάσει στην επαφή δύο σχηματισμών, μπορεί να ανακλαστεί και να επιστρέψει στην επιφάνεια, ή να διαθλαστεί και να συνεχίσει να διαδίδεται μέσα στον επόμενο σχηματισμό. Τα κύματα που ανακλώνται και επιστέφουν στην επιφάνεια θα καταγραφούν από όργανα μετρήσεων που ονομάζονται γεώφωνα.



(B)

Εικόνα 2- : Απεικόνιση λήψης σεισμικών δεδομένων. (A) Υπαίθρια σεισμική έρευνα, (B) Παράκτια σεισμική έρευνα  
Πηγή: PETROLEUM GEOLOGY / Exploration - J R Parker

Η παράκτια σεισμική χαρτογράφηση γίνεται με την χρήση πλοίων τα οποία σέρνουν καλώδια στην επιφάνεια της θάλασσας. Ειδικά αεροβόλα (Airguns) προκαλούν σεισμικά κύματα τα όποια διαδίδονται μέσα στη θάλασσα και τους γεωλογικούς σχηματισμούς. Οι παλμοί που επιστρέφουν καταγράφονται από υδρόφωνα που βρίσκονται μέσα στα καλώδια και τα δεδομένα αυτά πηγαίνουν στο πλοίο όπου



καταγράφονται. Τα δεδομένα έχουν ψηφιακή μορφή, αντίθετα με την αναλογική των υπαίθριων, συλλέγονται και επεξεργάζονται σε υπολογιστές.

Σε περιοχές που δεν έχει γίνει έρευνα και δεν υπάρχουν δεδομένα, η πρώτη ενέργεια είναι η δισδιάστατη (2D) σεισμική έρευνα, καθώς έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να καλύψει μεγάλη έκταση και έχει μικρό κόστος. Αντίθετα, μπορεί να εμφανίζονται επαφές στρωμάτων μακριά από την γραμμή τοποθέτησης των ανιχνευτών λόγω της ανάκλασης των κυμάτων, καθώς και η απόκρυψη ρηγμάτων μεταξύ των ανιχνευτών. Τη λύση αυτών των προβλημάτων έρχεται να δώσει η τρισδιάστατη σεισμική έρευνα καθώς χρησιμοποιούνται πολλές πηγές ήχου και ανιχνευτές.

Μία σύγχρονη τεχνική είναι η λήψη δεδομένων για τρισδιάστατα μοντέλα σε τακτά χρονικά διαστήματα. Αυτό ονομάζεται 4D ή time-lapse καθώς ο χρόνος θεωρείται ως η τέταρτη διάσταση. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι μπορούμε να αναγνωρίσουμε τις αλλαγές στις επαφές των ρευστών μέσα στον χρόνο που λήφθηκαν τα δεδομένα καθώς και να γίνει συνδυασμός των δεδομένων από τις γεωτρήσεις για μεγαλύτερη ακρίβεια στην έρευνα αλλά και στην παρακολούθηση στο στάδιο της παραγωγής.

Η τεχνολογία έχει συνεισφέρει σημαντικά στην καλύτερη ερμηνεία των δεδομένων που συλλέγονται, παρόλα αυτά υφίστανται και κάποιοι σημαντικοί περιορισμοί που πρέπει να έχουμε κατά νου. Αρχικά η ευκρίνεια, καθώς τα δεδομένα που συλλέγονται έχουν συνήθως χαμηλή ανάλυση, ακόμα και τα τρισδιάστατα μοντέλα με υψηλή ευκρίνεια περιορίζουν την ανάλυση σε ακτίνα 10 μέτρων. Φαινόμενα συντονισμού από κύματα ίδιας φάσης, που προήλθαν από δύο ξεχωριστούς ανακλαστήρες, ενισχύονται και θα εμφανιστούν σαν ένα κύμα. Φαινόμενα ανάκλασης, μπορούν να προκύψουν από ισχυρές ανακλαστικές επιφάνειες και να αποτυπωθούν σε όλα τα δεδομένα. Τέλος, σημειώνονται και οι αυξομειώσεις της ταχύτητας, που προκύπτουν από έμμεσες εναλλαγές στη ταχύτητα των σεισμικών κυμάτων.

Τα δεδομένα από τις γεωφυσικές καταγραφές (logs) εντός των γεωτρήσεων καθώς και οι πυρήνες ('καρότα') θα συγκριθούν για να αναγνωριστούν πιθανά λάθη στο μοντέλο καθώς και πιθανά σημεία που μπορεί να εντοπίζεται συγκέντρωση υδρογονανθράκων.

## 2.2.Γεωτρήσεις

Μετά τις διαδικασίες των σεισμικών ερευνών, το εργαλείο που θα μας βοηθήσει να επιβεβαιώσουμε τις υποθέσεις μας, είναι οι ερευνητικές γεωτρήσεις. Μέσω αυτών θα έχουμε ξεκάθαρη εικόνα ύπαρξης ή μη συγκέντρωσης υδρογονανθράκων. Οι ερευνητικές γεωτρήσεις θα δώσουν πληροφορίες για την ύπαρξη των υδρογονανθράκων καθώς και την έκτασή τους, θα βοηθήσουν στον σχεδιασμό και την οργάνωση της παραγωγής και τέλος θα βοηθήσουν στο να κρίνουμε αν θα χρειαστούν επιπλέον έρευνες στη περιοχή. Οι γεωτρήσεις είναι μια σειρά από διαδικασίες κατά τις οποίες γίνεται διάτρηση των γεωλογικών σχηματισμών κάθετα σε κυκλική τομή. Οι πυρήνες που λαμβάνονται βοηθούν στον καθορισμό της γεωλογικής ιστορίας της περιοχής καθώς και των χαρακτηριστικών του ταμιευτήρα. Η νέα τεχνολογία που χρησιμοποιείται βοηθά στην προστασία και διατήρηση του περιβάλλοντος καθώς οι νέες γεωτρήσεις μπορούν να γίνουν κάθετα, οριζόντια ή πλάγια μειώνοντας την ανάγκη όρυξης περισσότερων γεωτρήσεων με συνακόλουθη μείωση του κόστους.

Στην πετρελαϊκή βιομηχανία το πιο συνηθισμένο είδος διάτρησης είναι η περιστροφική. Η διάτρηση ξεκινά με μεγάλη διάμετρο και καθώς αυξάνεται το βάθος η διάμετρος μικραίνει. Στη γεώτρηση θα πρέπει να ξεπεράσουμε την αντοχή των ανώτερων σχηματισμών δημιουργώντας θρύμματα (Cuttings) τα οποία απομακρύνονται καθώς συνεχίζει η διάτρηση. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση διατρητικού πολφού ο οποίος αποτελεί ένα μείγμα νερού και μπεντονίτη και κατεβαίνει μέσα από τη διατρητική στήλη κατά τη γεώτρηση. Όταν βγει από τη στήλη κα ξεκινήσει να ανεβαίνει προς την επιφάνεια, εξασφαλίζει τη διατήρηση - σταθερότητα των τοιχωμάτων της γεώτρησης και την απομάκρυνση των κορημάτων που από τους διατηρηθέντες σχηματισμούς.

Η περιστροφική διάτρηση είναι μια γρήγορη μέθοδος όρυξης της γεώτρησης που έχει υψηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης του εξοπλισμού, απαιτεί την χρήση νερού και μετά τη διάτρηση απαιτείται καθαρισμός της γεώτρησης. Τα μέρη ενός περιστροφικού γεωτρήσανου είναι ο κινητήρας, η περιστροφική τράπεζα, ο πύργος, η τροχαλία, το βαρούλκο και η πηλαντλία. Ο κινητήρας και η περιστροφική τράπεζα ευθύνονται για την περιστροφή του γεωτρήσανου.

Το κοπτικό άκρο (Drill bit) είναι η κεφαλή του γεωτρώπανου που χρησιμοποιείται για την όρυξη των γεωτρήσεων στην περιστροφική διάτρηση. Το σχήμα τους ποικίλει ανάλογα με την χρήση τους. Τα τρίκωνα κοπίδια χρησιμοποιούνται σε σκληρούς σχηματισμούς, ενώ τα τρίφτερα σε χαλαρούς. Τα θρύμματα (Cuttings) που



Εικόνα 2-3: Τρίκωνοδιατρικό άκρο (Πηγή: <https://www.drillingcourse.com/2015/12/introduction-to-drilling-bits.html>)

προκύπτουν, απομακρύνονται από τη γεώτρηση και ανεβαίνουν στη επιφάνεια με την χρήση διατρητικού πολφού που κυκλοφορεί μέσω των διατρητικών στελεχών κάτω στο κοπτικό άκρο και στη συνέχεια ανεβαίνει στην επιφάνεια. Στη συνέχεια περνάει από κόσκινα όπου απομακρύνονται τα μεγαλύτερα θρύμματα και αποτίθεται μέσα σε λεκάνη καθίζησης όπου στον πυθμένα κάθονται τα λεπτόκοκκα υλικά (λάσπη). Η πηλαντλία μετά απορροφά τον πολφό αυτόν και τον ανατροφοδοτεί στη διατρητική στήλη αφού προηγουμένως καθαριστεί.

Αφού γίνει η αρχική γεώτρηση, με διάμετρο από 12 εκατοστά μέχρι 1 μέτρο, θα πρέπει να σταθεροποιήσουμε τα τοιχώματα της. Τοποθετούμε σιδερένιους σωλήνες επένδυσης και πληρώνουμε με τσιμέντο το κενό μεταξύ του σωλήνα επένδυσης και του τοιχώματος της γεώτρησης (Annulus). Η τσιμέντωση αποσκοπεί στην σταθεροποίηση των τοιχωμάτων της γεώτρησης και της σωλήνωσης, και δημιουργίας ζώνης με μεγάλη αντοχή που θα αντέξει σε αξονικές πιέσεις. Στη συνέχεια, χρησιμοποιείται ένα μικρότερο σε διάμετρο κοπτικό άκρο, για να φτάσει η γεώτρηση σε μεγαλύτερο βάθος, και χρησιμοποιείται σωλήνωση μικρότερης διαμέτρου για την σταθεροποίηση της.

Το Drill Stem Test (DST) είναι μια από τις δοκιμές που γίνονται σε γεωτρήσεις και ένα πολύ σημαντικό εργαλείο κατά το στάδιο της έρευνας για υδρογονάνθρακες. Αποτελεί μία δοκιμή περατότητας σε έναν σχηματισμό απομονωμένο από τους υπολοίπους σχηματισμούς της γεώτρησής, όπου καθορίζονται το αποθηκευτικό δυναμικό, η πίεση και η διαπερατότητα του ταμιευτήρα, ενώ γίνεται και εκτίμηση της δυνατότητας παραγωγής υδρογονανθράκων. Το DST είναι πιο οικονομική μέθοδος συγκριτικά με τις συμβατικές μεθόδους και θα καθορίσει αν πρέπει να ολοκληρωθεί η γεώτρηση για

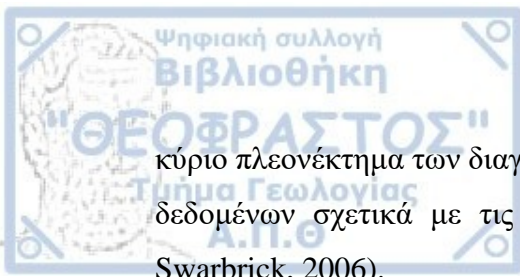


να πάει στο επόμενο στάδιο της παραγωγής, εξακριβώνοντας αν υπάρχουν ικανοποιητικές ποσότητες υδρογονανθράκων για ολοκλήρωση της γεώτρησης. Τα βασικά μέρη του DST είναι τα προστατευτικά πώματα (Packers), ο δειγματολήπτης, οι βαλβίδες και οι μετρητές.

Στον μετρητή καταγράφονται οι μετρήσεις πίεσης των υδρογονανθράκων που βγαίνουν από τον σχηματισμό κατά τη διάρκεια του τεστ, οι βαλβίδες βρίσκονται στην επιφάνεια και ανοίγουν ή κλείνουν κατά τη διάρκεια της δοκιμής του τεστ, οι δειγματολήπτες λειτουργούν σαν παγίδες και κρατούν ρευστά του σχηματισμού από την τελευταία δοκιμή, και τα προστατευτικά πώματα απομονώνουν μέρη της γεώτρησης από το υπόλοιπο τεστ. Από τα προστατευτικά πώματα πιο αξιόπιστα είναι αυτά που εγκαθίστανται με συμπίεση, καθώς μπορούν αν αντέξουν μεγαλύτερη διαφορική πίεση μεταξύ της παραγωγικής σωλήνωσης και του τοιχώματος της γεώτρησης.

Το τεστ γίνεται αφαιρώντας το κοπτικό άκρο το οποίο αντικαθίσταται από τον μηχανισμό του DST, ο οποίος εισέρχεται στη γεώτρηση μέχρι τον σχηματισμό υπό έρευνα. Το DST μπορεί να γίνει και πριν (open hole) και μετά (cased hole) τη σωλήνωση της γεώτρησης. Στη πρώτη περίπτωση είναι πιο οικονομική η εκτίμηση παραγωγής υδρογονανθράκων, διαπερατότητα και πίεση καθώς απλά κατεβάζουμε τον εξοπλισμό στο σημείο που βρίσκεται ο απομονωμένος σχηματισμός. Στην δεύτερη περίπτωση το τεστ γίνεται μετά τη σωλήνωση, και αποτελεί τον πιο οικονομικό τρόπο για την επανεκτίμηση σε υδρογονάνθρακες από παλιές γεωτρήσεις που έχουν ολοκληρωθεί, ή για λήψη δεδομένων σε νέες γεωτρήσεις στις οποίες έχει γίνει σωλήνωση λόγω πτώσης των τοιχωμάτων της.

Οι γεωφυσικές διαγραφίες εντός των γεωτρήσεων (Well logs) είναι ένα ακόμα πολύ σημαντικό εργαλείο που έχουμε στη διάθεση μας, καθώς με αυτό μπορούμε να προσδιορίσουμε ιδιότητες όπως λιθολογία, πάχος σχηματισμού, πορώδες, διαπερατότητα και κορεσμό σε ρευστά όπως νερό ή υδρογονάνθρακες. Οι γεωφυσικές διαγραφίες γίνονται με «φωρατές» ή logging tools που αναρτώνται σε ένα ατσάλινο καλώδιο, το οποίο κατεβαίνει μέχρι τον πυθμένα της γεώτρησης, μετά από κάθε κύριο στάδιο διάτρησης και στη συνέχεια ανασύρεται πίσω στην επιφάνεια με σταθερή ταχύτητα. Καθώς ανεβαίνει προς την επιφάνεια καταγράφει τις εσωτερικές ιδιότητες των πετρωμάτων καθώς και αυτές που προκλήθηκαν κατά τη γεώτρηση. Τα δεδομένα επιστρέφουν στην επιφάνεια όπου καταγράφονται σε χαρτί ή μαγνητική ταινία. Το



κύριο πλεονέκτημα των διαγραφιών είναι η συνδυαστική τους ερμηνεία διαφορετικών δεδομένων σχετικά με τις ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών (Gluyas and Swarbrick, 2006).

Μια παράμετρος η οποία μας δίνει πληροφορίες για τα πετρώματα που συναντάμε κατά τη διάτρηση είναι η ραδιενέργεια. Συγκεκριμένα μετράται η ακτινοβολία  $\gamma$  που εκπέμπεται από τα στοιχεία κάλιο (K), ουράνιο (U) και θόριο (Th).

- Το κάλιο (K) εντοπίζεται σε ορυκτά της αργίλου, μαρμαρυγίες, αστρίους και σε ιζηματογενή πετρώματα όπως ιλύολιθοι και ψαμμίτες. Οι μεγαλύτερες όμως ποσότητες καλίου εντοπίζονται σε εβαπορίτες.
- Το ουράνιο (U) είναι στοιχείο υψηλής ευκινησίας που απελευθερώνεται στο περιβάλλον με τη διάβρωση πυριγενών πετρωμάτων. Η οργανική ύλη απορροφά το ουράνιο με αποτέλεσμα να συσσωρεύεται σε ιλύολιθους οι οποίοι εκπέμπουν υψηλές ποσότητες  $\gamma$  ακτινοβολίας.
- Τέλος το θόριο (Th), όπως και το ουράνιο, προκύπτει από την αποσάθρωση πυριγενών πετρωμάτων και έτσι συγκεντρώνεται σε βωξίτες καθώς και απορροφάται από επιφανειακά πετρώματα όπως ο καολίνη.

Για τον προσδιορισμό του πορώδους και της διαπερατότητας εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές. Η πρώτη έχει να κάνει με τη δημιουργία ηχητικών παλμών, οι οποίοι διατρέχουν τους σχηματισμούς και μετράται ο χρόνος που χρειάζεται για να επιστρέψει το κύμα στο γεώφωνο. Με αυτή την τεχνική δεν μπορούμε να διακρίνουμε μεμονωμένα τους σχηματισμούς αλλά μπορεί να γίνει αξιολόγηση του πορώδους των σχηματισμών που περιέχουν ρευστά. Η επόμενη τεχνική μας βοηθά στον προσδιορισμό της πυκνότητας του σχηματισμού, προσδιορίζοντας την πυκνότητα των ηλεκτρονίων του. Αυτό γίνεται με εκπομπή  $\gamma$  ακτινοβολίας μέσα στον σχηματισμό, η οποία αλληλοεπιδρά με τα ηλεκτρόνια του σχηματισμού που διασπείρονται. Έπειτα ο ανιχνευτής μετρά τη  $\gamma$  ακτινοβολία σαν πυκνότητα του σχηματισμού.

Οι καταγραφές νετρονίων μπορούν να δώσουν πληροφορίες για το πορώδες ενός σχηματισμού με τον καθορισμό των ατόμων υδρογόνου τα οποία είναι συγκεντρωμένα σε έναν σχηματισμό. Εκπεμπόμενα νετρόνια χάνουν ενέργεια όταν συγκρούονται με άτομα στον σχηματισμό καθώς νετρόνια και άτομα υδρογόνου έχουν ίδια πυκνότητα και μέγεθος. Έτσι, η συνολική ενέργεια που χάνεται είναι ίση με τους πόρους που

φέρουν ρευστά. Πρέπει βέβαια να σημειωθεί ότι οι πόροι που περιέχουν αέρια λόγω μικρής πυκνότητας, οδηγούν στη μείωση του πορώδους.

Η διαπερατότητα, σε αντίθεση με τις προηγούμενες ιδιότητες, δεν μπορεί να υπολογιστεί απευθείας, και αποτελούσε ένα από τα μεγάλα θέματα που καλούνταν να αντιμετωπίσουν οι γεωφυσικοί. Το πρόβλημα αυτό ήρθε για να λύσει η μέθοδος του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (Nuclear Magnetic Resonance tool – NMR). Κατά τη μέθοδο αυτή, οι πυρήνες που βρίσκονται μέσα σε μαγνητικό πεδίο απορροφούν και επανεκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ακτινοβολία αυτή έχει συγκεκριμένη συχνότητα που εξαρτάται από τις μαγνητικές ιδιότητες του ισοτόπου και την ένταση του μαγνητικού πεδίου. Μόνο το υδρογόνο που εντοπίζεται μέσα σε υδρογονάνθρακες και το νερό δίνουν μετρήσιμο σήμα άρα έτσι παίρνουμε πληροφορίες και για τη διαπερατότητα, το πορώδες και τα ρευστά που βρίσκονται μέσα στον σχηματισμό. Ο μαγνητισμός των πυρήνων αλλάζει από παράλληλος σε κάθετος στο μαγνητικό πεδίο. Ο χρόνος που χρειάζεται για να επιστρέψει το μαγνητικό πεδίο στην αρχική του θέση είναι ο «χρόνος χαλάρωσης», και ο ρυθμός χαλάρωσης του NMR μας δίνει πληροφορίες για τα ρευστά και το πορώδες του σχηματισμού.

Ο εντοπισμός και η αναγνώριση των ρευστών γίνονται με την χρήση εργαλείων που μετρούν την ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών καθώς ταυτόχρονα μετρώνται και τα ρευστά. Ανεξάρτητα με τη μορφή που βρίσκονται, υγροί ή αέριοι, οι υδρογονάνθρακες έχουν πολύ χαμηλότερη αγωγιμότητα από αυτήν του νερού. Για τον εντοπισμό τους, στο ατσάλινο καλώδιο τοποθετούνται δύο εργαλεία.

- Το πρώτο εργαλείο μετρά την ηλεκτρική αντίσταση βαθιά μέσα στους σχηματισμούς, που δεν έχουν επηρεαστεί από τη γεώτρηση, καθώς εκεί υπάρχουν ακόμη ρευστά που δεν απομακρύνθηκαν από τον πολφό κατά τη διάρκεια της διάτρησης.
- Το δεύτερο εργαλείο μετρά τις αντιστάσεις κοντά στη γεώτρηση. Αυτή η ζώνη δεν περιέχει τα αρχικά της ρευστά καθώς απομακρύνθηκαν με τον πολφό. Ο πολφός δηλαδή, αν περιέχει υδρογονάνθρακες που απομακρύνθηκαν κατά τη διάρκεια της διάτρησης, έχει χαμηλή αγωγιμότητα.

Άρα για να εντοπίσουμε τις θέσεις που περιέχουν ρευστά, συνδυάζουμε τις εικόνες που μας δίνουν τα δύο αυτά εργαλεία (Gluyas and Swarbrick, 2006).

### 2.3 Κόστος έρευνας

Το κόστος της έρευνας ποικίλει ανάλογα με την προσβασιμότητα της περιοχής, το ανάγλυφο αλλά και την ανθρώπινη παρουσία. Παράκτιες περιοχές με έντονο ανάγλυφο όπως βουνά ή πυκνή βλάστηση, ή ζούγκλες, λόγω της δύσκολης προσβασιμότητας παρουσιάζουν υψηλό κόστος έρευνας. Παρόμοια, αστικές και αγροτικές περιοχές καθώς και περιοχές υπό περιβαλλοντική προστασία παρουσιάζουν όχι μόνο υψηλό κόστος αλλά δυσκολία πριν την έναρξη της έρευνας καθώς ο θόρυβος και η ρύπανση αποτελούν εμπόδια. Τέλος, υψηλό κόστος έρευνας παρουσιάζουν οι παράκτιες περιοχές λόγω της δύσκολης προσβασιμότητας που απαιτούν την χρήση πλοίων αλλά και λόγω των καιρικών συνθηκών που επικρατούν.

### 3. Επιβεβαίωση – Appraisal

Με την έναρξη του σταδίου της Επιβεβαίωσης, η ύπαρξη του κοιτάσματος είναι σίγουρη. Άγνωστα παραμένουν όμως οι διαστάσεις και το σχήμα του. Εδώ γίνεται συνδυασμός και αξιολόγηση των δεδομένων που συλλέγονται με τις μεθόδους και τις τεχνικές που αναφέρθηκαν παραπάνω καθώς και γεωτρήσεις επιβεβαίωσης (Appraisal Wells), έτσι ώστε να βρεθούν οι πραγματικές διαστάσεις και το σχήμα του ταμιευτήρα, οι επαφές των ρευστών που περιέχονται ενώ γίνεται και η αξιολόγηση του ρυθμού παραγωγής. Επειδή πλέον γνωρίζουμε για την ύπαρξη των υδρογονανθράκων, δεν θα γίνει περεταίρω μελέτη ιδιοτήτων όπως πορώδες, διαπερατότητα και ρευστά αλλά πρέπει τώρα να γίνει αναλυτική περιγραφή του ταμιευτήρα, της παγίδας, του καλύμματος και του πετρελαίου που εμπεριέχονται. Στόχος αυτού του σταδίου είναι η εκτίμηση του πόσο οικονομικά αποδοτική θα είναι η εκμετάλλευση του κοιτάσματος και το αποτέλεσμα του θα είναι είτε να δημιουργηθεί πρόγραμμα εκμετάλλευσης, είτε η εγκατάλειψη του.

Το στάδιο της Επιβεβαίωσης καταλήγει με τη χωροθέτηση συγκεκριμένων θέσεων για γεωτρήσεις που εμφανίζουν τη μεγαλύτερη ικανότητα παραγωγής υδρογονανθράκων. Συγκριτικά με προγράμματα που οι θέσεις των γεωτρήσεων λήφθηκαν τυχαία, προγράμματα στα οποία οι γεωτρήσεις έγιναν βάση της Επιβεβαίωσης, παρουσίασαν 50% μεγαλύτερη παραγωγή.

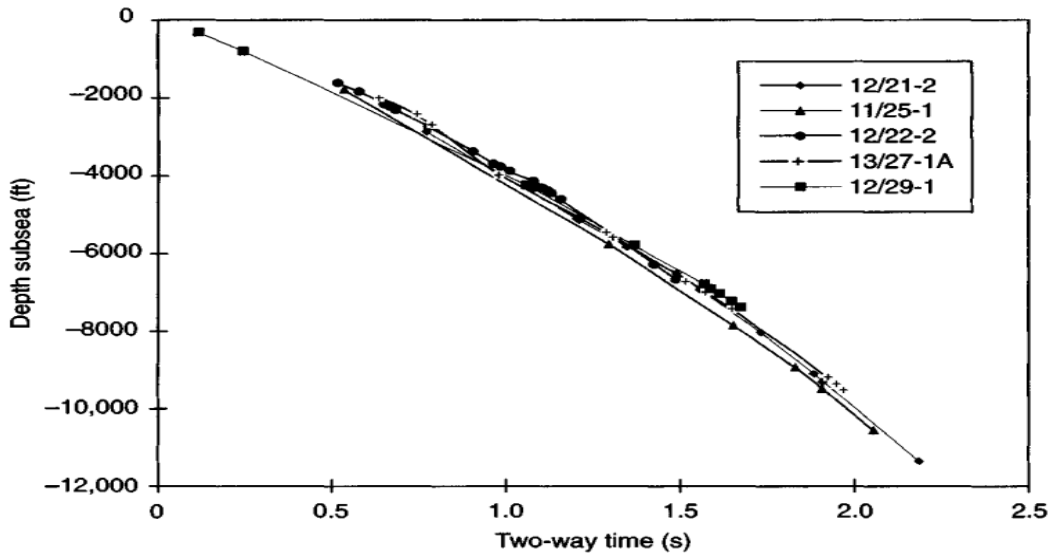
Κατά την άντληση των υδρογονανθράκων, οι συνθήκες μέσα τον ταμιευτήρα είναι διαφορετικές από αυτές της επιφάνειας. Ο όγκος τους μπορεί να αυξηθεί ή να

ελαττωθεί, ανάλογα με την πίεση, τη θερμοκρασία αλλά και τη χημική του σύσταση. Ο Συντελεστής Όγκου (Formation Volume Factor) εξηγεί αυτό το φαινόμενο και αποτελεί την αναλογία μεταξύ του όγκου των υδρογονανθράκων στον ταμειυτήρα προς τον όγκο τους σε επιφανειακές συνθήκες.

Η διαδικασία την Επιβεβαίωσης ξεκινά με την χαρτογράφηση του ταμειυτήρα και της έκτασης του. Έπειτα, με τα δεδομένα που λαμβάνουμε μέσω των σεισμικών και των γεωτρήσεων, γίνεται αφαίρεση των συμπαγών πετρωμάτων, που δεν μπορούν να περιέχουν ρευστά, από το συνολικό όγκο. Άρα το υπόλοιπο είναι ο όγκος των πετρωμάτων που μπορούν να φιλοξενήσουν ρευστά και έχουν πόρους. Τέλος, τα ρευστά που έχουν υπολογιστεί είναι υδρογονάνθρακες και νερό, άρα θα υπολογιστεί ο όγκος των πόρων που περιέχουν υδρογονάνθρακες.

Το μεγαλύτερο ποσοστό πληροφοριών που χρησιμοποιούμε από το στάδιο της επιβεβαίωσης μέχρι την παραγωγή, προέρχεται από τη σεισμική έρευνα. Τα δεδομένα αυτά απεικονίζονται με τον χρόνο και στους δύο άξονες, ενώ κανονικά στον κάθετο άξονα τοποθετείται το βάθος. Έτσι υποθέτουμε ότι υπάρχει αντιστοιχία μεταξύ χρόνου και βάθους. Ο παράγοντας που συνδέει τον χρόνο με το βάθος είναι η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων. Παρ' όλα αυτά πρέπει να σημειωθεί ότι η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων δεν είναι η ίδια σε όλα τα βάθη. Άρα θα πρέπει να γίνονται οι αντίστοιχοι υπολογισμοί και η μετατροπή του χρόνου σε βάθος.

Η ταχύτητα διάδοσης επηρεάζεται από την κρυσταλλική δομή των ορυκτών, το πορώδες, τα ρευστά στους πόρους και το είδος του κατακερματισμού. Η ταχύτητα διάδοσης είναι μεγαλύτερη σε συνεκτικά – σκληρά πετρώματα. Για παράδειγμα, τα κύματα διαδίδονται γρηγορότερα σε έναν ασβεστόλιθο παρά σε έναν ψαμίτη ή χαλαρά ιζήματα όπως η λάσπη. Επίσης, σε πετρώματα χωρίς πορώδες, τα σεισμικά κύματα διαδίδονται πιο γρήγορα. Αναφορικά με έναν σχηματισμό που περιέχονται υδρογονάνθρακες, τα κύματα διαδίδονται πιο αργά απ' ότι αν περιείχε νερό.



Εικόνα 3.1: Διάγραμμα βάθους – χρόνου. Βάση αυτό το διάγραμμα θα δημιουργηθεί χάρτης βάθους. (Πηγή: Petroleum Geoscience - Gluyas, J. G. & Swarbrick R. 2006)

### 3.1 Τοπογραφικοί - Υποεπιφανειακοί χάρτες – Ψηφιακά μοντέλα

Σε αυτό το στάδιο, η δημιουργία και η ερμηνεία χαρτών είναι ύψιστης σημασίας καθώς ως τώρα έχουν συλλεχθεί όλα τα δεδομένα που είναι δυνατό να συλλεχθούν. Τα δεδομένα που λάβαμε από τη σεισμική έρευνα χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία υποεπιφανειακών χαρτών. Οι υποεπιφανειακοί χάρτες είναι γεωλογικοί χάρτες στους οποίους απεικονίζονται γεωλογικές μονάδες και δεδομένα κάτω από την επιφάνεια της Γης. Χρησιμεύουν ιδιαίτερα στην απεικόνιση ταμιευτήρων υδρογονανθράκων προς σχεδιασμό για παραγωγή, στον σχεδιασμό ορυχείων, στην απεικόνιση φλεβών άνθρακα, ρηγμάτων και άλλων γεωλογικών ενοτήτων. Οι υποεπιφανειακοί χάρτες στη βιομηχανία παραγωγής υδρογονανθράκων χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό και την τοποθέτηση των γεωτρήσεων, τον υπολογισμό των αποθεμάτων και την απόδοση του ταμιευτήρα.

Αυτοί οι χάρτες απεικονίζουν δυο διαστάσεις, μπορούν όμως να απεικονίζουν και την τρίτη διάσταση που μπορεί να είναι το ύψος / βάθος ή το πάχος. Έστω ότι απεικονίζουν το ύψος ως την τρίτη διάσταση, στον χάρτη θα εμφανίζονται ισούψείς καμπύλες, που είναι συνεχείς γραμμές που ενώνουν σημεία με το ίδιο υψόμετρο πάνω στον χάρτη. Σε έναν τοπογραφικό χάρτη, για να αντιληφθούμε το ανάγλυφο της περιοχής, πρέπει να προσέξουμε την απόσταση των ισούψών μεταξύ τους. Όταν οι ισούψείς είναι κοντά



μεταξύ τους, δηλώνουν γρήγορη κατάπτωση του υψομέτρου άρα απότομο ανάγλυφο. Όταν οι ισοϋψείς έχουν μεγάλη απόσταση μεταξύ τους δηλώνουν ένα ομαλό ανάγλυφο.

Στην παραγωγή ενός τοπογραφικού χάρτη θα πρέπει να τηρούνται κάποιοι κανόνες:

- Οι ισοϋψείς καμπύλες δεν πρέπει να διασταυρώνονται, είναι πάντα οριζόντιες,
- Οι ισοϋψείς αποτελούν ομαλές και κλειστές καμπύλες ακόμα και αν είναι εκτός ορίων του χάρτη,
- Σε μια τρισδιάστατη προβολή (3D) οι ισοϋψείς καμπύλες εμφανίζονται η μια πάνω στη άλλη,
- Η επανάληψη ισοϋψών καμπυλών ίδιας τιμής, σημαίνει αλλαγή της φοράς κλίσης της μορφολογίας.

Οι Tearrock και Bischke (1991) έφτιαξαν τις παρακάτω κατευθυντήριες γραμμές για την εύκολη δημιουργία ενός τοπογραφικού χάρτη και κατ' επέκταση την εύκολη ανάγνωσή του:

- Οι τοπογραφικοί χάρτες πρέπει να έχουν μια επιφάνεια αναφοράς, όπου θεωρείται το σημείο 0. (Συνήθως αυτή η επιφάνεια είναι η επιφάνεια της θάλασσας),
- Οι κύριες ισοϋψείς καμπύλες απεικονίζονται με έντονες χοντρές γραμμές, ενώ οι δευτερεύουσες με πιο λεπτές γραμμές.
- Οι χάρτες θα πρέπει να έχουν γραφική κλίμακα, έτσι ώστε να αποφευχθούν λάθη κατά την μεγέθυνση και σμίκρυνση τους,
- Για να γίνει απεικόνιση βυθισμάτων χρησιμοποιούνται οι ισοϋψείς κατάπτωσης, που αποτελούν δευτερεύουσες ισοϋψείς αλλά με μικρές κάθετες γραμμές πάνω τους,
- Η τοποθέτηση των ισοϋψών πρέπει να ξεκινάει από περιοχές στις οποίες υπάρχουν περισσότερα δεδομένα και να εξαπλώνονται σε περιοχές με τα λιγότερα δεδομένα,
- Οι ισοϋψείς πρέπει να απεικονίζουν όλα τα σημεία ενδιαφέροντος.

Οι χάρτες που δημιουργούνται από τρισδιάστατες (3D) σεισμικές έρευνες, περιλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό πληροφοριών σε σχέση με τους χάρτες που δημιουργήθηκαν από δισδιάστατα (2D) σεισμικά δεδομένα, και αυτοί με τη σειρά τους



εμφανίζουν περισσότερες πληροφορίες από χάρτες που δημιουργήθηκαν με δεδομένα που λήφθηκαν από γεωτρήσεις.

Οι χάρτες που παράγονται από ειδικά λογισμικά με την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, παίρνουν τα δεδομένα τους από τρισδιάστατη (3D) σεισμική έρευνα, και λειτουργούν επιλέγοντας ανακλαστικές σε διπλανά καλώδια την ώρα που διατρέχει ρεύμα το καλώδιο. Αυτός ο μηχανισμός, σε περιοχές με πολύπλοκα γεωλογικά υπόβαθρα, δεν δίνει σωστή ερμηνεία καθώς δεν υπάρχει συνοχή μεταξύ των δεδομένων σε διπλανούς ανακλαστικές. Ως αποτέλεσμα έχουμε τη παραγωγή πολλαπλών τοπογραφικών χαρτών λόγω της πληθώρας δεδομένων.

Χάρτες που δημιουργούνται χειρόγραφα μπορούν να εμφανίσουν πρόβλημα στην ερμηνεία τους με έναν που δημιουργήθηκε από αλγόριθμο. Αυτό συμβαίνει καθώς όπως ένας γεωλόγος μπορεί να ερμηνεύσει διαφορετικά έναν χάρτη σε σχέση με έναν άλλο γεωλόγο, έτσι και η ερμηνεία στον υπολογιστή εξαρτάται από τη μέθοδο που θα επιλεγεί για να δημιουργήσει τον χάρτη από τα δεδομένα που του δίνονται.

Τα ρήγματα αποτελούν μια πολύ σημαντική γεωλογική δομή κατά την αναζήτηση για υδρογονάνθρακες καθώς λειτουργούν ως παγίδες και γι' αυτό το λόγο μπορεί οι γεωτρήσεις να γίνονται κοντά σε ρήγματα. Οι επιφάνειες των ρηγμάτων αποτελούν όρια μεταξύ σχηματισμών και μελετώνται εκτενώς κατά τη δημιουργία χαρτών και μοντέλων καθώς ερμηνεύουν την έκταση και τον όγκο της παγίδας. Ρήγμα ονομάζουμε κάθε ασυνέχεια των πετρωμάτων, εκατέρωθεν των οποίων παρατηρείται μετατόπιση. Άνω τέμαχος (hanging wall) ονομάζουμε το τέμαχος στην πάνω πλευρά του κεκλιμένου ρήγματος, ενώ κάτω τέμαχος (footwall) ονομάζουμε το τέμαχος κάτω από το κεκλιμένο ρήγμα.

Τα χαμηλότερο σημείο μια παγίδας ονομάζεται Σημείο Έκχυσης (Spill Point). Στους χάρτες και τα μοντέλα που δημιουργήθηκαν, εμφανίζονται ως η τελευταία, βαθιά, κλειστή ισοϋψής. Η αναγνώριση της βοηθά στον υπολογισμό των υδρογονανθράκων που βρίσκονται στην παγίδα. Ωστόσο, τα δεδομένα που λάβαμε προηγουμένως μπορεί να μην είναι αρκετά για την απεικόνιση τους. Δεν υπάρχει καθορισμένος αριθμός τέτοιων σημείων καθώς μια παγίδα μπορεί να έχει πολλαπλά σημεία ή και κανένα. Για παράδειγμα, ασβεστολιθικά σώματα που περιέχουν υδρογονάνθρακες δεν παρουσιάζουν τέτοια σημεία.



### **3.2 Τμήματα ταμιευτήρα**

Παρόλο που αναφερόμαστε στον ταμιευτήρα σαν ένα ενιαίο κομμάτι, αυτό δεν αποτελεί την πραγματικότητα. Ο ταμιευτήρας αποτελείται από τμήματα ή κομμάτια (Segments). Γι' αυτό τον λόγο μια μόνο γεώτρηση δεν μπορεί να αντλεί από έναν ολόκληρο ταμιευτήρα αλλά χρειάζονται και άλλες γεωτρήσεις. Οι διαχωρισμοί αυτοί προκύπτουν από εμπόδια μέσα στον ταμιευτήρα και οι ιδιότητες τους αλλάζουν κατά την άντληση των υδρογονανθράκων. Τα εμπόδια μπορούν να διακόψουν τη ροή είτε κατά πλάτος, είτε κατακόρυφα.

Οι διαχωρισμοί μπορεί να οφείλονται σε αλλαγές στη λιθολογία του ταμιευτήρα ή πιο συχνά ρήγματα. Οι διαφοροποιήσεις στην λιθολογία μπορεί να μην είναι πάντα εμφανείς, από τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί, αλλά και από τον συσχετισμό των στρωματογραφικών στηλών, μεταξύ των γεωτρήσεων. Ενώ τα ρήγματα αποτελούν ασυνέχειες στον σχηματισμό, δεν αποτελούν όλα τους εμπόδια για τη ροή. Τα ρήγματα απομονώνουν δύο σχηματισμούς στις παρακάτω περιπτώσεις:

1. Διαχωρισμός ταμιευτήρα από περιβάλλοντα πετρώματα
2. Σε στεγανές επιφάνειες ρηγμάτων
3. Σε επιφάνειες ρηγμάτων με άργιλο
4. Στην μία πλευρά του ρηγματος έχει σχηματιστεί αδιαπέρατο πέτρωμα.

Εμπόδια στην κατακόρυφη ροή αποτελούν όσα αναφέρθηκαν παραπάνω καθώς και ανάστροφα ρήγματα μικρής γωνίας (επωθήσεις) και αδιαπέρατα στρώματα. Η αναγνώριση των κατακόρυφων εμποδίων είναι πιο εύκολη, καθώς μπορεί να διαπιστωθεί από τους πυρήνες δειγματοληψίας εντός των γεωτρήσεων, που έχουν τρυπήσει τα εμπόδια αυτά.

### **3.3 Γεωτρήσεις επιβεβαίωσης**

Για σωστή εκτίμηση της ποσότητας των υδρογονανθράκων που θα αντληθούν, πρώτα πρέπει αν βρούμε τις διαστάσεις του κοιτάσματος, με την χρήση γεωτρήσεων. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται appraisal drilling και αποτελείται από δυο είδη γεωτρήσεων, τη Step-out drilling και τη Infill drilling, κάθε μια με τον δικό της σκοπό.

Οι γεωτρήσεις είδους Step-out, χρησιμοποιούνται όταν γνωρίζουμε για την ύπαρξη του κοιτάσματος αλλά όχι τις διαστάσεις του, όταν εντοπίσουν την επαφή νερού-

πετρελαίου, γνωρίζουμε ότι σε αυτό το σημείο είναι το τέλος του ταμιευτήρα και η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι η γεώτρηση να βρει μόνο νερό. Πρέπει όμως να σημειωθεί πως και οι γεωτρήσεις αυτές χρειάζονται προγραμματισμό. Αυτό γίνεται με την χρήση καννάβου, όπου γίνεται τοποθέτηση των γεωτρήσεων σε συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ τους ώστε να γίνεται η αποτελεσματικότερη παραγωγή και να μην επηρεάζεται το περιβάλλον. Η απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων έχει μεγάλη σημασία, καθώς θα επηρεάσει τη διαδικασία παραγωγής, όπως και ο τύπος των υδρογονανθράκων που θα αντληθούν. Οι υδρογονάνθρακες σε μορφή αερίου ρέουν πιο εύκολα και μπορούν να φτάσουν σε μεγαλύτερες αποστάσεις κατά τη διάρκεια της διύλισης, άρα οι γεωτρήσεις τοποθετούνται μακρύτερα μεταξύ τους. Η ιδιότητα που επηρεάζει αυτές τις διαδικασίες είναι η πίεση του ταμιευτήρα. Στην περίπτωση που η απόσταση είναι μεγάλη, θα γίνεται χαμηλή άντληση, αλλιώς αν η απόσταση είναι μικρή θα υπάρχει χαμηλή πίεση στον ταμιευτήρα.

Το δεύτερο είδος γεωτρήσεων που χρησιμοποιούμε, ονομάζονται Infill drilling. Όπως είδαμε προηγουμένως, πριν την υλοποίηση των γεωτρήσεων, γίνεται προγραμματισμός και σχεδιασμός για την ακριβή τους τοποθέτηση καθώς και για τη παραγωγικότητα τους. Αν οι γεωτρήσεις έχουν μεγάλη απόσταση μεταξύ τους και προκύψουν προβλήματα χαμηλής άντλησης κατά το στάδιο της παραγωγής, το πρόβλημα αυτό έρχονται να λύσουν οι γεωτρήσεις τύπου Infill. Αυτές τοποθετούνται μεταξύ των Step-out γεωτρήσεων. Έστω ότι έχουμε δύο Step-out γεωτρήσεις, Α και Β, και προκύψει το πρόβλημα που αναφέραμε παραπάνω. Για την επίλυση του δημιουργείται μια νέα γεώτρηση Infill μεταξύ των Α και Β, που θα ονομάσουμε Γ. Πρέπει να σημειωθεί πως, αν η παραγωγή της γεώτρησης δεν είναι ικανή να ικανοποιήσει το κόστος κατασκευής της αλλά και τις απαιτήσεις της αγοράς, τότε δεν υλοποιείται. Τέλος γεωτρήσεις παραγωγής γίνονται και κοντά σε ρήγματα. Αν η γεώτρηση γίνει από τη λάθος πλευρά του ρήγματος, αυτό αποτελεί οικονομική απώλεια.

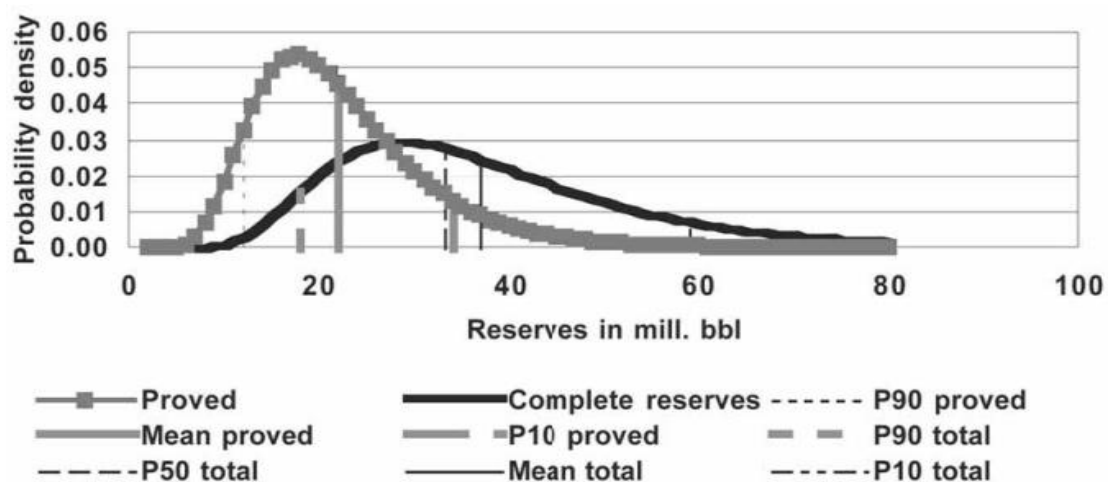
#### ***4. Υπολογισμός αποθεμάτων***

Κατά την έναρξη αυτού του σταδίου θα πρέπει να γίνει μια αποτίμηση των αποθεμάτων. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιούμε πιθανολογικές μεθόδους οι οποίες δεν έχουν ως στόχο να προσθέσουν περισσότερα δεδομένα από αυτά που έχουμε αποκτήσει ήδη, αλλά με την χρήση τους επιβεβαιώνουμε ότι οι ποσότητες που θα αντληθούν θα είναι περισσότερες από τις βεβαιωμένες. Οι πιθανολογικές μέθοδοι δεν έχουν σαν

στόχο να υποβαθμίσουν τις μεθόδους που αναφέραμε προηγουμένως, αλλά να βελτιώσουν το αποτέλεσμα τους.

Οι πιθανολογικές μέθοδοι αρχικά εφαρμόζονται στις ακόμα αβέβαιες ποσότητες υδρογονανθράκων που πρόκειται παραχθούν. Έτσι, θα γίνει μια εκτίμηση για το είδος του υδρογονάνθρακα που θα παραχθεί καθώς οι αποδεκτές τιμές που θα προκύψουν από την παραγωγή διαφέρουν ανάλογα με τη μορφή του υδρογονάνθρακα, δηλαδή αν είναι πετρέλαιο ή φυσικό αέριο. Αυτό επιτυγχάνεται με δύο κατευθυντήριες γραμμές. Αρχικά οι υπολογισμένες ανακτήσιμες ποσότητες θα πρέπει να είναι σε ταύτιση έτσι ώστε να χαρακτηρίζονται ως επιβεβαιωμένες ποσότητες και η αναμενόμενη αξία τους (expected value – EV) να έχει καθοριστεί. Δεύτερον, όλες οι εκτιμώμενες απολήψιμες ποσότητες να πληρούν τα κριτήρια ανακαλυφθέντων πόρων και η τιμή να έχει τουλάχιστον 90% πιθανότητα να ξεπεράσει τα αποθέματα.

Στην εικόνα 4-1 βλέπουμε μια Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας (Probability Density Function – PDF) για υπολογισμένα αποθέματα, η οποία είναι ασύμμετρη με ανοδική τάση. Η μέση αναμενόμενη τιμή (mean proved) είναι 22 εκατομμύρια. Η P90, που υποδηλώνει την χαμηλότερη εκτίμηση αποθεμάτων κάθε κατηγορίας υδρογονανθράκων, είναι 18 εκατομμύρια. Λόγω των κατευθυντήριων γραμμών που αναφέραμε πάρα πάνω η P90 είναι η αποδεκτή τιμή. Η P10 δείχνει την μέγιστη εκτίμηση των αποθεμάτων.



Εικόνα 4-1: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας. (Πηγή: Guidelines for the Evaluation of Petroleum Reserves and Resources - SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS)

Κάθε εταιρία που παράγει υδρογονάνθρακες, κάνει ποσοτικοποίηση των αποθεμάτων. Αυτό γίνεται με την πιθανολογική αξιολόγηση του διαθρωτικού ελέγχου (συνολικός όγκος πετρωμάτων – gross rock volume – GRV), παράμετροι ταμιευτήρα, ανάκτηση – παραγωγή από τον ταμιευτήρα, ανάκτηση προϊόντων προς πώληση από τις γεωτρήσεις και δικαιώματα πωλήσεων.

Ο υπολογισμός των αποθεμάτων γίνεται μέσω στατιστικής ανάλυσης, με την χρήση των παραμέτρων: συνολικός όγκος πετρώματος (gross rock volume – GRV), αναλογία καθαρού προς συνολικό όγκο, πορώδες, περιεκτικότητα σε υδρογονάνθρακες, μετατροπή όγκου υδρογονανθράκων από συνθήκες ταμιευτήρα σε στάνταρ συνθήκες επιφανείας ή Συντελεστής Όγκου (Volume Factor) και τον συντελεστή ανάκτησης (recovery factor). Ο συνολικός όγκος πετρώματος (GRV) είναι ο παράγοντας που επηρεάζει περισσότερο την αβεβαιότητα των αποθεμάτων καθώς ο όγκος του ταμιευτήρα συνήθως είναι αντίστοιχος με το ύψος της διατρητικής στήλης στον κύβο. Συνεπώς, η αβεβαιότητα του συνολικού όγκου πετρώματος (GRV) μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ενός κανονικού λογότυπου PDF. Έτσι καταλαβαίνουμε την προσοχή που πρέπει να δίνεται στον υπολογισμό των αποθεμάτων.

Ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων του ταμιευτήρα δεν είναι επαρκής για να προσδιοριστεί το σχήμα και η έκταση του, έτσι ώστε να λάβουμε μια σωστή μορφή συνάρτησης PDF. Αντίθετα, αν ο προσδιορισμός των ρευστών γίνει σε συνθήκες χημικής και φυσικής ισορροπίας, τότε θα λάβουμε μια πιο αντιπροσωπευτική μορφή συνάρτησης PDF. Κατά την απόληψη των υδρογονανθράκων, η αβεβαιότητα που αντιμετωπίζουμε εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα και από τις μεθόδους ανάκτησης και επεξεργασίας των υδρογονανθράκων. Άρα, θα πρέπει να έχουμε πάντα ένα εναλλακτικό μοντέλο ταμιευτήρα το οποίο να λαμβάνουμε υπόψιν, σε αντιστοιχία με τις παρατηρήσεις που γίνονται.



## Βιβλιογραφία

Γεωργακόπουλος Α. Κοιτασματολογία Πετρελαίου

Gluyas J. G., & Swarbrick R. (2006). Petroleum Geoscience (3<sup>rd</sup> edition). *Blackwell Publishing*

Gad S. (2005). Petroleum Hydrocarbons. *Elsevier*

American Completion Tools. Drill Stem Test Tools. Ανάκτηση από [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiosYqbnvqrsAhUj0uAKHf\\_LDMAQFjAAegQIBBAC&url=https%3A%2F%2Famericancompletiontools.com%2Ftest%2Fwp-content%2Fuploads%2F2017%2F04%2F37-DRILL-STEM-TOOLS-1.pdf&usg=AOvVaw3leYSuZ2zK3wY6p6](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiosYqbnvqrsAhUj0uAKHf_LDMAQFjAAegQIBBAC&url=https%3A%2F%2Famericancompletiontools.com%2Ftest%2Fwp-content%2Fuploads%2F2017%2F04%2F37-DRILL-STEM-TOOLS-1.pdf&usg=AOvVaw3leYSuZ2zK3wY6p6)

Society of Petroleum Engineers (2001). Guidelines for the Evaluation of Petroleum Reserves and Resources - A Supplement to the SPE/WPC Petroleum Reserves Definitions and the SPE/WPC/AAPG Petroleum Resources Definitions. *Society of Petroleum Engineers*

Serra O. (1984). Fundamentals of well-log interpretation (3<sup>rd</sup> edition). *Elsevier*

Fundamentals of Petroleum Geology. Ανάκτηση από <https://coek.info/pdf-fundamentals-of-petroleum-geology-.html>

Drill Stem Testing Tools – American Completion Tools

Navarette M., Chorn L., Maucec M. (2013). A Holistic Approach to the Appraisal Stage of Shale Gas Resources. *Society of Petroleum Engineers*