



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΤΩΝ
ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ»**

ΕΙΡΗΝΗ ΦΟΥΝΤΟΥ
Α.Ε.Μ.:5058

Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 2016



ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

ΕΙΡΗΝΗ ΦΟΥΝΤΟΥ

ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων:

Καθηγητής Ανδρέας Γεωργακόπουλος

© Ειρήνη Φούντου, Τομέας Ορυκτολογίας – Πετρολογίας –
Κοιτασματολογίας, 2016
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.



Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν την χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Η πτυχιακή εργασία με τίτλο «Γεωλογία Και Γεωφυσική Στην Έρευνα Των Υδρογονανθράκων» είναι το τελευταίο κομμάτι, που ολοκληρώνει τις σπουδές μου στο Τμήμα Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Α.Π.Θ. Έχει γραφτεί κατά τη διάρκεια της περιόδου Νοεμβρίου 2016 – Φεβρουαρίου 2017 και η συγγραφή της αποτέλεσε για μένα ένα εκπαιδευτικό ταξίδι, στο οποίο μου δόθηκε η ευκαιρία να θυμηθώ όσα είχα μάθει κατά τα χρόνια της φοίτησής μου, αλλά και να διευρύνω τις γνώσεις μου ακόμη περισσότερο.

Η εργασία απαρτίζεται από τρία κεφάλαια. Στο πρώτο εισαγωγικό κεφάλαιο περιγράφονται οι έννοιες της αναζήτησης και της έρευνας των υδρογονανθράκων. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται όλοι οι γεωλογικοί παράγοντες που είναι απαραίτητοι για τη γένεση μίας οικονομικά εκμεταλλεύσιμης ποσότητας υδρογονανθράκων. Τέλος, στο τρίτο κεφάλαιο δίνεται έμφαση στο ρόλο της γεωφυσικής σε ένα πρόγραμμα έρευνας υδρογονανθράκων, και στο πώς αυτή διευκολύνει τον εντοπισμό τους.

Ο σκοπός της εργασίας είναι μέσα από τα τρία αυτά κεφάλαια να καταλάβει ο αναγνώστης πως διαρθρώνεται ένα πρόγραμμα έρευνας υδρογονανθράκων, τι στάδια περιλαμβάνει αυτό και πώς συνδέονται αυτά μεταξύ τους. Όλες οι έννοιες που αναλύονται είναι αλληλένδετες και η σημασία της κάθε μίας για τη συνολική διαδικασία της εύρεσης και παραγωγής των υδρογονανθράκων είναι μεγάλη. Το όλο εγχείρημα ξεκινάει από απλή γεωλογική γνώση και στο τέλος καταλήγει σε επενδύσεις τεράστιων ποσών, μέσα από τις οποίες εξορύσσονται το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο που έχουν τόσες εφαρμογές και καλύπτουν τόσες από τις ανάγκες της καθημερινής μας ζωής. Έτσι, λοιπόν, αν διαβάζοντας αυτή την εργασία ο αναγνώστης είναι σε θέση να κατανοήσει ότι για κάθε βήμα από την αναζήτηση μέχρι και την παραγωγή των υδρογονανθράκων είναι απαραίτητες ορισμένες πληροφορίες και διεργασίες, καθώς και πώς αυτές θα βοηθήσουν στη μετάβαση στο επόμενο βήμα, ο στόχος της εργασίας έχει επιτευχθεί.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να τονίσω πως χωρίς όλη αυτή τη γνώση, που οι καθηγητές του τμήματος γεωλογίας με βοήθησαν να κατακτήσω αυτά τα 4 χρόνια της φοίτησής μου, η συγγραφή αυτής της εργασίας θα ήταν αδύνατη. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή Ανδρέα Γεωργακόπουλο για την καθοδήγηση, τις συμβουλές και τη βοήθεια που μου προσέφερε όποτε τη χρειάστηκα. Τέλος, θα ήθελα, ακόμη, να ευχαριστήσω τη βοηθό του, Βάσω Κοσμίδου, η οποία αφιέρωσε πολύτιμο χρόνο για να με βοηθήσει να κατανοήσω ορισμένες έννοιες και με προμήθευσε με στοιχεία απαραίτητα για την ολοκλήρωση της εργασίας μου.

Ειρήνη Φούντου
16 Φεβρουαρίου 2017

ABSTRACT

The object and goal of this thesis is to prove that there is an intricate connection between geology and geophysics in the oil and gas industry. So, it starts with the definition of the aspects of prospecting, exploration, their stages and methods. The following chapter concerns the role of geology, the information and knowledge it offers in the search of hydrocarbons. The characteristics of the elements that compose a prolific petroleum system are analyzed. These elements are source rocks, reservoirs, cap rocks, traps, geologic time and the migration of hydrocarbons. The last chapter of the paper is about geophysics, and more specifically 3-D Seismics, providing examples of such studies. In addition, the terms of target and positioning are also explained. Moreover, the main types of wells used in the exploration and production of hydrocarbons (exploratory, appraisal and production wells) are described. The thesis finishes with a reference to the most important geological and geophysical tests that are performed, in combination with drilling, during every step of the project. In conclusion, the topics examined in the paper show that both geology and geophysics have crucial roles in the success of a hydrocarbon exploration and production program and that geologists and geophysicists need to cooperate to complete it.

ΕΠΙΤΟΜΗ

Το αντικείμενο και ο στόχος αυτής της εργασίας είναι η απόδειξη της ύπαρξης μίας στενής σχέσης μεταξύ της γεωλογίας και της γεωφυσικής στη βιομηχανία του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Οπότε, η έκθεση ξεκινάει στο πρώτο κεφάλαιο με τον καθορισμό της σημασίας των όρων του prospecting, του exploration, των σταδίων και των μεθόδων τους. Το επόμενο κεφάλαιο αφορά το ρόλο της γεωλογίας, των πληροφοριών και γνώσεων που αυτή προσφέρει στην αναζήτηση των υδρογονανθράκων. Για αυτό αναλύονται τα χαρακτηριστικά των στοιχείων που αποτελούν ένα παραγωγικό πετρελαϊκό σύστημα. Τα στοιχεία αυτά είναι τα μητρικά πετρώματα, οι ταμιευτήρες, τα πετρώματα καλύμματα, οι δομές παγίδευσης, ο γεωλογικός χρόνος και η μετανάστευση των υδρογονανθράκων. Το τελευταίο κεφάλαιο της έκθεσης σχετίζεται με τη γεωφυσική, πιο συγκεκριμένα με τις τρισδιάστατες σεισμικές διασκοπήσεις, παραθέτοντας παραδείγματα τέτοιου είδους μελετών. Επίσης, οι όροι του target και του positioning επεξηγούνται. Επιπρόσθετα, περιγράφονται τα κύρια είδη των γεωτρήσεων που χρησιμοποιούνται στην έρευνα και την παραγωγή των υδρογονανθράκων, δηλαδή οι ερευνητικές, οι επιβεβαιωτικές και οι παραγωγικές γεωτρήσεις. Η εργασία τελειώνει με μία αναφορά στις πιο σημαντικές γεωλογικές και γεωφυσικές δοκιμές που διεξάγονται, σε συνδυασμό με τις γεωτρήσεις, κατά τη διάρκεια του κάθε βήματος του προγράμματος. Συμπερασματικά, τα θέματα που εξετάστηκαν σε αυτή την εργασία δείχνουν ότι και η γεωλογία και η γεωφυσική έχουν κρίσιμους ρόλους στην επιτυχία ενός προγράμματος έρευνας και παραγωγής υδρογονανθράκων και ότι οι γεωλόγοι και οι γεωφυσικοί πρέπει να συνεργαστούν στενά για την ολοκλήρωσή του.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο στόχος της πτυχιακής εργασίας μου είναι να αναλυθεί η άρρηκτη σύνδεση μεταξύ των τομέων της γεωλογίας και της γεωφυσικής, καθώς και ο ρόλος της κάθε μίας στην έρευνα και την παραγωγή των υδρογονανθράκων. Η έκθεση αποτελείται από τρία κεφάλαια, που περιέχουν μία λεπτομερή περιγραφή όλων των σταδίων ενός προγράμματος έρευνας και παραγωγής, από την αρχή, δηλαδή τη σύλληψη της ιδέας ότι υδρογονάνθρακες είναι πιθανό να είναι παγιδευμένοι μέσα σε συγκεκριμένες γεωλογικές δομές, μέχρι το τέλος, όταν το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο ρέουν από τις γεωτρήσεις προς το εμπόριο.

Το πρώτο εισαγωγικό κεφάλαιο εξηγεί τις σημασίες ορισμένων βασικών όρων, όπως το prospecting και το exploration, και εστιάζει στη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται σε κάθε ένα από αυτά. Κατά το prospecting η κυβέρνηση αποφασίζει να διεξάγει σεισμικές έρευνες σε περιοχές που έχουν δυναμικό ταμιευτήρα και μετά οι εταιρείες διεκδικούν το δικαίωμα για περαιτέρω έρευνα των περιοχών αυτών. Επίσης, στο exploration, η έμφαση δίνεται στις διαφορετικές τεχνικές (γεωφυσικές, γεωτρητικές και μέθοδοι τηλεπισκόπησης) που χρησιμοποιούνται από τις εταιρείες για την απόκτηση γεωλογικής γνώσης για την περιοχή που μελετάται.

Το δεύτερο κεφάλαιο σχετίζεται με τα στοιχεία που αποτελούν ένα πετρελαϊκό σύστημα. Οπότε, ξεκινάει με τα μητρικά πετρώματα, ασχολείται με τον τρόπο με τον οποίο αυτά δημιουργούνται και πώς η οργανική τους ύλη μετατρέπεται σε υδρογονάνθρακες. Έπειτα, εξετάζει τα χαρακτηριστικά των παραγωγικών ταμιευτήρων, όπως για παράδειγμα το πορώδες και η διαπερατότητα, το διαχωρισμό των ρευστών στο εσωτερικό τους λόγω των διαφορών πυκνότητας και τα αποθετικά περιβάλλοντα στα οποία σχηματίζονται τα πετρώματα ταμιευτήρες. Επιπλέον, αναφέρονται οι ιδιότητες και οι θέσεις των πιο συνηθισμένων πετρωμάτων καλυμμάτων και ακολουθεί η μετανάστευση των υδρογονανθράκων. Η πορεία που διανύουν εγκαταλείποντας το μητρικό πέτρωμα, καταλήγοντας στον ταμιευτήρα, καθώς και οι κινήσεις τους μέσα σε αυτόν, αναλύονται. Το κεφάλαιο κλείνει με τις κατηγορίες των διαφορετικών παγίδων υδρογονανθράκων και τη σημασία του χρόνου για τα γεγονότα που λαμβάνουν χώρα για τη γένεση ενός κοιτάσματος πετρελαίου ή/και φυσικού αερίου.

Το τρίτο και τελευταίο κομμάτι της έκθεσης ασχολείται με τις τρισδιάστατες σεισμικές διασκοπήσεις και καταγράφει τις διαδικασίες απόκτησης, επεξεργασίας, απεικόνισης και ερμηνείας των σεισμικών δεδομένων. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου γίνονται φανερά στην επόμενη ενότητα, που περιλαμβάνει μερικά παραδείγματα περιοχών που έχουν μελετηθεί με τη χρήση των 3-D Seismics. Επίσης, επεξηγούνται οι όροι του target και του positioning. Το τελευταίο τμήμα της εργασίας περιγράφει τους τρεις τύπους γεωτρήσεων που χρησιμοποιούνται στην έρευνα και την παραγωγή των υδρογονανθράκων, τις ερευνητικές, τις επιβεβαιωτικές και τις παραγωγικές γεωτρήσεις. Εξετάζονται τα βήματα για τον πλήρη σχεδιασμό, την όρυξη, την ολοκλήρωση και την εγκατάλειψη των γεωτρήσεων και απαριθμούνται οι τρόποι με τους οποίους γίνεται η δειγματοληψία. Αναφέρεται ο σκοπός του κάθε είδους γεώτρησης και γίνεται λόγος για τις πιο σημαντικές γεωφυσικές δοκιμές, τους ελέγχους παραγωγής και τις διαγραφίες.

Συμπερασματικά, και η γεωλογία και η γεωφυσική είναι απαραίτητες για την επιτυχή ολοκλήρωση ενός προγράμματος έρευνας και παραγωγής υδρογονανθράκων, και μέσα από την εξέλιξη της τεχνολογίας, θα συνεχίσουν να παρέχουν στους επιστήμονες νέες γνώσεις και μεθόδους για την αντιμετώπιση των μελλοντικών δύσκολων προκλήσεων της βιομηχανίας του πετρελαίου και του φυσικού αερίου.

SUMMARY

The purpose of my thesis is to analyze the intricate connection between the disciplines of geology and geophysics and the role of each in the exploration and production of hydrocarbons. The paper is composed of three chapters, which provide a detailed description of all the stages of an exploration and production project, from the beginning, the conception of the notion that hydrocarbons may be trapped inside specific geologic structures, to the end, when petroleum or natural gas flow out of the wells and into the market.

The first introductory chapter explains the definitions of some basic terms, such as prospecting and exploration, and focuses on the methodology used in each one of them. During prospecting the government decides to conduct seismic researches on areas that may have reservoir potential and then, companies claim the right to further explore them. In addition, during exploration, emphasis is given on the different practices used (geophysical, drilling and remote sensing methods) by companies, for the obtainment of geologic knowledge about the study area.

The second chapter deals with the elements that comprise a petroleum system. So, it starts with source rocks, discusses how they are developed and how their organic material turns to hydrocarbons. Next, it examines the characteristics of prolific reservoirs, for instance porosity and permeability, the way fluids are separated in their interior due to density differences and the depositional environments in which reservoir rocks are formed. Moreover, the traits and positions of the most usual cap rocks are mentioned and the migration of the hydrocarbons follows. The route they pursue as they abandon the source rock, end up in the reservoir and their movements inside it are analyzed. The chapter finishes with the categories of different hydrocarbon traps and the importance of time in the events that take place for the genesis of a petroleum and/or natural gas deposit.

The third and last section of the paper is concerned with the method of 3-D Seismics, and documents the acquisition, process, display and interpretation of seismic data. The advantages of this technique are clearly visible in the following segment, which includes several examples of areas studied with the use of 3-D Seismics. The idioms of target and positioning are also explicated. The last part of the thesis describes the three types of wells used in hydrocarbon exploration and production, exploration, appraisal and production wells. The steps of the complete planning, drilling, completing and abandoning of wells are examined and the ways in which sampling is performed are listed. The purpose of each kind of well is mentioned and the most important geophysical surveys, tests and well logs are briefly discussed.

In conclusion, both geology and geophysics are essential for the successful completion of a hydrocarbon exploration and production project, and through the evolution of technology, they will continue providing scientists with new knowledge and techniques, for the confrontation of future daunting challenges of the oil and gas industry.

Περιεχόμενα:

Σελίδα:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Η έννοια του prospecting.....	1
1.2 Η έννοια του exploration.....	2
1.2.1 Μέθοδοι Έρευνας.....	3
1.2.2 Γεωφυσικές Μέθοδοι.....	3
1.2.3 Τηλεπισκόπηση.....	6
1.2.4 Γεωτρήσεις.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	9
2.1 Η έννοια του πετρελαϊκού συστήματος.....	9
2.2 Το μητρικό πέτρωμα (Source Rock).....	9
2.3 Το πέτρωμα ταμιευτήρας (Reservoir Rock).....	12
2.3.1 Τα αποθετικά περιβάλλοντα των ταμιευτήρων.....	15
2.4 Το πέτρωμα κάλυμμα (Cap Rock).....	18
2.5 Η μετανάστευση (Migration).....	18
2.6 Η παγίδα (Trap).....	20
2.7 Ο χρόνος (Time).....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ.....	28
3.1 Τρισδιάστατες Σεισμικές Διασκοπήσεις (3D Seismics).....	28
3.2 Παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου.....	31
3.3 Η έννοια του target.....	36
3.4 Η έννοια του positioning.....	37
3.5 Οι γεωτρήσεις (Drilling).....	38
3.5.1 Ερευνητικές γεωτρήσεις (Exploratory Wells).....	42
3.5.2 Επιβεβαιωτικές Γεωτρήσεις (Appraisal Wells).....	45
3.5.3 Παραγωγικές Γεωτρήσεις (Production Wells).....	47
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	51
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	52
ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	53

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ PROSPECTING

Η γεωλογία πετρελαίου είναι η επιστήμη που μελετάει τις συνθήκες και τις προϋποθέσεις της γένεσης των υδρογονανθράκων, της πορείας που αυτοί ακολουθούν στο γεωλογικό χρόνο και της συγκέντρωσής τους σε συγκεκριμένους χώρους με αποτέλεσμα τη δημιουργία κοιτασμάτων. Όμως οι τομείς της επιστήμης αυτής επικεντρώνονται κυρίως στην έρευνα και την αναζήτηση των υδρογονανθράκων (Sroor, 2010).

Η έρευνα για την εύρεση υδρογονανθράκων είναι αυτή που τελικά αποδεικνύει την ύπαρξη ή όχι ενός κοιτάσματος και δίνει στοιχεία για το αν αυτό είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμο. Το πρώτο από τα πολλά της στάδια είναι αυτό της αναζήτησης (prospecting), που αναλύεται στην ενότητα αυτή.

Η γεωλογία πετρελαίου βασίζεται όχι τόσο στον άμεσο εντοπισμό του ίδιου του πετρελαίου αλλά κυρίως στην ανίχνευση πετρελαιοπιθανών δομών, δηλαδή κατάλληλων γεωλογικών σχηματισμών στους οποίους υπάρχει πιθανότητα να έχουν συγκεντρωθεί μεγάλες ποσότητες πετρελαίου ή/και φυσικού αερίου (Γεωργακόπουλος).

Για να διαπιστωθεί αν στο υπέδαφος ενός κράτους υπάρχουν κοιτάσματα υδρογονανθράκων και για να γίνει ο πλούτος αυτός αντικείμενο εκμετάλλευσης ακολουθείται η διαδικασία της αναζήτησης (prospecting). Η αναζήτηση πραγματοποιείται συνήθως από αρμόδιους κρατικούς φορείς όταν αυτοί υπάρχουν, αλλά μπορεί να ανατεθεί και από το ίδιο το κράτος σε κάποια μη κρατική εταιρεία που ειδικεύεται στο συγκεκριμένο κλάδο εργασιών. Τα στάδια της αναζήτησης περιγράφονται παρακάτω.

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, ο πρώτος στόχος της αναζήτησης είναι η ανίχνευση πετρελαιοπιθανών δομών. Σε αυτό μπορεί να βοηθήσει η εργασία γραφείου (desk study), η οποία παίζει έναν αρκετά σημαντικό ρόλο ως πρώτο στάδιο της διερεύνησης. Έτσι, σε αυτή τη φάση μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορων ειδών χάρτες, αεροφωτογραφίες καθώς και παλαιότερες μελέτες ή εργασίες που έχουν γίνει για την περιοχή έρευνας (Μαρίνος). Οπότε, με διαθέσιμα τα παραπάνω στοιχεία γίνεται προσπάθεια για τον εντοπισμό μεγάλων ιζηματογενών λεκανών με πετρώματα τα οποία θα μπορούσαν να φιλοξενούν υδρογονάνθρακες, αλλά και διάφορων δομών που θα μπορούσαν να τους παγιδέψουν, όπως πτυχές, ρήγματα και ασυμφωνίες (Γεωργακόπουλος). Η εργασία γραφείου έχει μεγάλη σημασία καθώς είναι το πρώτο βήμα το οποίο πρέπει να γίνει για τον εντοπισμό ενός κοιτάσματος, μπορεί να αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα για τη συνέχιση ή όχι της έρευνας αλλά και για τον τρόπο με τον οποίο θα οργανωθεί αυτή (Μαρίνος). Επίσης, ενώ μπορεί να είναι αρκετά αποτελεσματική, έχει πολύ μικρότερο κόστος από τις επόμενες δαπανηρές και χρονοβόρες μεθόδους της έρευνας.

Εφόσον εντοπιστεί, μέσω της εργασίας γραφείου και της εργασίας πεδίου, κάποια λεκάνη ή άλλη γεωλογική δομή που είναι πιθανό να φιλοξενεί υδρογονάνθρακες, το

κράτος προχωρεί σε γεωφυσική, και πιο συγκεκριμένα σεισμική, έρευνα της συγκεκριμένης τοποθεσίας. Δηλαδή, το κράτος εκτελεί είτε δυσδιάστατες είτε τρισδιάστατες σεισμικές διασκοπήσεις με την ελπίδα ότι θα εντοπιστούν στόχοι, δηλαδή παραγωγικοί ορίζοντες, στους οποίους με βάση τη γεωλογία και την οικονομία συμφέρει να γίνουν γεωτρήσεις για την ανακάλυψη κοιτασμάτων (Hype, 2012). Όταν διεξάγονται δυσδιάστατες σεισμικές διασκοπήσεις, οι στόχοι ονομάζονται leads, ενώ αν οι έρευνες είναι τρισδιάστατες οι στόχοι αποκαλούνται prospects. Οι έρευνες αυτές, που περιγράφονται διεξοδικά σε επόμενο κεφάλαιο, δίνουν αρκετά καθαρές απεικονίσεις της δομής του υπεδάφους και υποδεικνύουν ποιοι γεωλογικοί σχηματισμοί πληρούν τις προϋποθέσεις που είναι απαραίτητες για την παγίδευση των υδρογονανθράκων, καθιστώντας τη διαμόρφωση συμπερασμάτων πιο ασφαλή και σίγουρη.

Η εργασία γραφείου και οι σεισμικές διασκοπήσεις, που αναλύθηκαν πιο πάνω, και χρησιμοποιούνται για να γίνει μια πρώτη εκτίμηση του περιεχομένου του υπεδάφους μίας χώρας αποτελούν τα κύρια μέρη της διαδικασίας της αναζήτησης (prospecting).

Αν οι γεωφυσικές έρευνες ολοκληρωθούν και δώσουν θετικά πορίσματα, το κράτος ή η εταιρεία που έχει αναλάβει το έργο συνήθως χωρίζει την περιοχή που έχει μελετηθεί σε μεγάλα τεμάχια ή oil exploration blocks. Τα δικαιώματα έρευνας και παραγωγής υδρογονανθράκων για το κάθε ένα από αυτά τα blocks κατοχυρώνονται από εταιρείες ή κοινοπραξίες εταιρειών μέσω διαδικασιών διαγωνισμού, που οργανώνεται από ειδικούς φορείς της κυβέρνησης (Γεωργακόπουλος). Μερικές φορές το κομμάτι του διαγωνισμού μπορεί να παραληφθεί και μέσω συμφωνιών ή διαπραγματεύσεων μεταξύ του κράτους και των εταιρειών, μπορούν οι τελευταίες να αποκτήσουν τα παραπάνω δικαιώματα. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι όταν μία εταιρεία καταθέτει προσφορά για ένα οικόπεδο δεν γνωρίζει απαραίτητα με βεβαιότητα πως υπάρχει πετρέλαιο ή φυσικό αέριο στην έκταση αυτή. Τις περισσότερες φορές οι εταιρείες καταθέτουν τις προσφορές τους έχοντας πραγματοποιήσει υπολογισμούς με στόχο τη μεγιστοποίηση της πιθανότητας να βρουν υδρογονάνθρακες στην περιοχή που τους ενδιαφέρει (Γεωργακόπουλος). Μετά το τέλος του διαγωνισμού, και εφόσον η εταιρεία έχει εξασφαλίσει τα προαναφερθέντα δικαιώματα, άδειες και έγγραφα που καθορίζονται από το Νόμο, μπορεί να ξεκινήσει τις διαδικασίες της έρευνας (exploration) της έκτασης του block.

1.2 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ EXPLORATION

Αφού ολοκληρωθούν όλες οι διαδικασίες του σταδίου της αναζήτησης, τα αποτελέσματα αυτής κριθούν θετικά και εφόσον η εταιρεία έχει εξασφαλίσει το δικαίωμα μελέτης ενός block, μπορεί να προχωρήσει στο επόμενο βήμα, το οποίο αποτελείται από την έρευνα (exploration). Η έρευνα χαρακτηρίζεται από ποικίλες μεθόδους, οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό η μία με την άλλη. Οι μέθοδοι αυτές αποσκοπούν στον εμπλουτισμό των πληροφοριών και γνώσεων που έχει ήδη συλλέξει η εταιρεία και στην τελική απάντηση στο ερώτημα αν όντως υπάρχουν υδρογονάνθρακες στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, η έρευνα (exploration) είναι ένα πολύ δαπανηρό και χρονοβόρο σύνολο διαδικασιών. Μάλιστα σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να διαρκέσει πολλά χρόνια. Το κόστος και η διάρκεια της έρευνας έχουν άμεση σχέση με διάφορους παράγοντες, με κυριότερους τους

τεχνικούς και τους πολιτικούς. Για παράδειγμα στους τεχνικούς παράγοντες εντάσσονται η τοποθεσία της περιοχής που μελετάται, η ευκολία ή δυσκολία της προσβασιμότητας σε αυτήν, η φύση της περιοχής αυτής (αν είναι χερσαία ή θαλάσσια) καθώς και οι συνθήκες που επικρατούν σε αυτή. Οι πολιτικοί παράγοντες μπορούν να αποτελούνται από αυστηρές νομοθεσίες, γραφειοκρατικά προβλήματα αλλά και διαφωνίες μεταξύ γειτονικών κρατών (αν η περιοχή ενδιαφέροντος βρίσκεται κοντά σε σύνορα) (Gluyas and Swarbrick, 2004). Εξίσου σημαντικοί είναι και οι κοινωνικοί παράγοντες, όπως οι ενδεχόμενες αντιδράσεις που μπορεί να προκύψουν αν η έκταση στην οποία θα δραστηριοποιηθεί η εταιρεία βρίσκεται κοντά ή επηρεάζει κατοικημένες περιοχές, αλλά και οι οικονομικοί όπως το κεφάλαιο που διαθέτει μία εταιρεία για να αφιερώσει στην έρευνα.

Κατά τη διάρκεια της έρευνας ο σκοπός είναι να διευκρινιστεί ο τύπος της μορφής που ενδέχεται να παγιδεύει τους υδρογονάνθρακες καθώς και η ιστορία του στο γεωλογικό χρόνο, να διαπιστωθεί αν στο σύστημα που μελετάται περιέχονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τη γένεση και την παγίδευση των υδρογονανθράκων και πώς αυτά διαμορφώνονται στο χώρο και σχετίζονται μεταξύ τους. Επιπλέον, γίνεται προσπάθεια να δοθεί μία σαφής εικόνα της στρωματογραφίας της περιοχής που διερευνάται. Τέλος, αν αποδειχθεί η ύπαρξη υδρογονανθράκων ελέγχεται αν έχει περάσει ο απαραίτητος χρόνος για την ωρίμανσή τους και την άντλησή τους στην επιφάνεια (Gluyas and Swarbrick, 2004).

1.2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η εργασία υπαίθρου μαζί με τη χαρτογράφηση και την κατασκευή γεωλογικών τομών είναι μερικά από τα πρώτα και αναπόσπαστα κομμάτια της έρευνας. Αυτές επιβεβαιώνουν και συμπληρώνουν τα αποτελέσματα της εργασίας γραφείου (Γεωργακόπουλος). Με τη χαρτογράφηση γίνονται φανερά τα όρια μεταξύ των πετρωμάτων του συστήματος που διερευνάται, καθώς και η έκταση που καταλαμβάνει το κάθε πέτρωμα, ενώ από τις γεωμορφολογικές τομές προκύπτει μία αρκετά σαφής και λεπτομερής αποτύπωση του ανάγλυφου της περιοχής (Halliburton, 2004). Η εργασία υπαίθρου δίνει την ευκαιρία απόκτησης μίας πρώτης εικόνας του περιβάλλοντος της πετρελαιοπιθανής δομής, αναγνώρισης των πετρωμάτων της περιοχής, αλλά και πραγματοποίησης διάφορων ειδών δειγματοληψιών. Παλαιότερα ήταν δυνατό από εμφανίσεις πετρελαίου ή και φυσικού αερίου που είχαν διαφύγει στην επιφάνεια να εντοπιστούν κοιτάσματα, οπότε η εργασία υπαίθρου είχε ακόμη μεγαλύτερη σημασία. Σήμερα όμως, τέτοιες περιπτώσεις είναι σπάνιες, καθώς τα περισσότερα σημεία στα οποία είχαν παρατηρηθεί διαρροές υδρογονανθράκων έχουν πλέον μελετηθεί (Γεωργακόπουλος).

Σύμφωνα με το Γεωργακόπουλο, οι τρεις πιο σημαντικές μέθοδοι έρευνας για τους υδρογονάνθρακες, είναι οι γεωφυσικές μέθοδοι, οι μέθοδοι που βασίζονται στην τηλεπισκόπηση και η όρυξη γεωτρήσεων.

1.2.2 ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η γεωφυσική έρευνα βασίζεται στην αρχή σύμφωνα με την οποία όλα τα πετρώματα του υπεδάφους της γης έχουν ορισμένες φυσικές ιδιότητες που τα χαρακτηρίζουν. Μέσω των γεωφυσικών μεθόδων γίνεται απόπειρα ποσοτικοποίησης των ιδιοτήτων αυτών με σκοπό το διαχωρισμό των διάφορων κατηγοριών

πετρωμάτων. Έτσι, γίνεται δυνατός ο προσδιορισμός χαρακτηριστικών όπως η θέση και το βάθος στα οποία βρίσκεται ένα πέτρωμα, η έκταση που καταλαμβάνει στο χώρο και η ικανότητά του να συγκρατεί ρευστά στο εσωτερικό του (Halliburton, 2004). Τα στοιχεία αυτά βρίσκουν εφαρμογή στην αξιολόγηση όλων των πετρωμάτων που θεωρείται ότι αποτελούν ένα πετρελαϊκό σύστημα και στην ασφαλέστερη διεξαγωγή συμπερασμάτων για τη φύση του συστήματος αυτού. Οι γεωφυσικές μέθοδοι χωρίζονται στις μαγνητικές, τις βαρυτικές και τις σεισμικές.

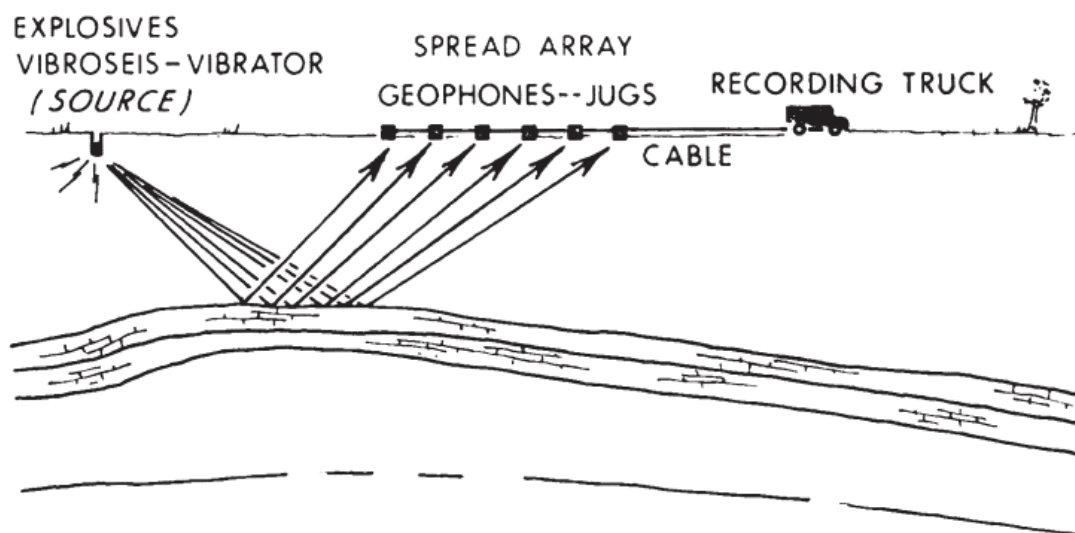
Κατά τη μαγνητική μέθοδο με την χρήση μαγνητόμετρου ανιχνεύονται και καταγράφονται οι μεταβολές του μαγνητικού πεδίου της γης που χαρακτηρίζουν το κάθε πέτρωμα (Γεωργακόπουλος). Στη συνέχεια τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την κατασκευή χαρτών που αντικατοπτρίζουν τη διαμόρφωση της περιοχής που μελετάται και καθιστούν εμφανείς διάφορες τεκτονικές δομές που θα μπορούσαν να φιλοξενούν υδρογονάνθρακες, όπως οι πτυχές και τα ρήγματα (Halliburton, 2004). Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό του μη ιζηματογενούς υποβάθρου από τα υπερκείμενα ιζηματογενή πετρώματα που μπορούν να είναι μέλη ενός πετρελαϊκού συστήματος, για τον προσδιορισμό του βάθους του υποβάθρου και του πάχους των ιζηματογενών πετρωμάτων αλλά και για τον έλεγχο "ύποπτων" δομών που μπορεί να αποτελούνται από μη κερδοφόρα πυριγενή πετρώματα ενώ αρχικά δίνουν την εντύπωση ιζηματογενών πετρωμάτων που εγκλείουν υδρογονάνθρακες (Selley, 1998). Τα μαγνητόμετρα χρησιμοποιούνται στην ξηρά, αλλά μπορούν ακόμη να πραγματοποιούν μετρήσεις είτε μεταφερόμενα από πλοία στη θάλασσα, είτε από αεροπλάνα στον αέρα (Gluyas and Swarbrick, 2004).

Κατά τη βαρυτική μέθοδο μέσω του βαρυτικού πεδίου της γης τα πετρώματα κατηγοριοποιούνται με βάση τις διαφορετικές τιμές πυκνότητάς τους. Τα ιζηματογενή πετρώματα τείνουν να έχουν μικρότερες πυκνότητες από ότι τα πυριγενή και τα μεταμορφωμένα. Από τις μετρήσεις κατασκευάζονται χάρτες στους οποίους φαίνονται οι μεγάλες γεωλογικές δομές, όπως και στην περίπτωση της μαγνητικής μεθόδου (Halliburton, 2004). Οι δόμοι άλατος και οι κοραλλιογενείς ύφαλοι διακρίνονται ξεκάθαρα σε τέτοιου είδους χάρτες λόγω της εξαιρετικά μικρής τους πυκνότητας σε σχέση με τα υπόλοιπα πετρώματα (Link, 1999). Όπως και στην προηγούμενη μέθοδο οι βαρυτικές διασκοπήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν από την ξηρά, τη θάλασσα και τον αέρα (Gluyas and Swarbrick, 2004). Οι δύο μέθοδοι που περιγράφηκαν παραπάνω συνήθως χρησιμοποιούνται στα αρχικά στάδια της έρευνας, απαιτούν σχετικά μικρό κόστος, καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις σε μικρό χρονικό διάστημα και μπορούν να εφαρμοστούν σε δυσπρόσιτες περιοχές όπου δεν είναι δυνατή η πραγματοποίηση σεισμικών διασκοπήσεων (Selley, 1998).

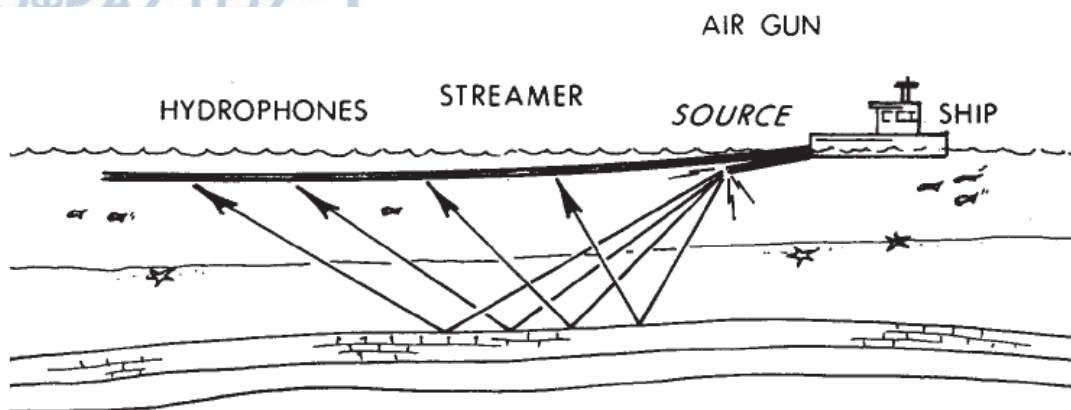
Η πιο σημαντική και ακριβής από τις γεωφυσικές μεθόδους είναι η σεισμική διασκόπηση. Όταν εφαρμόζεται αυτή, μία πηγή παράγει ελαστικά κύματα τα οποία διαδίδονται στο εσωτερικό της γης, φτάνοντας σε βάθη αρκετών χιλιομέτρων, και τελικά όταν συναντήσουν κάποια ασυνέχεια (οποιαδήποτε λιθολογική αλλαγή) ανακλώνται προς την επιφάνεια (Halliburton, 2001). Ο χρόνος που χρειάζονται τα ελαστικά κύματα μέχρι να συναντήσουν κάποια λιθολογική αλλαγή, που προκαλεί την ανάκλασή τους, και να επιστρέψουν στην επιφάνεια μπορεί με διάφορους υπολογισμούς να δώσει πληροφορίες για τα πάχη των στρωμάτων του υπεδάφους, ενώ ανάλογα με το πόσο ισχυρό είναι το σήμα που επιστρέφει στην επιφάνεια προκύπτουν συμπεράσματα για τις ιδιότητες των διάφορων πετρωμάτων που συναντούν τα ελαστικά κύματα (Bacon, Simm και Redshaw, 2003).

Η πηγή που αναφέρθηκε πιο πάνω, για την ξηρά μπορεί να είναι κάποια τεχνητή έκρηξη ή πιο συχνά ένα σύστημα που προκαλεί δονήσεις εκμεταλλεύοντας το ίδιο του το βάρος και έχει τη μορφή φορτηγού (Vibroiseis ή Thumper) (Hyne, 2012), ενώ για τη θάλασσα έχει τη μορφή αεροβόλων, που βρίσκονται στο πίσω μέρος ειδικού σκάφους και αποτελούνται από θαλάμους στους οποίους κυκλοφορεί αέρας υπό πίεση (air guns). Τα ανακλώμενα κύματα που επιστρέφουν στην επιφάνεια ανιχνεύονται από ειδικές συσκευές που ονομάζονται γεώφωνα για την ξηρά και υδρόφωνα για τη θάλασσα (Halliburton, 2001). Τα γεώφωνα τοποθετούνται σε συγκεκριμένες θέσεις στην επιφάνεια της γης, ενώ τα υδρόφωνα είναι τοποθετημένα σε ειδικά καλώδια, τα streamers, τα οποία με διάφορα μέσα παραμένουν σε συγκεκριμένο βάθος κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, και είναι δεμένα στο πίσω μέρος των ειδικών σκαφών που πραγματοποιούν τις σεισμικές έρευνες (Bacon, Simm και Redshaw, 2003). Οι συσκευές αυτές είναι ευαίσθητες στις κατακόρυφες κινήσεις του εδάφους τις οποίες μετατρέπουν σε ηλεκτρικό σήμα (Hyne, 2012). Στη συνέχεια το σήμα αυτό καταλήγει σε μία καταγραφική μονάδα που συνήθως συνδέεται με υπολογιστή για την επεξεργασία του (Halliburton, 2001).

Η ιδιότητα που διαφοροποιεί τα πετρώματα και σχετίζεται με τον ελαστικό τους χαρακτήρα είναι η ταχύτητα με την οποία τα παραγόμενα κύματα τα διασχίζουν. Η ταχύτητα αυτή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πυκνότητα αλλά και από το πορώδες (Halliburton). Τέλος, τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων είναι συνήθως σεισμικές τομές δύο διαστάσεων ή κυβικά διαγράμματα τριών διαστάσεων που απεικονίζουν καθαρά τη δομή του υπεδάφους (Link, 1999) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή διάφορων ειδών χαρτών (Hyne, 2012). Να σημειωθεί ότι για να είναι οι θέσεις των μετρήσεων όσο γίνεται πιο ακριβείς χρησιμοποιείται πάντα το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (Bacon, Simm και Redshaw, 2003).



Εικόνα 1.1: Η αρχή της σεισμικής μεθόδου στην ξηρά (Από Hyne, 2012).



Εικόνα 1.2: Η αρχή της σεισμικής μεθόδου στη θάλασσα (Από Hynes, 2012).

1.2.3 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Στις μεθόδους που μπορούν να καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις γρήγορα και χωρίς μεγάλο κόστος εντάσσονται και αυτές που βασίζονται στην τηλεπισκόπηση. Η ταχύτητα αναπτυσσόμενη αυτή επιστήμη προσφέρει στο κοινό τεράστιους αριθμούς αεροφωτογραφιών που λαμβάνονται σε διάφορα ύψη από εξειδικευμένα αεροσκάφη, και ψηφιακών εικόνων που λαμβάνονται από εξελιγμένους σαρωτές, που λειτουργούν σε διαφορετικά τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, και μεταφέρονται από δορυφόρους. Η τηλεπισκόπηση συμβάλλει στον εντοπισμό μεγάλων λεκανών ή και άλλων δομών και στον προσδιορισμό της μορφής και των διαστάσεών τους αλλά έχει επίσης αποδειχθεί αποτελεσματική στην ανίχνευση διαρροών υδρογονανθράκων (Gluyas and Swarbrick, 2004).

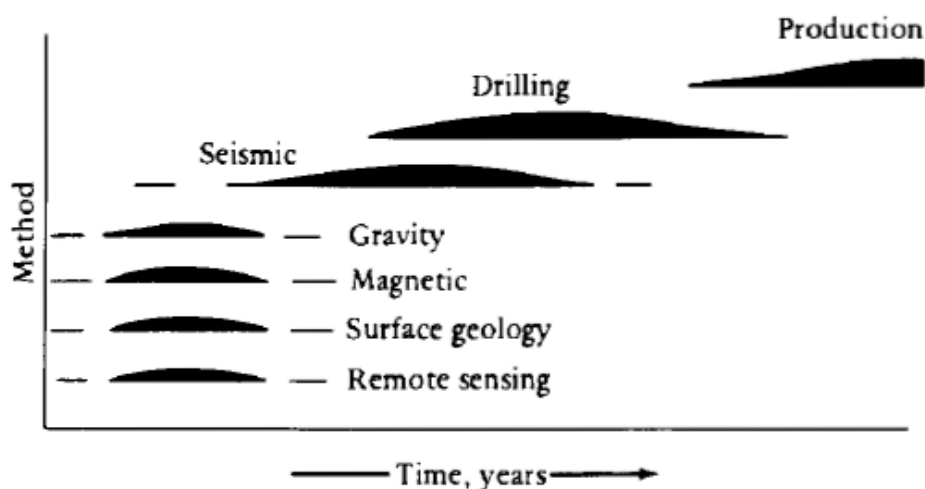
1.2.4 ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

Αφού όλες οι μέθοδοι έρευνας που περιγράφηκαν στην ενότητα αυτή πραγματοποιηθούν και με βάση τις πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί γίνει αξιολόγηση των πετρωμάτων με ενθαρρυντικά συμπεράσματα, η εταιρεία συνεχίζει στο τελευταίο στάδιο του exploration, δηλαδή την όρυξη γεωτρήσεων. Μόνο οι γεωτρήσεις μπορούν να δώσουν οριστική απάντηση στο ερώτημα για την ύπαρξη των υδρογονανθράκων στην περιοχή που διερευνάται (Γεωργακόπουλος). Οι γεωτρήσεις με τις οποίες διαπιστώνεται αν ένα πέτρωμα φέρει υδρογονάνθρακες ονομάζονται ερευνητικές (exploration wells) (Γεωργακόπουλος). Κατά τη διάρκεια της έρευνας η προσπάθεια επικεντρώνεται στον προσδιορισμό της θέσης της πετρελαιοπιθανής δομής και στην επιλογή, με όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια, του πιο κατάλληλου και ευνοϊκότερου σημείου για να γίνει μία δοκιμαστική γεώτρηση η οποία στη συνέχεια, αν συναντήσει ικανοποιητική ποσότητα πετρελαίου ή και φυσικού αερίου, θα μετατραπεί σε παραγωγική.

Από τις γεωτρήσεις προκύπτουν ανάλογα με την επιλογή του κοπτικού άκρου θρύμματα πετρωμάτων ή πυρήνες. Σε αυτά μπορεί με διάφορες τεχνικές να γίνει φανερό αν υπάρχει πετρέλαιο ή φυσικό αέριο ενώ συχνά το ίδιο το πετρέλαιο αρχίζει να ρέει αργά από τις άκρες του πυρήνα. Οι πυρήνες υποβάλλονται σε επιτόπου και εργαστηριακές δοκιμές που δίνουν περισσότερα στοιχεία για τα χαρακτηριστικά των πετρωμάτων που διατρήθηκαν και καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να αντιμετωπιστούν κατά την εξόρυξη. Οι φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων (όπως το πορώδες, η διαπερατότητα, το πάχος κ.α.) μπορούν να προσδιοριστούν και να

ποσοτικοποιηθούν και με τις διαγραφίες ή loggings. Οι διαγραφίες είναι συνεχείς καταγραφές των ιδιοτήτων αυτών, που γίνονται με ειδικά όργανα, τους φωρατές, οι οποίοι μέσω ενός σύρματος τοποθετούνται μέσα στην οπή της γεώτρησης και βυθίζονται μέχρι εκεί που έχουν φτάσει τα κοπτικά άκρα. Έπειτα οι φωρατές ανελκύνονται προς την επιφάνεια και διαπερνώντας σιγά – σιγά τα στρώματα των πετρωμάτων, καταγράφουν τις συγκεκριμένες ιδιότητες. Επιπλέον για τον έλεγχο της ποιότητας των ρευστών που συναντούνται στους υπεδάφιους σχηματισμούς, των πιέσεών τους, αλλά και της συμπεριφοράς του πετρώματος που φιλοξενεί το πετρέλαιο ή και το φυσικό αέριο, χρησιμοποιείται το drill – stem testing (DST) κατά τη διάρκεια του οποίου τα ρευστά και οι υδρογονάνθρακες, εφόσον εντοπιστούν, ανέρχονται στην επιφάνεια για να μελετηθούν (Halliburton, 2001).

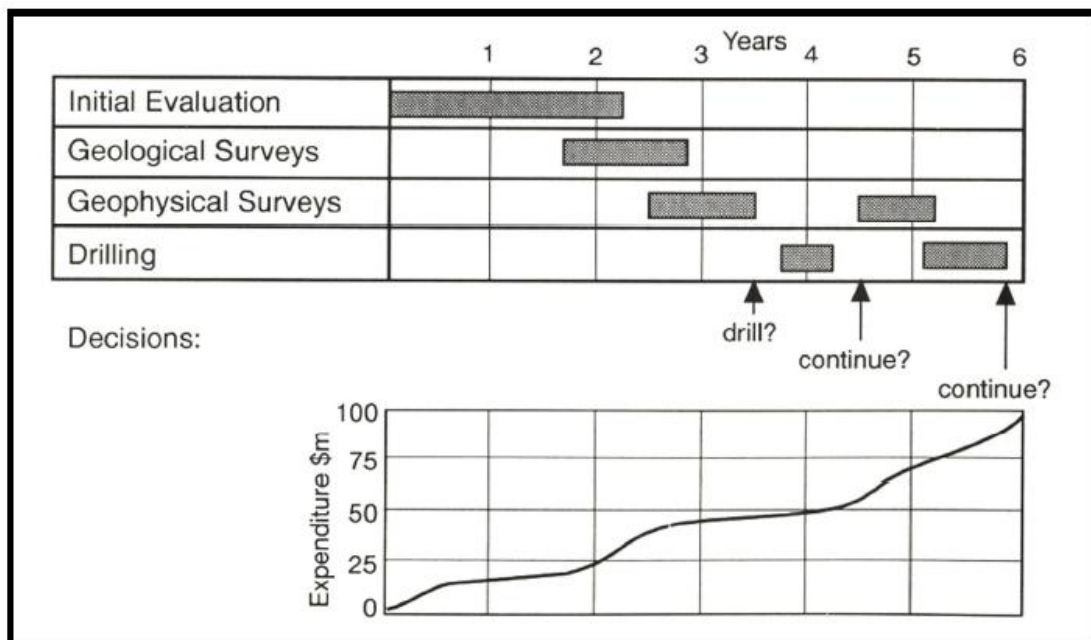
Εφόσον ολοκληρωθεί η πρώτη ερευνητική γεώτρηση και είναι επιτυχής, η εταιρεία μπορεί να προχωρήσει στην όρυξη, σε άλλα σημεία, κι άλλων δοκιμαστικών γεωτρήσεων που στη συνέχεια μπορεί να μετατραπούν σε παραγωγικές. Επειδή οι γεωτρήσεις είναι εξαιρετικά δαπανηρές και το οικονομικό ρίσκο είναι μεγάλο για τις περισσότερες εταιρείες, είναι σημαντικό πριν την όρυξή τους να έχουν χρησιμοποιηθεί όλες οι παραπάνω μέθοδοι έρευνας και οι πληροφορίες που έχουν συγκεντρωθεί για την περιοχή ενδιαφέροντος και τα πετρώματά της να είναι όσο το δυνατό περισσότερες και πιο λεπτομερείς (Γεωργακόπουλος).



Εικόνα 1.3: Διάγραμμα που απεικονίζει τη σειρά με την οποία χρησιμοποιούνται οι διάφορες μέθοδοι έρευνας όταν μία περιοχή μελετάται με σκοπό τον εντοπισμό πετρελαιοπιθανών δομών και την εξόρυξη υδρογονανθράκων (Από Selley, 1998).

Το γεγονός ότι μία εταιρεία ή κοινοπραξία εταιρειών έχει εξασφαλίσει τα δικαιώματα έρευνας και παραγωγής υδρογονανθράκων από ένα exploration block δε σημαίνει απαραίτητα πως η ίδια εταιρεία ή κοινοπραξία θα πραγματοποιήσει από μόνη της όλα τα στάδια της έρευνας αλλά και της παραγωγής. Πολλές φορές είναι πιθανό στην έρευνα να συμμετάσχουν συνήθως μικρότερες εταιρείες που ειδικεύονται σε συγκεκριμένες δραστηριότητες. Για παράδειγμα, μία εταιρεία μπορεί να έχει ως αντικείμενο μόνο τις γεωφυσικές διασκοπήσεις, ενώ κάποια άλλη την ενοκίαση γεωτρυπάνων και την όρυξη γεωτρήσεων. Επίσης, αν για οικονομικούς

κυρίως λόγους μία εταιρεία δεν μπορεί να συνεχίσει μετά το exploration, μπορεί τα δικαιώματα της έρευνας και παραγωγής υδρογονανθράκων να μεταπωληθούν μαζί με τα δεδομένα που έχουν προκύψει από την έρευνα σε κάποια άλλη εταιρεία που θα συνεχίσει στην παραγωγή (Γεωργακόπουλος).



Εικόνα 1.4: Τα στάδια ενός ερευνητικού προγράμματος με στόχο την ανακάλυψη κοιτάσματος υδρογονανθράκων, η συνηθισμένη διάρκεια του καθενός και τα έξοδα σε συνάρτηση με το χρόνο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΩΛΟΓΙΑ

2.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Αρχικά η γένεση των υδρογονανθράκων και έπειτα η συγκέντρωση ποσοτήτων τους, σε βαθμό τέτοιο που να είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμοι, θα οδηγήσουν στη δημιουργία ενός κοιτάσματος υδρογονανθράκων (πετρελαίου, φυσικού αερίου ή και των δύο προηγούμενων). Για να γίνει, όμως αυτό και να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες γεωλογικές, φυσικές και χημικές διεργασίες που συνδέονται με τις παραπάνω έννοιες θα πρέπει να πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις. Οι προϋποθέσεις αυτές (είτε πρόκειται για συγκεκριμένα γεωλογικά στοιχεία ή δομές, είτε για διάφορες διαδικασίες) αποτελούν το πετρελαϊκό σύστημα και είναι οι ακόλουθες:

1. το μητρικό πέτρωμα (source rock)
2. το πέτρωμα ταμιευτήρας (reservoir rock)
3. το πέτρωμα κάλυμμα (cap rock)
4. η μετανάστευση των υδρογονανθράκων (migration)
5. η δομή παγίδευσης (trap)
6. ο χρόνος (time)

Στη συνέχεια κάθε ένας από τους παραπάνω παράγοντες του συστήματος θα παρουσιαστεί και θα επεξηγηθεί η σημασία του στην πορεία που ακολουθούν οι υδρογονάνθρακες από τη γένεσή τους μέχρι την εξέλιξη και τη συσσώρευσή τους. Είναι σημαντικό να τονιστεί, όπως θα διαπιστωθεί και αργότερα, πως οι παράγοντες αυτοί συνδέονται στενά μεταξύ τους και πως η συνύπαρξη όλων μαζί είναι αναγκαία για τον τελικό σχηματισμό ενός πλήρως ανεπτυγμένου κοιτάσματος.

2.2 ΤΟ ΜΗΤΡΙΚΟ ΠΕΤΡΩΜΑ (SOURCE ROCK)

Η αφετηρία της εξέλιξης των υδρογονανθράκων στο γεωλογικό χρόνο βρίσκεται στο πρώτο στοιχείο ενός πετρελαϊκού συστήματος, το μητρικό πέτρωμα (source rock). Μητρικό πέτρωμα ονομάζεται κάθε πέτρωμα στο εσωτερικό του οποίου είναι δυνατό να δημιουργηθούν υγροί και αέριοι υδρογονάνθρακες. Τα πετρώματα αυτά είναι συνήθως ιζηματογενή και το χαρακτηριστικό τους είναι πως είναι πλούσια σε οργανική ύλη (Sgroor, 2010).

Τα ιζήματα που δημιουργούνται και αποτίθενται στις διάφορες εκβαθύνσεις του φλοιού της γης αποτελούνται από δύο κύρια είδη συστατικών. Το πρώτο είδος είναι τα ανόργανα συστατικά (κυρίως διάφορα ορυκτά όπως ο χαλαζίας και οι άστριοι) και το δεύτερο είδος, το οποίο παρουσιάζει και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στη γεωλογία πετρελαίου, είναι η οργανική ύλη (όπως νεκρά τμήματα συνήθως μικροσκοπικών φυτικών ή ζωικών οργανισμών), καθώς από εκείνη προκύπτουν οι ουσίες που

αργότερα θα μετατραπούν σε υδρογονάνθρακες (Hyne, 2012). Έτσι τα ιζήματα που υπόκεινται σε διαγένεση και καταλήγουν να είναι μητρικά πετρώματα πρέπει να χαρακτηρίζονται από μεγάλες ποσότητες οργανικής ύλης (εξαιτίας της οποίας αποκτούν και το χαρακτηριστικό σκούρο – σχεδόν μαύρο χρώμα) γιατί από αυτές το ποσοστό που θα δώσει στη συνέχεια της πρόδρομες ουσίες του πετρελαίου και του φυσικού αερίου θα είναι πολύ μικρό. Παραδείγματα τέτοιων πετρωμάτων είναι η άργιλος, ο άνθρακας και ορισμένα είδη ασβεστόλιθων (Hyne, 2012).

Όμως, δεν αρκεί μόνο η μεγάλη περιεκτικότητα σε οργανικά συστατικά. Αν τα ιζήματα αυτά αποτεθούν σε μία λεκάνη και παραμείνουν για μεγάλο χρονικό διάστημα κοντά στην επιφάνεια της γης, η επαφή τους με το οξυγόνο και τα αερόβια βακτήρια θα οδηγήσει στην οξείδωση και κατά συνέπεια στη διάσπαση της οργανικής ύλης (Hyne, 2012). Επομένως είναι απαραίτητο αυτή να προστατευτεί και να αποτραπεί η επαφή της με την ατμόσφαιρα γιατί μόνο έτσι μπορεί να διατηρηθεί και να δώσει, μετά από διάφορες διαδικασίες και χημικές αντιδράσεις, πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Δηλαδή αν η απόθεση του πλούσιου σε οργανική ύλη ιζήματος γίνεται στη θάλασσα, το περιβάλλον θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από βαθιά νερά που δεν διαταράσσονται και δεν κυκλοφορεί σε αυτά καθόλου οξυγόνο, ενώ αν το ιζημα αποτεθεί στην ξηρά, τότε θα πρέπει να καλυφθεί γρήγορα από άλλα ιζήματα κατά προτίμηση μεγάλου πάχους (Hyne, 2012). Συμπερασματικά, τα ιδανικά μητρικά πετρώματα δημιουργούνται σε περιβάλλοντα ανοξικά με υψηλή παροχή οργανικής ύλης. Τέτοιου είδους περιβάλλοντα αποτελούν τα θαλάσσια, τα λιμναία, τα δελταϊκά καθώς και τα ηπειρωτικά περιθώρια.

Σύμφωνα με τους Gluyas και Swarbrick (2004) οι ζωικοί και φυτικοί οργανισμοί αποτελούνται κατά βάση από πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπίδια και λιγνίνη. Έτσι το μεγαλύτερο μέρος της οργανικής ύλης που καταλήγει στα ιζήματα, πριν αυτά υποστούν τις διεργασίες της διαγένεσης, αντιπροσωπεύεται από τα παραπάνω μακρομόρια.

Αφού το πλούσιο σε οργανική ύλη ιζημα ταφεί σε μικρό σχετικά βάθος αρχίζει η επίδραση πάνω σε αυτό της θερμοκρασίας, της πίεσης και της βακτηριακής διάσπασης κατά τη διάρκεια της διαγένεσης (Link, 1999). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η οργανική ύλη που περιέχεται στο ιζημα να αρχίζει να ωριμάζει και να υφίσταται αποσύνθεση, με τα αναερόβια βακτήρια να διασπούν τα μακρομόρια που αναφέρθηκαν νωρίτερα σε απλούστερα και ελαφρύτερα συστατικά. Το προϊόν αυτής της αποσύνθεσης είναι το βιογενές αέριο, που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο, και τις περισσότερες φορές απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα (Hyne, 2012). Τα συστατικά που προκύπτουν από τη διάσπαση των πολυμερών μπορούν αντιδρώντας μεταξύ τους να σχηματίσουν πιο πολύπλοκες ενώσεις, τα γεωπολυμερή.

Καθώς η ιζηματογένεση είναι δυναμική και συνεχής, αν δεν υπάρξει κάποια εξωγενής επίδραση, η απόθεση νέων ιζημάτων πάνω σε αυτά που περιέχουν την οργανική ύλη δεν σταματά. Έτσι, καθώς το βάρος των υπερκείμενων στρωμάτων αυξάνεται, την ίδια πορεία ακολουθεί και το βάθος ταφής των ιζημάτων. Οπότε η πίεση και η θερμοκρασία επίσης μεγαλώνουν προκαλώντας διάφορες χημικές διεργασίες τις οποίες υφίστανται τα γεωπολυμερή ώστε τελικά να μετατραπούν στο **κηρογόνο**, η σημασία του οποίου θα αναλυθεί στην επόμενη παράγραφο. Να προστεθεί ότι κατά τις διεργασίες αυτές ένα μεγάλο μέρος του οξυγόνου, υδρογόνου, θείου και αζώτου, που υπήρχαν στο ιζημα, αποβάλλονται.

Σε αυτή τη φάση η οργανική ύλη ενός πετρώματος του οποίου η διαγένεση έχει ολοκληρωθεί, αποτελείται από δύο ομάδες ενώσεων, σύμφωνα με τους Gluyas και Swarbrick (2004). Η πρώτη ομάδα είναι το βιτουμένιο και περιλαμβάνει ενώσεις που διαλύονται σε οργανικούς διαλύτες, ενώ η δεύτερη ομάδα είναι το κηρογόνο με ενώσεις που δεν διαλύονται σε οργανικούς διαλύτες. Το κηρογόνο καταλαμβάνει τα μεγαλύτερα ποσοστά σε ένα πέτρωμα μεταξύ των δύο ομάδων και αποτελεί το σύνολο των πρόδρομων ενώσεων των υδρογονανθράκων. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως το κηρογόνο απαντάται με διάφορες συστάσεις (που με τη σειρά τους εξαρτώνται από τη μορφή και τη σύσταση της οργανικής ύλης που περιείχε το ίζημα που αποτέθηκε πριν την πραγματοποίηση της διαγένεσης) οι οποίες δίνουν αντίστοιχα διαφορετικούς τύπους πετρελαίου (κυρίως όσον αφορά την ποιότητα) ή/και φυσικού αερίου.

Καθώς τα πετρώματα συνεχίζουν να βυθίζονται όλο και βαθύτερα, το κηρογόνο αρχίζει να υφίσταται τις αλλαγές που προκαλούνται από την αύξηση της πίεσης και κυρίως της θερμοκρασίας και τροποποιείται μέσα στο μητρικό πέτρωμα. Αυτή η τροποποίηση έχει σαν αποτέλεσμα, όταν η θερμοκρασία ανέβει στους 60 – 160 °C (θερμοκρασιακό διάστημα που καλείται «παράθυρο πετρελαίου»), τη γένεση υγρών υδρογονανθράκων, ή αλλιώς αργού πετρελαίου, και την ταυτόχρονη απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα και νερού. Αν η θερμοκρασία συνεχίσει να αυξάνεται και φτάσει στους 150 – 200 °C («παράθυρο αερίου») τότε το πετρέλαιο που έχει δημιουργηθεί νωρίτερα διασπάται και ακολουθεί ο σχηματισμός αερίων υδρογονανθράκων ή φυσικού αερίου. Το στάδιο κατά τη διάρκεια του οποίου παράγονται οι περισσότεροι υδρογονάνθρακες (υγροί και αέριοι) ονομάζεται καταγένεση (με θερμοκρασίες 50 – 150 °C), ενώ στο επόμενο και τελευταίο στάδιο της μεταγένεσης (όπου η θερμοκρασία παίρνει τιμές από 150 °C και πάνω) δημιουργούνται οι τελευταίες μικρές ποσότητες αερίων υδρογονανθράκων, όπως το μεθάνιο, το διοξείδιο του άνθρακα και το ξηρό αέριο (Selley, 1998).

Επομένως, το φυσικό αέριο μπορεί να σχηματιστεί κατευθείαν από συγκεκριμένα είδη οργανικής ύλης (με κυρίως ξυλώδη μορφή), αλλά και από το ίδιο το πετρέλαιο, αν αυτό θερμανθεί σε θερμοκρασίες που ξεπερνούν το παράθυρο πετρελαίου, και υποστεί δευτερογενή διάσπαση (Gluyas και Swarbrick, 2004). Επίσης, αν οι υδρογονάνθρακες συνεχίσουν να θερμαίνονται σε ακόμη υψηλότερες θερμοκρασίες καθώς το βάθος ταφής τους αυξάνεται τότε μετατρέπονται σε γραφίτη (Hyne, 2012).

Τα περισσότερα μητρικά πετρώματα σχηματίζονται κυρίως σε λιμναία, θαλάσσια και δελταϊκά περιβάλλοντα (Halliburton, 2001). Τα πιο χαρακτηριστικά και ιδανικά μητρικά πετρώματα είναι οι μαύρες άργιλοι που έχουν αποτεθεί σε ήσυχο και βαθύ θαλάσσιο περιβάλλον με ποσότητες οργανικής ύλης που ξεπερνούν το 0,5%. Μερικές φορές μητρικά πετρώματα μπορούν να αποτελέσουν και ορισμένοι σκουρόχρωμοι ασβεστόλιθοι που είναι επίσης πλούσιοι σε οργανική ύλη.

Επιπλέον, τα πετρελαϊκά συστήματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τη συμπεριφορά του πετρελαίου αμέσως μετά από τη γένεσή του και με το πέτρωμα από το οποίο αντλείται αυτό. Η πρώτη και πιο συνηθισμένη κατηγορία περιέχει τα συμβατικά πετρελαϊκά συστήματα. Στα συστήματα αυτά, όπως περιγράφηκε παραπάνω, το πετρέλαιο που δημιουργείται στο μητρικό πέτρωμα απομακρύνεται από αυτό και καταλήγει στο πέτρωμα ταμιευτήρα από όπου και εξορύσσεται με τις κλασικές ή συμβατικές μεθόδους εξόρυξης (πχ κατακόρυφες γεωτρήσεις). Στη

δεύτερη και πιο ιδιαίτερη κατηγορία ανήκουν τα μη συμβατικά πετρελαϊκά συστήματα, στα οποία το πετρέλαιο που σχηματίζεται στο μητρικό πέτρωμα δεν εκδιώκεται από αυτό, αλλά αντίθετα παραμένει εγκλωβισμένο μέσα του από όπου και τελικά εξορύσσεται με πιο πολύπλοκες, δαπανηρές μεθόδους καθώς και χρήση διάφορων χημικών ουσιών και προσθέτων, από ότι στην περίπτωση της πρώτης κατηγορίας πετρελαϊκών συστημάτων (πχ κατευθυνόμενες γεωτρήσεις και μέθοδοι θραύσεως του μητρικού πετρώματος).

2.3 ΤΟ ΠΕΤΡΩΜΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ (RESERVOIR ROCK)

Οι μεταβολές που υφίσταται το κηρογόνο κατά τη μετατροπή του σε υδρογονάνθρακες οδηγούν σε αύξηση του όγκου του, με αποτέλεσμα ο χώρος μέσα στον οποίο βρίσκονταν τα μόρια μίας ποσότητας κηρογόνου, να μην είναι αρκετός για τα μόρια των υδρογονανθράκων που σχηματίστηκαν από την ποσότητα αυτή. Καθώς η γένεση του πετρελαίου και του φυσικού αερίου συνεχίζεται αδιάκοπα στο μητρικό πέτρωμα (το οποίο συνήθως έχει πολύ μικρό πορώδες), αυτά λόγω του αυξανόμενου όγκου τους δεν μπορούν να παραμείνουν στο εσωτερικό του και αποβάλλονται από αυτό καταλήγοντας τελικά σε κάποιο άλλο πέτρωμα το οποίο να μπορεί να τα φιλοξενήσει. Το πέτρωμα αυτό στο οποίο αποθηκεύονται οι υδρογονάνθρακες ονομάζεται πέτρωμα ταμιευτήρας (reservoir rock) και χαρακτηρίζεται από σχετικά μεγάλο πορώδες και διαπερατότητα.

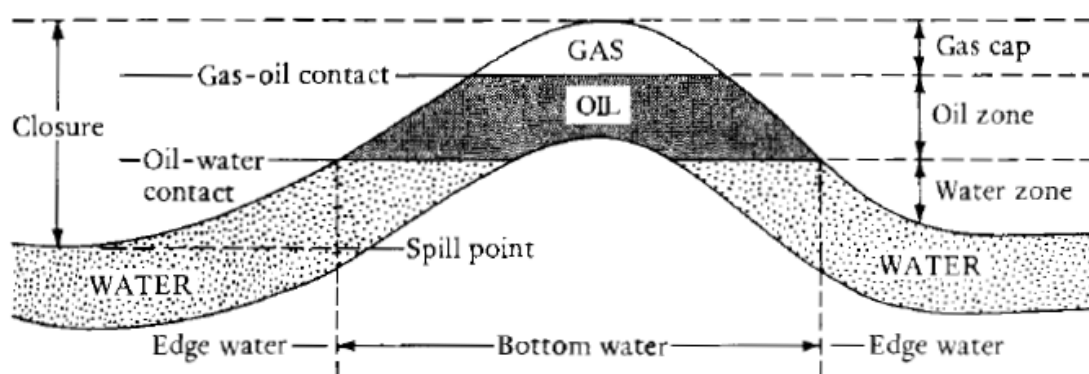
Τα πετρώματα έχουν στο εσωτερικό τους κενούς χώρους που ονομάζονται πόροι. Το πορώδες ενός πετρώματος είναι ο λόγος του όγκου των κενών αυτών χώρων (δηλαδή των πόρων) προς το συνολικό όγκο του πετρώματος και αν πάρει τη μορφή ποσοστού στα περισσότερα πετρώματα συνήθως κυμαίνεται από 10 ως 30% (Hypne, 2012). Το πορώδες είναι πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των πετρωμάτων ταμιευτήρων γιατί μέσα στους πόρους βρίσκονται το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, καθώς και άλλα ρευστά. Με τον υπολογισμό, λοιπόν του όγκου των πόρων ενός ταμιευτήρα μπορεί να γίνει γνωστό περίπου το μέγεθος της ποσότητας των υδρογονανθράκων που αυτός έχει συκρατήσει. Το πορώδες σχετίζεται με την τοποθέτηση των κόκκων ενός πετρώματος στο χώρο, με την ταξινόμησή τους, καθώς και με τη συμπαγοποίηση, τη συμπίεση και τη συγκόλληση που έχει υποστεί αυτό (Halliburton, 2001). Τα πετρώματα μπορούν να έχουν πρωτογενές πορώδες, το οποίο έχει δημιουργηθεί κατά τη διάρκεια της απόθεσής τους, αλλά μπορούν να έχουν και δευτερογενές πορώδες, το οποίο δημιουργείται αργότερα από άλλους παράγοντες όπως οι τεκτονικές (πχ ρωγμάτωση) και οι χημικές διεργασίες (πχ διάλυση, ανακρυστάλλωση). Έτσι, πέρα από τα συνηθισμένα πετρώματα ταμιευτήρες, που από τη φύση τους έχουν μεγάλες τιμές πρωτογενούς πορώδους, οποιοδήποτε άλλο πέτρωμα μπορεί να φιλοξενήσει υδρογονάνθρακες λόγω του δευτερογενούς πορώδους.

Ο συνολικός όγκος των κενών χώρων σε ένα πέτρωμα εκφράζεται από το ολικό πορώδες, όμως ο όγκος των πόρων που συνδέονται μεταξύ τους εκφράζεται από το ενεργό πορώδες και συνδέεται με την ικανότητα ροής των ρευστών μέσα από το πέτρωμα, δηλαδή τη διαπερατότητα (Sroog, 2010), η οποία αντικατοπτρίζει την ευκολία με την οποία κυκλοφορούν τα ρευστά μέσα στο πέτρωμα και κατά συνέπεια υποδεικνύει πόσο εύκολα θα ανέρθουν στην επιφάνεια το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο μέσω των γεωτρήσεων. Τη διαπερατότητα επηρεάζει κυρίως το μέγεθος των κόκκων ενός πετρώματος, το σχήμα τους, καθώς και η διάταξη αυτών στο χώρο. Να

σημειωθεί ότι παρόλο που το πορώδες και η διαπερατότητα συνδέονται μεταξύ τους, στη φύση δε συναντώνται πάντα μαζί σε ένα πέτρωμα.

Για να διαπιστωθεί αν ένας ταμιευτήρας είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμος μελετώνται διάφορες πετροφυσικές ιδιότητες. Εκτός από το πορώδες και τη διαπερατότητα, που είναι οι πιο σημαντικές, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν το βάθος στο οποίο βρίσκεται ο ταμιευτήρας, η έκταση και το πάχος του, ο κορεσμός σε ρευστά (δηλαδή σε τι ποσοστό οι πόροι του περιέχουν πετρέλαιο, φυσικό αέριο και νερό) και οι πιέσεις που ασκούνται στο εσωτερικό του (Stoog, 2010). Τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παραπάνω μπορούν να μεταβάλλονται αρκετά σε διαφορετικά σημεία μέσα στην έκταση του ταμιευτήρα, είτε αυτός είναι ομοιογενής, είτε αποτελείται από ένα σύνολο παρόμοιων λιθολογικών ενοτήτων (Gluyas και Swarbrick, 2004).

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, η γένεση των υδρογονανθράκων συνοδεύεται και από τη δημιουργία νερού μεγάλης αλατότητας. Επίσης, οι ταμιευτήρες μέσα στους οποίους εισέρχονται οι υδρογονάνθρακες περιέχουν αρχικά μία ποσότητα νερού στους πόρους τους. Επειδή το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο έχουν μικρότερες πυκνότητες από αυτές των υδάτων που περιγράφηκαν πιο πάνω, τείνουν να καταλαμβάνουν τα ανώτερα τμήματα της έκτασης του ταμιευτήρα. Έτσι, στο χαμηλότερο στρώμα του πετρώματος ταμιευτήρα βρίσκεται το νερό ως βαρύτερο, το οποίο διαχωρίζεται με μία νοητή γραμμή που ονομάζεται oil – water contact, από το πετρέλαιο, που βρίσκεται ακριβώς από πάνω. Επιπλέον το πετρέλαιο διαχωρίζεται από το αέριο, που καταλαμβάνει τον ανώτερο χώρο, με το αντίστοιχο όριο, gas – oil contact. Στις περιπτώσεις που στο κοίτασμα δεν υπάρχει πετρέλαιο, αλλά μόνο φυσικό αέριο, γίνεται λόγος για gas – water contact. Αυτές οι μεταβατικές γραμμές ή όρια μεταξύ των διάφορων ειδών ρευστών αποκαλούνται trap boundaries.

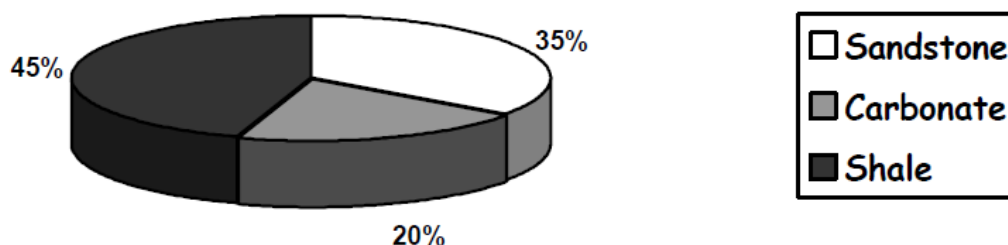


Εικόνα 2.1: Η κατανομή του πετρελαίου, του φυσικού αερίου, του νερού και τα trap boundaries στο εσωτερικό μίας παγίδας υδρογονανθράκων με τη μορφή αντικλίνου (Από Selley, 1998).

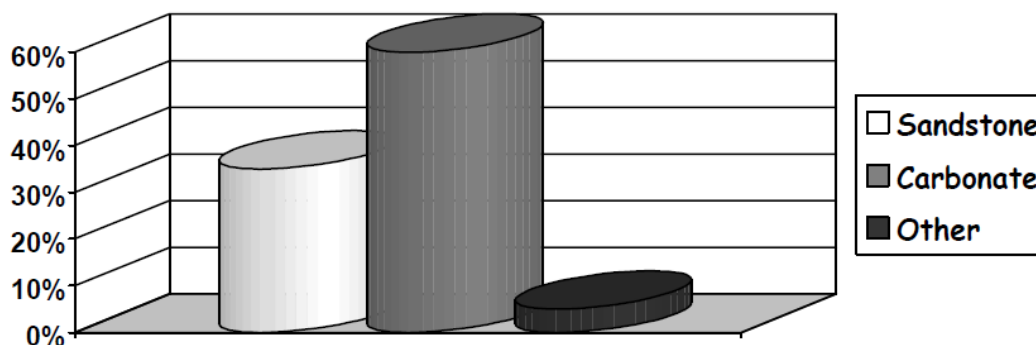
Τα πιο συνηθισμένα πετρώματα που πληρούν τις προϋποθέσεις για να αποκαλούνται ταμιευτήρες είναι οι ψαμμίτες, τα κροκαλοπαγή, οι ασβεστόλιθοι, οι δολομίτες και μερικές φορές οι κρητίδες. Οι ασβεστόλιθοι εμφανίζουν μεγαλύτερη ανομοιογένεια από τους ψαμμίτες κι έχουν συνήθως μικρότερο πορώδες, αλλά μεγάλη διαπερατότητα όταν είναι ρωγματωμένοι (Hypne, 2012). Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, τα περισσότερα πετρώματα μπορούν να λειτουργήσουν σαν ταμιευτήρες αν κατακερματιστούν. Παραδείγματα τέτοιων πετρωμάτων είναι οι ίδιες οι άργιλοι (που περιγράφηκαν στην ενότητα των μητρικών πετρωμάτων), οι

κερατόλιθοι, διάφορα μεταμορφωμένα πετρώματα όπως οι σχιστόλιθοι, πυριγενή πετρώματα αλλά και πυροκλαστικές αποθέσεις.

Στην προηγούμενη ενότητα, που αναλύθηκαν τα μητρικά πετρώματα και τα χαρακτηριστικά τους, τα πετρελαιικά συστήματα διαχωρίστηκαν σε συμβατικά και μη συμβατικά ανάλογα με τη συμπεριφορά των υδρογονανθράκων και των μητρικών πετρωμάτων. Τα μη συμβατικά συστήματα περιλαμβάνουν μία ιδιαίτερη κατηγορία πετρωμάτων, τα οποία δρουν ταυτόχρονα σαν μητρικά πετρώματα (αφού στο εσωτερικό τους δημιουργήθηκαν το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο), αλλά και σαν ταμιευτήρες (καθώς λόγω του χαμηλού πορώδους και διαπερατότητάς τους οι υδρογονάνθρακες χωρίς διέξοδο παραμένουν μέσα σε αυτά από όπου πρέπει και να εξορυχθούν). Σε αυτές τις περιπτώσεις προκαλείται συνήθως τεχνητά η θραύση του πετρώματος, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η εξόρυξη, με ένα σύνολο μεθόδων που αποκαλούνται τεχνικές ενισχυμένης ανάκτησης.



Εικόνα 2.2: Οι αναλογίες των ιζηματογενών πετρωμάτων, όπως αυτά εμφανίζονται στη φύση. Τα ιζηματογενή πετρώματα παίζουν τον κυρίαρχο ρόλο στην αναζήτηση και παραγωγή υδρογονανθράκων (Από Halliburton, 2001).



Εικόνα 2.3: Τα ποσοστά παραγωγής υδρογονανθράκων από τα διάφορα είδη ιζηματογενών ταμιευτήρων παγκόσμια. Παρόλο που οι ψαμμίτες είναι οι πιο διαδεδομένοι ταμιευτήρες, εξαιτίας της μεγάλης και συνεχόμενης παραγωγής των κοιτασμάτων της Μέσης Ανατολής και του Μεξικού, το ποσοστό παραγωγής υδρογονανθράκων των ασβεστιτικών πετρωμάτων εμφανίζεται μεγαλύτερο (Από Halliburton, 2001).

2.3.1 ΤΑ ΑΠΟΘΕΤΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΤΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ

Ο ταμιευτήρας είναι το πιο σημαντικό πέτρωμα στην έρευνα για την εύρεση υδρογονανθράκων, καθώς αποτελεί το αντικείμενο που επιδιώκεται να εντοπιστεί, αλλά και στην παραγωγή τους, αφού μελετάται διεξοδικά προκειμένου η εξόρυξη των υδρογονανθράκων να γίνει με όσο το δυνατό πιο άμεσο, αποτελεσματικό και οικονομικό τρόπο από το εσωτερικό του. Το αποθετικό περιβάλλον στο οποίο σχηματίζεται ο ταμιευτήρας καθορίζει τη μορφή, τα χαρακτηριστικά του και τη συμπεριφορά του κατά την όρυξη των γεωτρήσεων. Έτσι κρίθηκε σκόπιμο να αφιερωθεί μία παράγραφος της εργασίας στη σύντομη αναφορά και περιγραφή των κυριότερων περιβαλλόντων στα οποία αποτίθενται τα πετρώματα ταμιευτήρες.

1. Παράκτιο και θαλάσσιο περιβάλλον

Οι παράκτιες αποθέσεις που υπόκεινται σε έντονη καταπόνηση και ταξινόμηση, μέσω συνεχών ιζηματολογικών κύκλων, οδηγούν στον σχηματισμό κροκαλοπαγών και ψαμμιτών με υψηλό πορώδες και διαπερατότητα. Για το δυναμικό τους ως πετρώματα ταμιευτήρες ξεχωρίζουν οι αμμώδεις θίνες και οι παράκτιοι ψαμμίτες. Πετρώματα που μπορούν να γίνουν ταμιευτήρες προκύπτουν και από τα κλαστικά ιζήματα των στενόμακρων χερσονήσων, των προεκτάσεων των νησιών και των φραγμάτων άμμου που αναπτύσσονται στο εσωτερικό της θάλασσας σε μικρά βάθη. Επίσης κλαστικά χερσαία ιζήματα που βρίσκονται στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα, αλλά και υλικά τα οποία ολισθαίνουν προς τα βαθύτερα σημεία της ηπειρωτικής κατωφέρειας εξαιτίας των τυρβωδών ρευμάτων, δημιουργώντας υποθαλάσσια ριπίδια, μπορούν να αποκτήσουν χαρακτηριστικά ταμιευτήρα (Link, 1999). Τα τελευταία, μάλιστα, αποτελούνται από σχετικά σύγχρονα αμμώδη ιζήματα που δεν έχουν ταφεί σε πολύ μεγάλο βάθος, με αποτέλεσμα να έχουν εξαιρετικές τιμές πορώδους και διαπερατότητας, εγκλείοντας τεράστιες ποσότητες υδρογονανθράκων (Hyne, 2012).

Εκτός από τους ψαμμιτικούς ταμιευτήρες, μία ιδιαίτερη κατηγορία ταμιευτήρων που σχηματίζεται σε αυτό το περιβάλλον είναι αυτή των κοραλλιογενών υφάλων, που δημιουργούνται από τα σκελετικά υπολείμματα των αποικιών των κοραλλιών. Ακόμη, στους ασβεστιτικούς ταμιευτήρες εντάσσονται διάφορων ειδών ασβεστόλιθοι που αποτίθενται στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα, καθώς και πολλοί δολομίτες. Ιδιαίτερα ευνοϊκοί λόγω του πορώδους είναι οι ωολιθικοί ασβεστόλιθοι (Link, 1999). Λιγότερο συχνά, ταμιευτήρες άριστης ποιότητας μπορούν να αποτελέσουν οι κρητίδες που σχηματίζονται σε βαθύ πελαγικό περιβάλλον, ιδιαίτερα αν έχουν υποστεί ρωγμάτωση (Gluyas και Swarbrick 2004).

2. Λιμναίο περιβάλλον

Οι συνθήκες που διέπουν τις λιμναίες περιοχές μοιάζουν αρκετά με αυτές που επικρατούν και στις θαλάσσιες. Έτσι, και σε αυτή την περίπτωση, τα περισσότερα πετρώματα που απαντώνται σε θαλάσσια περιβάλλοντα εμφανίζονται και στα λιμναία. Λιμναίοι ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, ασβεστόλιθοι και δολομίτες μπορούν να αποτελέσουν εξαιρετικούς ταμιευτήρες (Link, 1999).

3. Περιβάλλον κοίτης - πλημμυρών

Τα περισσότερα ποτάμια τείνουν να εξελίσσονται σχηματίζοντας μαιάνδρους. Με αυτό τον τρόπο τα υλικά που μεταφέρουν ταξινομούνται ομοιόμορφα τόσο μέσα στην κοίτη, όσο και στις περιοχές γύρω από αυτήν, ανάλογα με το μέγεθός τους. Τα πιο αδρόκοκκα τμήματα του υλικού αυτού αποτίθενται στο εσωτερικό της κοίτης κυρίως με τη μορφή άμμου και επειδή είναι καλά ταξινομημένα λόγω της συνεχούς κίνησης του νερού, όταν υπόκεινται σε διαγένεση και συμπαγοποιούνται, μετατρέπονται σε ψαμμίτες που είναι υποψήφιοι ταμιευτήρες λόγω του μεγάλου πορώδους και διαπερατότητάς τους. Επίσης οι περίοδοι πλημμυρών έχουν σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό παράλληλα στην κοίτη του ποταμού αποθέσεων διάφορων διαβαθμίσεων (με κυρίαρχη και πάλι την άμμο), με τη μορφή αναχωμάτων, οι οποίες σαν πετρώματα μπορούν να φιλοξενήσουν υδρογονάνθρακες (Link, 1999).

4. Περιβάλλον δέλτα

Στις περιοχές όπου τα ποτάμια έρχονται σε επαφή με τη θάλασσα και τελικά ενώνονται δημιουργούνται τα δέλτα τα οποία αποτελούνται από πολυάριθμες μικρές κοίτες στις οποίες σχηματίζονται τα ίδια περίπου ιζήματα που περιγράφηκαν και για το περιβάλλον κοίτης - πλημμυρών, και προκύπτουν τα πιθανά αντίστοιχα πετρώματα ταμιευτήρες (Link, 1999).

5. Ερημικό περιβάλλον

Τα διάφορα είδη θινών που δημιουργούνται εξαιτίας της αιολικής απόθεσης μπορούν να αποτελέσουν ταμιευτήρες μοναδικής ποιότητας λόγω της πολύ καλής ταξινόμησης και στρογγυλότητας που χαρακτηρίζουν τους κόκκους τους. Τα αλλουβιακά ριπίδια και τα κλαστικά ιζήματα, που μεταφερόμενα από το νερό πληρώνουν τις κοιλάδες, μπορούν λιγότερο συχνά να φιλοξενήσουν υδρογονάνθρακες λόγω της έντονης ανομοιογένειάς τους και του τοπικού χαρακτήρα τους (Link, 1999).

6. Παγετώδες περιβάλλον

Ταμιευτήρες που έχουν προέλθει από θαλάσσια και ποτάμια ιζήματα σε παγετώδη περιβάλλοντα έχουν εντοπιστεί. Ωστόσο οι εκτάσεις που καταλαμβάνουν αυτοί είναι συνήθως μικρές και τα κοιτάσματα βρίσκονται σε ορισμένες μόνο περιοχές με αποτέλεσμα να μη χαρακτηρίζονται ιδιαίτερα παραγωγικοί (Link, 1999).

7. Καρστικό περιβάλλον

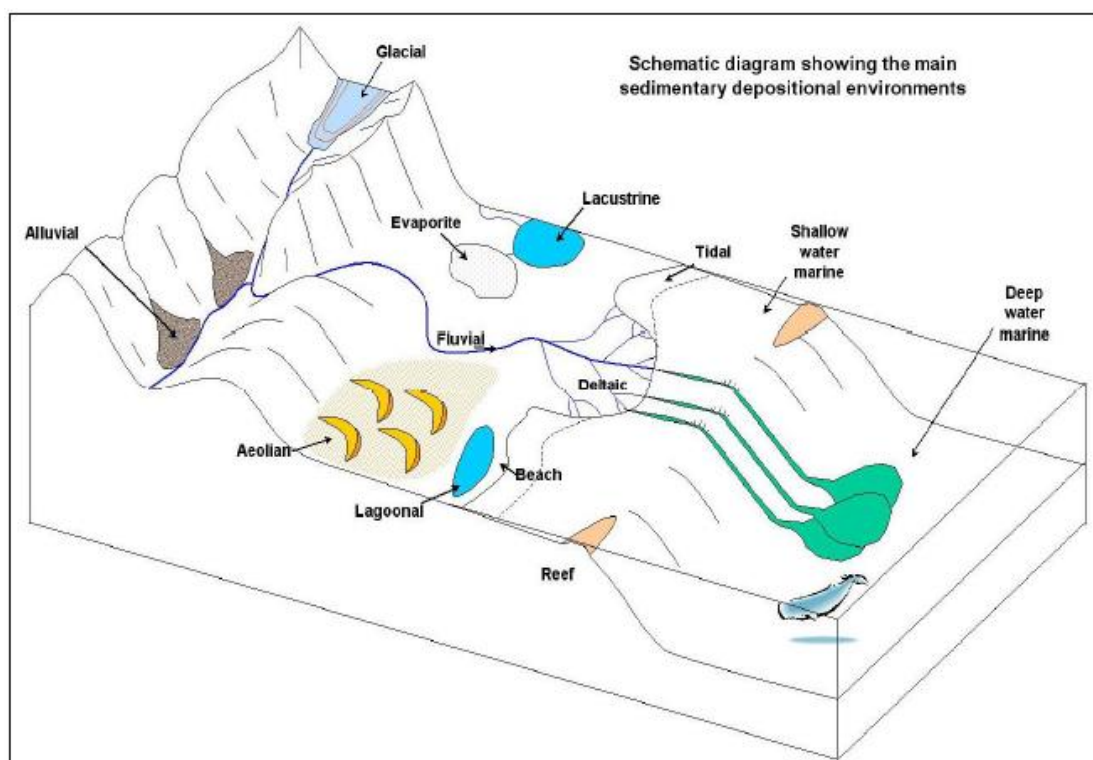
Σε περιβάλλοντα που χαρακτηρίζονται από μεγάλη υγρασία και ζέστη το νερό που έρχεται σε επαφή με ασβεστόλιθους μπορεί εύκολα να προκαλεί τη χημική διάλυσή τους με συνέπεια τη δημιουργία μεγάλων πόρων, εγκοίλων αλλά και σπηλαιώσεων που μπορούν να περιέχουν μεγάλες ποσότητες πετρελαίου (Hypn, 2012).

8. Αποθετικές λεκάνες

Συνήθως όλα τα στοιχεία ενός πετρελαϊκού συστήματος εντοπίζονται μέσα στις διάφορων ειδών λεκάνες. Για αυτό κατά τα στάδια της αναζήτησης αρχικά επιδιώκεται η ανίχνευσή τους. Η ευρύτερη έννοια των λεκανών περιλαμβάνει ουσιαστικά συνδυασμούς από όλα τα είδη των ταμιευτήρων για τα οποία έγινε λόγος

πιο πάνω. Όλα τα ιζήματα που θα μετατραπούν στα πετρώματα που απαρτίζουν ένα πετρελαϊκό σύστημα, και κατά συνέπεια και στα πετρώματα ταμιευτήρες, αποτίθενται στα παρακάτω είδη λεκανών.

Οι ευγεωσυγκλινικές λεκάνες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από αδρόκοκκα ιζήματα που αποτίθενται σε περιβάλλον βαθιάς θάλασσας, έχουν πετρώματα που θα μπορούσαν να φιλοξενήσουν υδρογονάνθρακες, όπως και οι μειογεωσυγκλινικές λεκάνες, που αντίθετα αντιπροσωπεύονται από πιο ρηχές και τεκτονικά ήρεμες συνθήκες (Link 1999). Οι οπισθοτόξιες λεκάνες θεωρούνται πιο παραγωγικές από τις εμπροσθοτόξιες διότι συνήθως έχουν περισσότερα ιζήματα θαλάσσιας προέλευσης άρα και μεγαλύτερο δυναμικό γένεσης υδρογονανθράκων, πολλούς πιθανούς συνδυασμούς παγίδων, αλλά και λιγότερα ηφαιστειοκλαστικά ιζήματα, που συντελούν στη μείωση του πορώδους (Selley, 1998). Αντιθέτως, τα αμμόδη ιζήματα των εμπροσθοτόξιων λεκανών δεν είναι αρκετά ώριμα και δεν έχουν τον απαραίτητο χρόνο να ωριμάσουν για να προκύψουν ταμιευτήρες, καθώς η ιζηματογένεση σε αυτές τις περιπτώσεις είναι ραγδαία (Selley, 1998). Επίσης, πιο σπάνια κρίνονται παραγωγικές και οι ενδοκρατονικές λεκάνες με τα θαλάσσια κλαστικά και ασβεστιτικά ιζήματα υφαλοκρηπίδας, λόγω έλλειψης χρόνου ωρίμανσης και πάλι (Selley, 1998). Τέλος, στις λεκάνες που βρίσκονται στις περιοχές των ηπειρωτικών περιθωρίων, λόγω της ενεργούς τεκτονικής και των διαφορετικών δομών παγίδευσης (Selley, 1998), δημιουργούνται πιο εύκολα ολοκληρωμένα πετρελαϊκά συστήματα που διαθέτουν συχνά μεγάλες ποσότητες υδρογονανθράκων (Link, 1999).



Εικόνα 2.4: Τα κυριότερα αποθετικά περιβάλλοντα στα οποία μπορούν να δημιουργηθούν πετρελαϊκά συστήματα.

2.4 ΤΟ ΠΕΤΡΩΜΑ ΚΑΛΥΜΜΑ (CAP ROCK)

Οι υδρογονάνθρακες που έχουν εκδιωχθεί από το μητρικό πέτρωμα κι έχουν εισέρθει στο πέτρωμα ταμιευτήρα πρέπει να παραμείνουν μέσα σε αυτό για να συγκεντρωθούν σε ποσότητες τέτοιες που να αποτελέσουν ένα κοίτασμα. Πρέπει λοιπόν να συναντήσουν κάποιο εμπόδιο, με ικανοποιητικό πάχος και μέγεθος, που θα τους κρατήσει εκεί γιατί αλλιώς είναι δυνατό να διαφύγουν από τον ταμιευτήρα (καθώς, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, αυτός έχει μεγάλο πορώδες και διαπερατότητα) και έτσι να προκύψουν διαρροές κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Το ρόλο του εμποδίου συνήθως παίζει ένα πέτρωμα που είναι στεγανό, δηλαδή χωρίς καθόλου διαπερατότητα, και ονομάζεται πέτρωμα κάλυμμα (cap rock ή seal).

Το πέτρωμα κάλυμμα μπορεί να βρίσκεται πιο πάνω από τον ταμιευτήρα εμποδίζοντας την πορεία του φυσικού αερίου και του πετρελαίου προς τα ανάντη (η οποία, όπως περιγράφηκε σε προηγούμενη ενότητα, οφείλεται στη διαφορά πυκνοτήτων τους με το νερό που ήδη περιείχε ο ταμιευτήρας και με το υψηλής αλατότητας νερό που συνοδεύει τους υδρογονάνθρακες από τη γένεσή τους) ή να περιβάλλει με διάφορους τρόπους τον ταμιευτήρα χωρίς να αφήνει τα ρευστά να ακολουθήσουν άλλες πιθανές πορείες (Sroog, 2010). Τα πετρώματα καλύμματα έχουν και αυτά πορώδες και μία μικρή ποσότητα υδρογονανθράκων εισέρχεται σε αυτό. Όμως, λόγω του πολύ μικρού μεγέθους των κόκκων τους, οι τριχοειδείς δυνάμεις που ασκούνται στο εσωτερικό τους αποτρέπουν από αυτό τη διαφυγή των ρευστών (Selley, 1998).

Το πιο διαδεδομένο πέτρωμα κάλυμμα είναι η άργιλος, η οποία μπορεί να είναι ταυτόχρονα και το μητρικό πέτρωμα από το οποίο προήλθαν οι υδρογονάνθρακες ενός πετρελαϊκού συστήματος. Επίσης, συχνά συναντώνται σαν καλύμματα πολύ συμπιεσμένα πετρώματα των οποίων το πορώδες έχει μειωθεί δραστικά από λεπτόκοκκο συγκολλητικό υλικό, όπως οι ψαμμίτες, αλλά και οι λεπτομερείς ασβεστόλιθοι (για παράδειγμα οι κρητίδες και οι μικριτικοί ασβεστόλιθοι). Πιο σπάνιοι αλλά αποτελεσματικότεροι στον εμποδισμό της διαφυγής των ρευστών είναι οι εβαπορίτες (πχ γύψος, ορυκτό αλάτι, ανυδρίτης κα), καθώς και τα μόνιμα παγωμένα εδάφη (permafrost). Ορισμένες φορές, κάλυμμα μπορεί να αποτελέσει κάποιο πυριγενές πέτρωμα, όπως ένα εκτεταμένο στρώμα λάβας, ή ακόμη μπορεί το ίδιο το πέτρωμα κάλυμμα να απουσιάζει από το πετρελαϊκό σύστημα και το ρόλο του να παίζει κάποιο τεκτονικό στοιχείο, όπως ένα ρήγμα.

2.5 Η ΜΕΤΑΝΑΣΤΕΥΣΗ (MIGRATION)

Όπως επεξηγήθηκε στην ενότητα όπου αναλύθηκαν τα πετρώματα ταμιευτήρες, οι υδρογονάνθρακες που δημιουργήθηκαν μέσα στο μητρικό πέτρωμα καταλαμβάνουν μεγαλύτερο όγκο από αυτόν που καταλάμβανε αρχικά το κηρογόνο από το οποίο προήλθαν. Αυτή η απότομη αύξηση του όγκου οδηγεί σε άσκηση πιέσεων στο εσωτερικό του μητρικού πετρώματος και οι πιέσεις αυτές εκτονώνονται με τη δημιουργία μικρορωγμών μέσα από τις οποίες οι υδρογονάνθρακες αναγκάζονται να εγκαταλείψουν το μητρικό πέτρωμα και να κινηθούν μέχρι να συναντήσουν το πέτρωμα ταμιευτήρα, μέσα στο οποίο μπορούν να συσσωρευτούν (Hynes, 2012). Άλλοι παράγοντες στους οποίους οφείλεται η μετανάστευση είναι η συμπίεση λόγω

της αύξησης του βάθους ταφής των πετρωμάτων και ο διαχωρισμός των συστατικών που αποτελούν το μητρικό πέτρωμα εξαιτίας της γένεσης των υδρογονανθράκων (Sroor, 2010). Όταν οι υδρογονάνθρακες εισχωρήσουν στον ταμιευτήρα ακολουθούν μία ανοδική (μερικές φορές και πλευρική) πορεία (μέσω του πορώδους του πετρώματος, περατών στρωμάτων, διάφορων ρωγμών, ρηγμάτων, ασυνεχειών κτλ), καθώς οι τιμές των πυκνοτήτων τους είναι μικρότερες από αυτές του νερού του ταμιευτήρα (Hyne, 2012). Έτσι το φυσικό αέριο εξαπλώνεται στο ανώτερο τμήμα του ταμιευτήρα, καθώς είναι το πιο ελαφρύ, το πετρέλαιο καταλήγει από κάτω του, και πιο χαμηλά, στο κατώτερο τμήμα, βρίσκεται το νερό ως πιο βαρύ. Αυτές οι αργές κινήσεις των υδρογονανθράκων, που περιγράφηκαν νωρίτερα, ονομάζονται μετανάστευση (migration).

Το φυσικό αέριο είναι συνήθως διαλυμένο μέσα στο πετρέλαιο λόγω των πιέσεων που επικρατούν στο υπέδαφος και έτσι τα δύο αυτά μαζί με το νερό μετακινούνται μέσα από τους πόρους των πετρωμάτων (Selley, 1998). Λόγω της μετανάστευσης οι υδρογονάνθρακες μπορούν να «ταξιδέψουν» σε πολύ μεγάλες αποστάσεις από το μητρικό πέτρωμα, είτε κατακόρυφα είτε οριζόντια, ανάλογα με τις διαπερατότητες των πετρωμάτων μέσα από τα οποία διέρχονται (Hyne, 2012). Τα ρευστά πάντα κατευθύνονται προς τα σημεία όπου η ενέργεια είναι η ελάχιστη, πράγμα που εξηγεί την ανοδική τους τάση (Sroor, 2010). Μερικές φορές κατά τη διάρκεια της μετανάστευσης μία ποσότητα υδρογονανθράκων δε φτάνει μέχρι τον τελικό προορισμό του ταμιευτήρα, αλλά με διάφορους τρόπους παγιδεύεται σε σημεία κατά μήκος της πορείας που ακολούθησαν τα ρευστά (προσκολλάται στους κόκκους πετρωμάτων, αναμειγνύεται με άλλα ρευστά που συναντάει με αποτέλεσμα τη διάλυσή της κ). Στην περίπτωση αυτή γίνεται λόγος για απώλεια μετανάστευσης, η οποία έχει μεγάλη σημασία στην έρευνα για την εύρεση πετρελαίου διότι αν εντοπιστεί μπορεί να μας υποδείξει την πορεία σύμφωνα με την οποία μετακινήθηκαν οι υδρογονάνθρακες, άρα και την κατεύθυνση προς την οποία βρίσκεται ένα πιθανό κοίτασμα (Γεωργακόπουλος). Συνήθως μόνο μέχρι το 36% της αρχικής ποσότητας υδρογονανθράκων που δημιουργήθηκαν στο μητρικό πέτρωμα τελικά καταφέρνει να διαφύγει από αυτό, να μη χαθεί κατά τη διάρκεια της μετανάστευσης και να καταλήξει στο εσωτερικό της παγίδας (Hyne, 2012).

Είναι πολύ σημαντικό το σύνολο των πετρωμάτων μέσα από τα οποία διέρχονται τα ρευστά κατά τη μετανάστευσή τους να αποτελεί ένα κλειστό σύστημα γιατί διαφορετικά το αποτέλεσμα θα είναι διαρροές προς την επιφάνεια και απώλεια των υδρογονανθράκων. Αυτές οι διαρροές εξάλλου είναι και η απόδειξη ότι η μετανάστευση του πετρελαίου όντως πραγματοποιείται (Link, 1999).

Υπάρχουν δύο είδη μετανάστευσης, τα οποία διακρίνονται με βάση το μέρος στο οποίο πραγματοποιούνται οι κινήσεις των ρευστών. Το πρώτο από αυτά είναι η πρωτογενής μετανάστευση που περιλαμβάνει τις κινήσεις που πραγματοποιούν οι υδρογονάνθρακες καθώς εκδιώκονται από το μητρικό πέτρωμα και το εγκαταλείπουν. Το δεύτερο είναι η δευτερογενής μετανάστευση, η οποία αναφέρεται στις επιπλέον μετακινήσεις των υδρογονανθράκων (που έχουν ήδη εισέλθει στο πέτρωμα ταμιευτήρα) στο εσωτερικό του ταμιευτήρα. Ένα παράδειγμα της δευτερογενούς μετανάστευσης αποτελεί ο διαχωρισμός του φυσικού αερίου, του πετρελαίου και του νερού με βάση τη διαφορά πυκνοτήτων εντός του ταμιευτήρα.

Η μετανάστευση των υδρογονανθράκων, ιδιαίτερα η πρωτογενής, είναι ένα κομμάτι της γεωλογίας πετρελαίου σχετικά με το οποίο οι επιστήμονες έχουν πολλές απορίες. Πλήθος θεωριών έχουν διατυπωθεί για να επεξηγηθεί ο μηχανισμός της, οι παράγοντες που συντελούν σε αυτήν, το μέγεθος της απόστασης που διανύουν τα ρευστά μέχρι τον τελικό τους προορισμό αλλά και ο ρόλος του νερού στην κίνηση των υδρογονανθράκων (Selley, 1998).

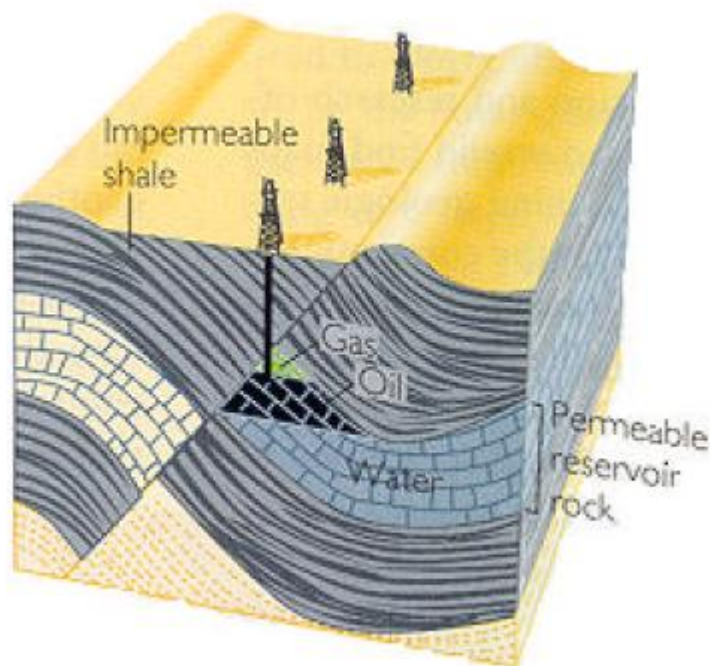
2.6 Η ΠΑΓΙΔΑ (TRAP)

Η δομή παγίδευσης ή παγίδα (trap) είναι το αποτέλεσμα της συνύπαρξης διαπερατών πετρωμάτων (πέτρωμα ταμιευτήρας), αδιαπέρατων πετρωμάτων (πέτρωμα κάλυμμα) καθώς και διάφορων άλλων γεωλογικών δομών, που εμποδίζοντας τη διαφυγή των υδρογονανθράκων, συντελούν τελικά στη συγκέντρωσή τους και στη δημιουργία ενός κοιτάσματος. Η παγίδα είναι ουσιαστικά εκείνη, που σε συνδυασμό με το πέτρωμα κάλυμμα, τερματίζει την πορεία της μετανάστευσης των υδρογονανθράκων. Μόλις τα ρευστά εισέρθουν στην παγίδα, αρχίζουν να διαχωρίζονται με βάση την πυκνότητά τους, όπως επεξηγήθηκε σε προηγούμενη ενότητα (Hynes, 2012).

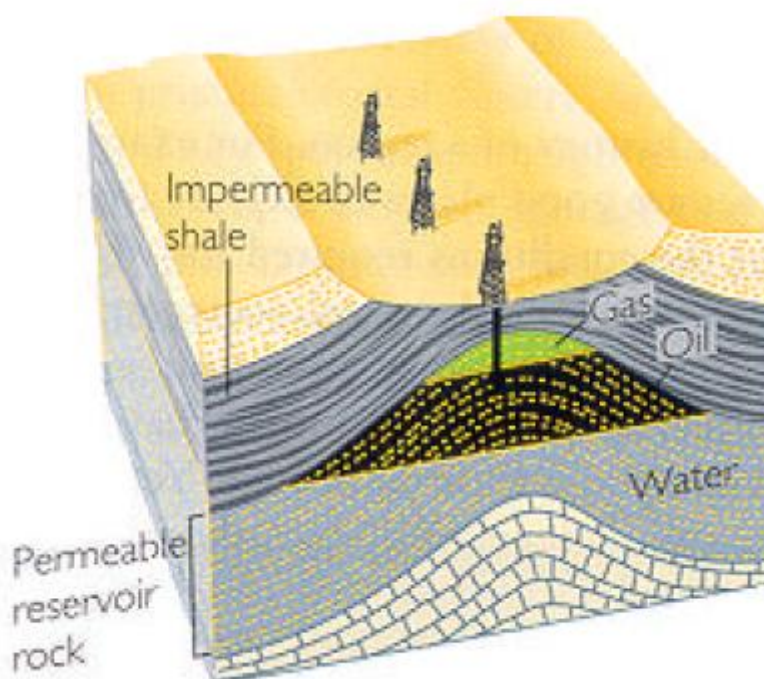
Για να είναι μία παγίδα υδρογονανθράκων πλήρης θα πρέπει, να περιλαμβάνει τα παρακάτω στοιχεία. Το trap reservoir, το οποίο είναι το πέτρωμα ταμιευτήρας, όπως περιγράφηκε στην αντίστοιχη ενότητα. Το trap seal, που είναι το πέτρωμα κάλυμμα ή οποιοδήποτε τεκτονικό εμπόδιο το οποίο θα αποτρέψει την έξοδο των υδρογονανθράκων από τα όρια της περιοχής της παγίδας. Τέλος, τα trap fluids, δηλαδή όλα τα ρευστά (πετρέλαιο, φυσικό αέριο και νερό) που έχουν δημιουργηθεί στο μητρικό πέτρωμα και πλέον βρίσκονται στο εσωτερικό του ταμιευτήρα.

Οι δομές παγίδευσης παίζουν σημαντικό ρόλο στον εντοπισμό κοιτασμάτων υδρογονανθράκων γιατί στην πραγματικότητα αυτό που δίνει το έναυσμα για να ξεκινήσουν οι έρευνες για την ανακάλυψη ενός κοιτάσματος δεν είναι τόσο κάποια άμεση εμφάνιση υδρογονανθράκων, όσο η παρουσία πετρελαιοπιθανών δομών, δηλαδή πετρωμάτων διαμορφωμένων με τέτοιο τρόπο ώστε να δίνουν την εντύπωση παγίδας, στην οποία υπάρχει πιθανότητα να είναι αποθηκευμένο πετρέλαιο, φυσικό αέριο ή και τα δύο.

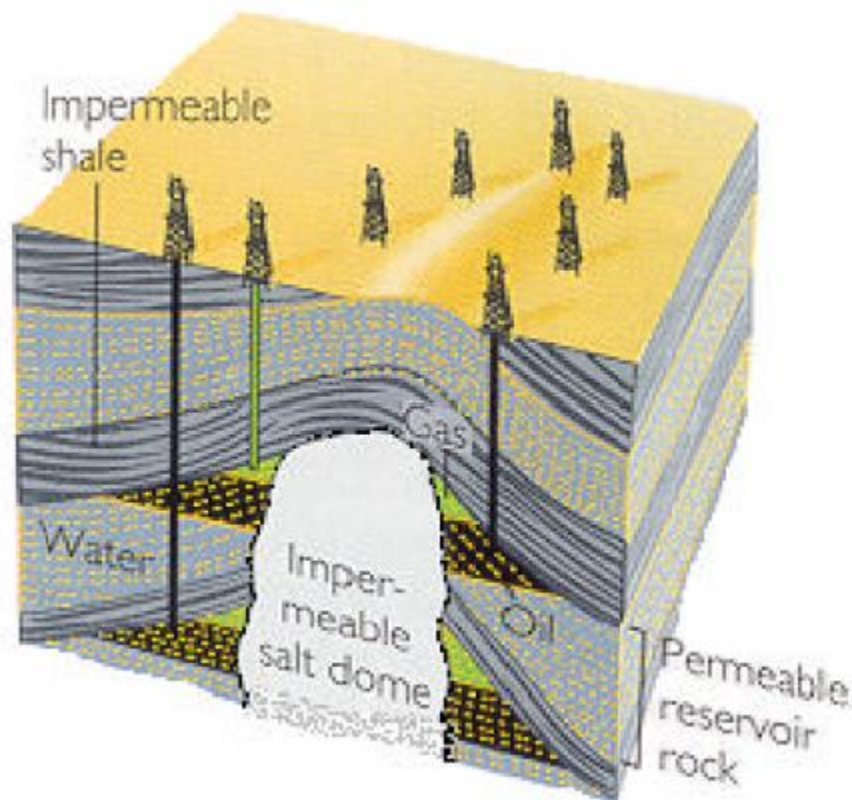
Οι παγίδες διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες ανάλογα με τη μορφή τους και τον τρόπο με τον οποίο έχουν δημιουργηθεί. Η πρώτη κατηγορία, που απαντάται και συχνότερα, είναι οι δομικές ή τεκτονικές παγίδες και δημιουργούνται όταν τα κανονικά οριζόντια στρώματα των ιζηματογενών πετρωμάτων μίας λεκάνης παραμορφώνονται και έτσι διαμορφώνεται ο χώρος μέσα στον οποίο θα αποθηκευτούν οι υδρογονάνθρακες, με τον ταυτόχρονο σχηματισμό χαρακτηριστικών δομών (Hynes, 2012). Μπορούν να προκύψουν από διαδικασίες που σχετίζονται με τεκτονική, με πύσεις, με διαπείρισμό και βαρύτητα (Gluyas και Swarbrick, 2004). Οι δομικές παγίδες περιλαμβάνουν τις παγίδες με ρήγματα κάθε είδους, αυτές με τις πτυχές (κυρίως αντίκλινα, πιο σπάνια σύγκλινα και μονόκλινα) και αυτές με τους δόμους άλατος.



Εικόνα 2.5: Ρηγματογενής παγίδα. Το ρήγμα έχει φέρει σε επαφή τον ταμιευτήρα με το υπερκείμενο αδιαπέρατο πέτρωμα σφραγίζοντας έτσι την παγίδα. Παραγωγικό μπορεί να είναι είτε το ένα είτε και τα δύο τεμάχη εκατέρωθεν του ρήγματος (Από Halliburton, 2001).

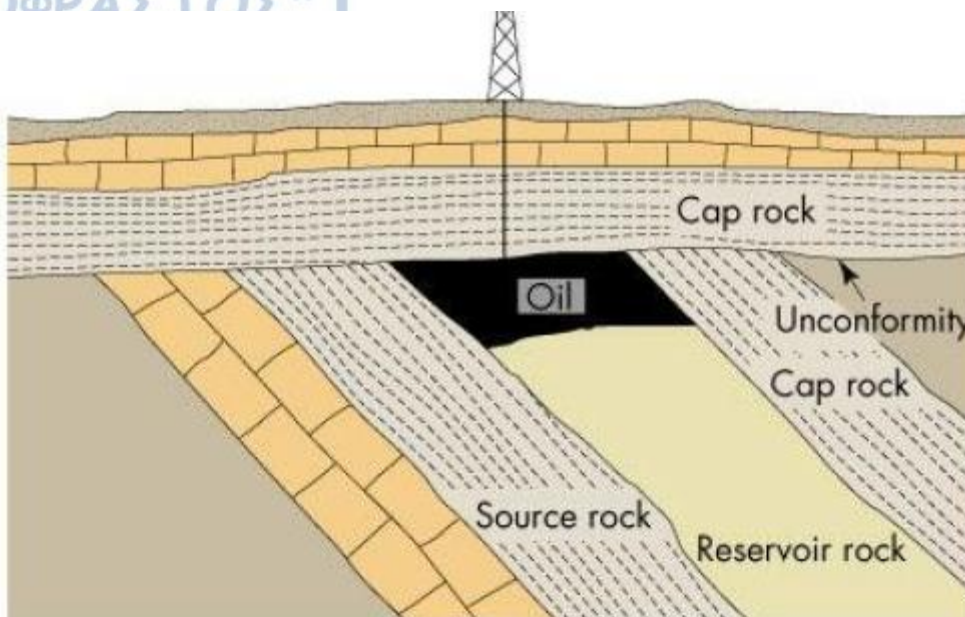


Εικόνα 2.6: Αντικλινική παγίδα. Οι παγίδες αντικλίνων είναι οι πιο συνηθισμένες και πιο παραγωγικές, καθώς ο εντοπισμός τους είναι πιο απλός από ότι για τις υπόλοιπες παγίδες. Συχνά τα αντίκλινα ρηγματώνονται με τα ρήγματα να διαχωρίζουν τα στρώματα που απαρτίζουν το αντίκλινο σε μικρότερα τμήματα, δημιουργώντας πολλούς ανεξάρτητους μικρότερους ταμιευτήρες (Hynes, 2012) (Από Halliburton, 2001).

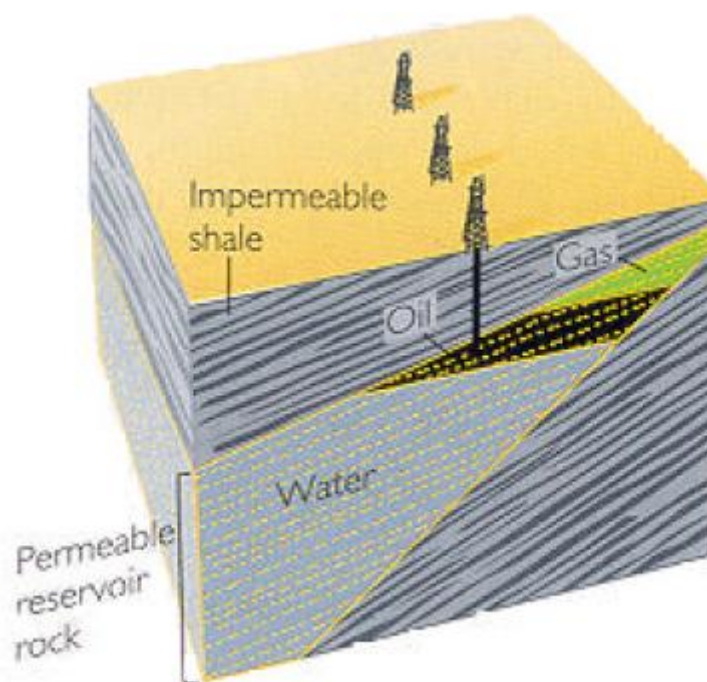


Εικόνα 2.7: Παγίδα δόμου άλατος. Μερικές φορές το διαπειρικό σώμα αποτελείται από άργιλο αντί για άλας, αλλά ο μηχανισμός της γένεσης της παγίδας και της αποθήκευσης των υδρογονανθράκων παραμένει ο ίδιος (Selley, 1998). Οι υδρογονάνθρακες συγκεντρώνονται στα συχνά ρηγματωμένα και παραμορφωμένα διαπερατά πετρώματα γύρω και πάνω από το δόμο (Link, 1999) (Από Halliburton, 2001).

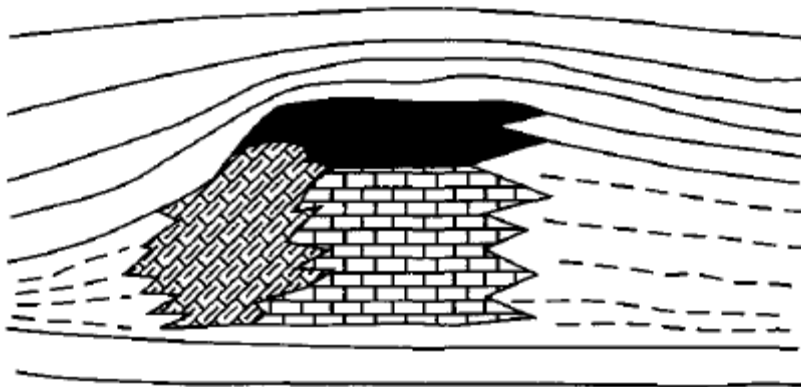
Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από τις στρωματογραφικές παγίδες, οι οποίες διαμορφώνονται από τη στρωματογραφία μίας περιοχής χωρίς κάποια τεκτονική ή κάποιου άλλου είδους επίδραση. Αυτό σημαίνει ότι οι παγίδες αυτού του είδους δεν είναι αποτέλεσμα της κίνησης, για οποιονδήποτε λόγο, των πετρωμάτων (Halliburton, 2001). Η ύπαρξή τους οφείλεται, δηλαδή, σε ιζηματολογικές και αποθετικές αιτίες (Link, 1999). Σε αυτή την ομάδα ανήκουν οι παγίδες με ασυμφωνίες, αυτές με αποσφηνώσεις, αυτές με κοραλλιογενείς υφάλους και οι φακοειδείς στρωματογραφικές παγίδες. Επίσης αξίζει να αναφερθεί ότι οι στρωματογραφικές παγίδες διαιρούνται στις πρωτογενείς και τις δευτερογενείς. Οι πρωτογενείς στρωματογραφικές παγίδες έχουν να κάνουν με όλα τα στρωματογραφικά στοιχεία και δομές που αναφέρθηκαν παραπάνω, ενώ οι δευτερογενείς παγίδες χαρακτηρίζονται από πιο πολύπλοκη γεωλογική ιστορία, καθώς έχουν δημιουργηθεί με τη συμμετοχή γωνιωδών ασυμφωνιών (Hypne, 2012).



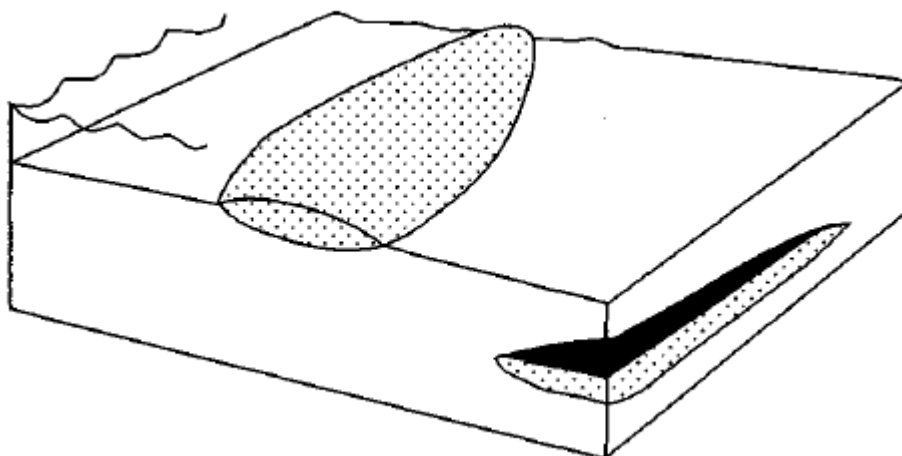
Εικόνα 2.8: Παγίδα με γωνιώδη ασυμφωνία. Μερικά από τα πιο μεγάλα κοιτάσματα πετρελαίου παγκοσμίως έχουν εντοπιστεί μέσα σε ταμιευτήρες που βρίσκονται σε περιβάλλον γωνιώδους ασυμφωνίας που εκτείνεται σε τεράστιες αποστάσεις (Hype, 2012).



Εικόνα 2.9: Παγίδα αποσφίνωσης. Τέτοιον είδους παγίδες οφείλουν την ύπαρξή τους σε αιφνίδιες διακοπές της ιζηματογένεσης, σε αλλαγές των λιθολογικών φάσεων μίας λεκάνης και στην επίδραση της διάβρωσης (Link, 1999) (Από Halliburton).



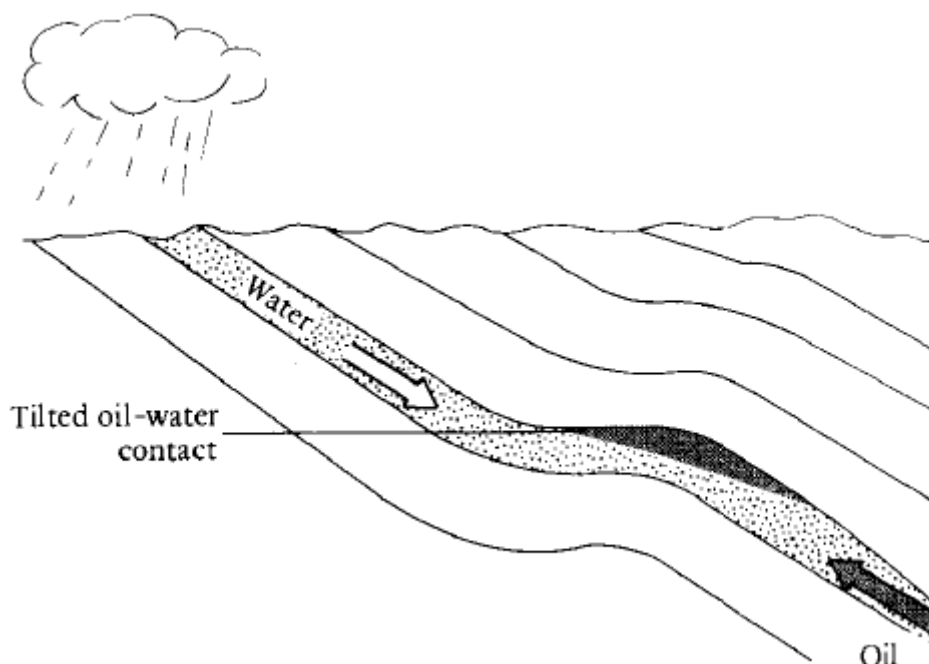
Εικόνα 2.10: Παγίδα κοραλλιογενούς υφάλου. Οι ύφαλοι συνήθως έχουν τη μορφή δόμου ή επιμήκους φράγματος (Selley, 1998). Θεωρούνται μία από τις πιο ιδανικές μορφές δομών παγίδευσης υδρογονανθράκων (Από Gluyas και Swarbrick, 2004).



Εικόνα 2.11: Φακοειδής στρωματογραφική παγίδα. Πολλές φορές ένα μητρικό πέτρωμα (πχ άργιλος) περιβάλλει από παντού το πέτρωμα ταμιευτήρα δρώντας και ως κάλυμμα (Hypé, 2012). Τέτοιου είδους παγίδες μπορούν να δημιουργηθούν με αποθέσεις κοίτης ποταμού ή και αμμώδη σώματα παράκτιων αποθέσεων, όπως σε αυτήν εδώ την περίπτωση (Link, 1999) (Από Gluyas και Swarbrick, 2004).

Τα δύο είδη παγίδων υδρογονανθράκων που συζητήθηκαν πιο πάνω είναι τα πιο σημαντικά διότι είναι τα πιο διαδεδομένα στα μεγαλύτερα κοιτάσματα παγκοσμίως. Υπάρχουν όμως και μερικές ακόμη μικρότερες ομάδες παγίδων, οι οποίες είναι δευτερεύουσες επειδή δεν συναντώνται συχνά, αλλά οι ιδιαιτερότητες και ο ξεχωριστός τους χαρακτήρας καθιστούν την αναφορά τους, σε αυτή την ενότητα των παγίδων απαραίτητη.

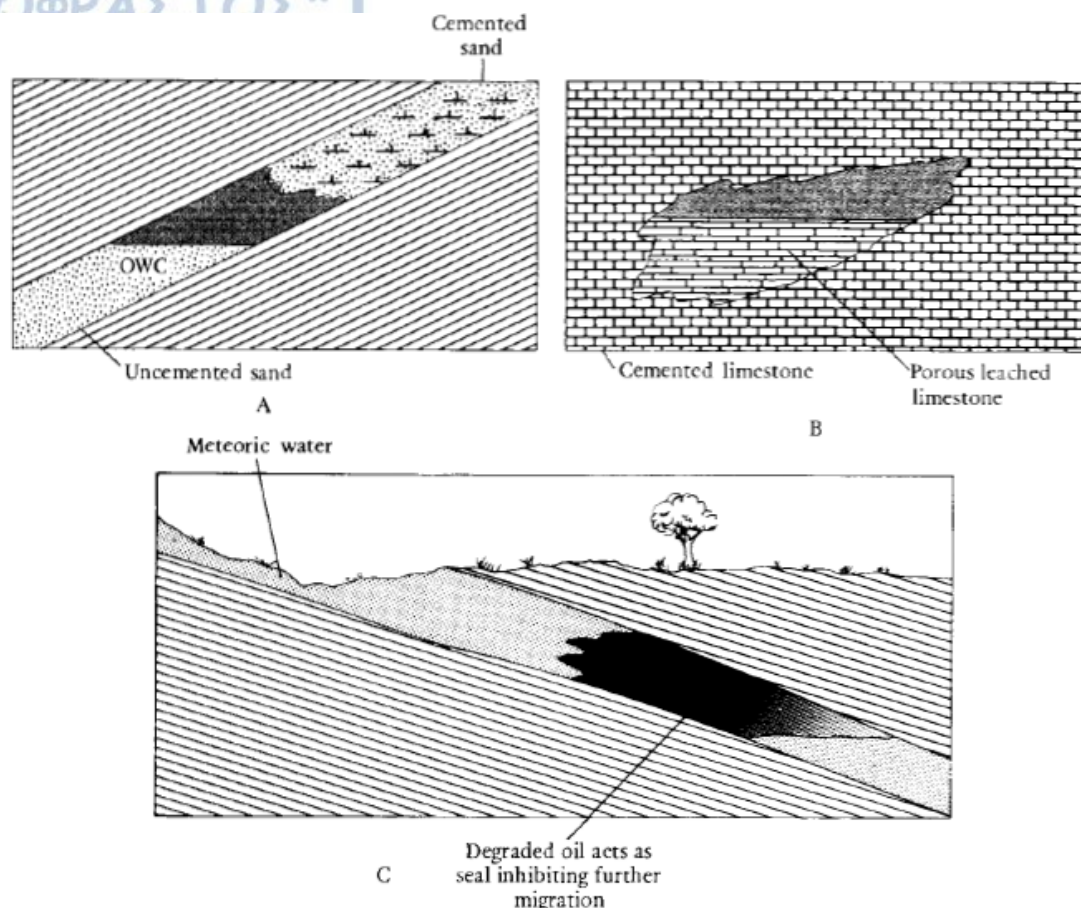
Μία σπάνια κατηγορία παγίδων αποτελούν οι υδροδυναμικές παγίδες. Σε αυτές η ανοδική πορεία των ρευστών του ταμιευτήρα εμποδίζεται από την καθοδική πορεία μεγάλης ποσότητας μετεωρικού και υπόγειου νερού. Για να είναι αυτές οι παγίδες αποτελεσματικές πρέπει η υδροδυναμική δύναμη που προκύπτει κατά την κίνηση του νερού να είναι μεγαλύτερη από την άνωση που αναγκάζει τα μόρια του πετρελαίου και του φυσικού αερίου να μεταναστεύουν προς τα ανάντη (Selley, 1998).



Εικόνα 2.12: Υδροδυναμική παγίδα στην οποία η συνεχής κίνηση του νερού προς τα κατάντη αναγκάζει το πετρέλαιο να παραμείνει σε μία συγκεκριμένη περιοχή μέσα σε μονόκλινο (Από Selley, 1998).

Επίσης, υπάρχουν και οι διαγενετικές παγίδες, που όπως δηλώνει το όνομά τους, οφείλουν τη δημιουργία τους σε διεργασίες που γίνονται στο στάδιο της διαγένεσης. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα διαγενετικής παγίδας είναι αυτή που στο μηχανισμό της περιλαμβάνει μόνιμα παγωμένα εδάφη (permafrost) (Gluyas και Swarbrick, 2004).

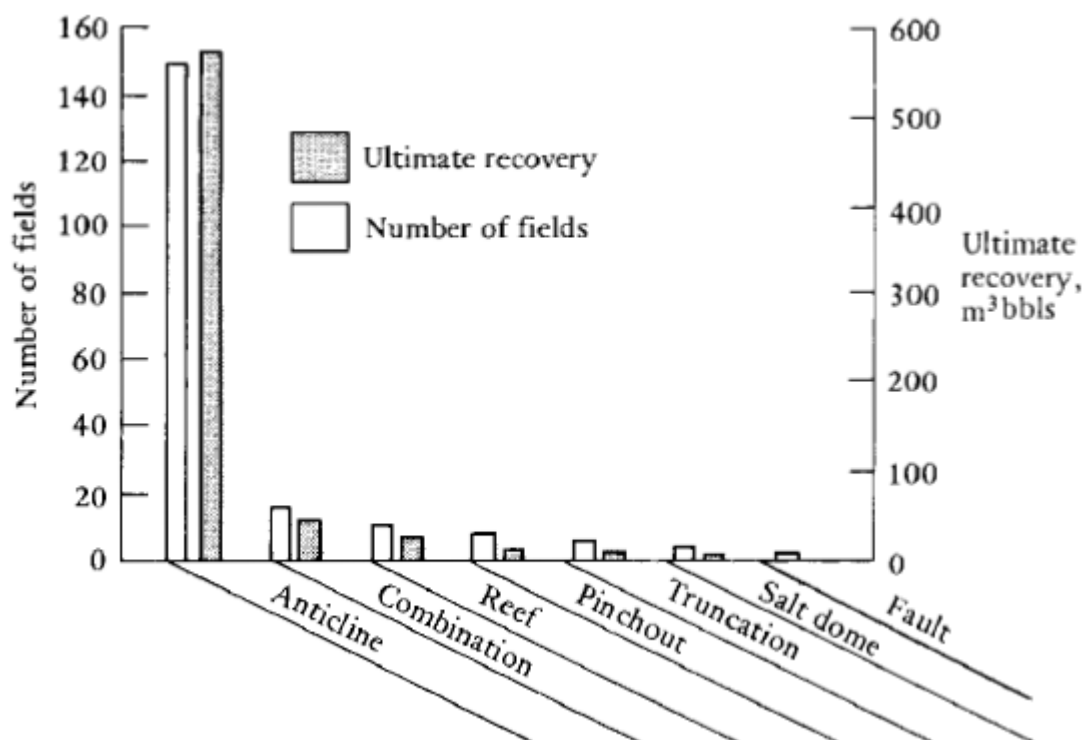
Στην ακόλουθη εικόνα φαίνονται μερικές διαγενετικές παγίδες που έχουν δώσει αξιόλογες ποσότητες υδρογονανθράκων. Στη πρώτη περίπτωση οι υδρογονάνθρακες έχουν παγιδευτεί μέσα σε ένα διαπερατό πέτρωμα γιατί κατά τη μετανάστευση συνάντησαν κάποιον ορίζοντα αυτού, στον οποίο για κάποιο λόγο είχε αποθεθεί μεγαλύτερη ποσότητα συγκολλητικού υλικού με αποτέλεσμα το πορώδες του να μειωθεί δραματικά. Η δεύτερη παγίδα έχει δημιουργηθεί λόγω της έκπλυσης, που έχει επιδράσει επιλεκτικά σε συγκεκριμένες περιοχές ενός πετρώματος, με συνέπεια την ανάπτυξη πορώδους στα σημεία αυτά. Στην τελευταία δομή παγίδευσης που απεικονίζεται έχει συμβεί το εξής. Το πετρέλαιο έχει καταφέρει να διαφύγει και έχει φτάσει πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους με αποτέλεσμα να οξειδωθεί και να αλλάξει η ποιότητα και τα χαρακτηριστικά του. Έτσι έχει μετατραπεί σε μία παχύρρευστη κολλώδη ουσία που θυμίζει πίσσα, η οποία επειδή έχει συγκεντρωθεί σε ένα αρκετά παχύ στρώμα, προστατεύει το υπόλοιπο πετρέλαιο, που συνεχίζει να ανέρχεται μεταναστεύοντας, και αποτρέπει τη διαφυγή του (Selley, 1998).



Εικόνα 2.13: Διαγενετικές παγίδες που έχουν προκύψει από Α. Συγκόλληση, Β. Διάλυση και έκπλυση και Γ. Οξείδωση (Από Selley, 1998).

Επιπλέον, υπάρχουν και οι συνδυαστικές παγίδες, οι οποίες είναι συνδυασμοί από διάφορα στοιχεία δομικών και στρωματογραφικών παγίδων ή ακόμα και συνδυασμοί πολλαπλών δομικών και στρωματογραφικών παγίδων (Hyppe, 2012). Στη φύση σπάνια μία παραγωγική παγίδα υδρογονανθράκων μπορεί να τοποθετηθεί με βεβαιότητα σε μία μόνο από όλες τις ομάδες που αναλύθηκαν προηγουμένως, καθώς στοιχεία από αυτές συνυπάρχουν στις περισσότερες περιπτώσεις κοιτασμάτων. Οι πιο συνηθισμένες παγίδες είναι αυτές που αποτελούνται από ρηγματωμένα ή πτυχωμένα ιζήματα με τη συμμετοχή ασυνεχειών. Τέλος, η πιο σπάνια κατηγορία από όλες, που ανήκει στις συνδυαστικές, είναι οι παγίδες που έχουν δημιουργηθεί από την πτώση κάποιου ουράνιου σώματος στην επιφάνεια της γης, με αποτέλεσμα οι υδρογονάνθρακες να παγιδευτούν μέσα στον κρατήρα που διαμορφώθηκε από τη σύγκρουση και αργότερα θάφτηκε κάτω από τα νεότερα ιζήματα (Selley, 1998).

Τα διαχωριστικά όρια μεταξύ των λιθολογικών μονάδων μίας παγίδας ανήκουν και αυτά στα trap boundaries και χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση των διαστάσεων της, προκειμένου να υπολογιστεί το κλείσιμο της δομής, δηλαδή το μέγεθος της ποσότητας υδρογονανθράκων που μπορεί να φιλοξενήσει η παγίδα. Επίσης, αφού ο ταμιευτήρας μελετηθεί διεξοδικά και γίνουν γνωστές οι πετροφυσικές ιδιότητές του (όπως το πορώδες, το πάχος του κα), αυτές μαζί με άλλες παραμέτρους βρίσκουν εφαρμογή στον υπολογισμό του ογκομετρικού κλεισίματος, που εκφράζει τον πραγματικό όγκο του πετρελαίου ή/και φυσικού αερίου που έχει αποθηκευτεί στην παγίδα.



Εικόνα 2.14: Η κατανομή των διάφορων ειδών παγίδων σε μερικά από τα μεγαλύτερα κοιτάσματα πετρελαίου παγκοσμίως (Από Selley, 1998).

2.7 Ο ΧΡΟΝΟΣ (TIME)

Μία πολύ σημαντική παράμετρος για την ανάπτυξη ενός πετρελαϊκού συστήματος είναι ο γεωλογικός χρόνος. Το αρχικό ίζημα, που είναι πλούσιο σε οργανική ύλη, χρειάζεται πολλά εκατομμύρια χρόνια προκειμένου να ταφεί αρκετά ώστε να υποστεί διαγένεση και στη συνέχεια να βυθιστεί ακόμα πιο βαθιά, για να δώσει τη δυνατότητα στην οργανική ύλη που αυτό περιέχει να μετασχηματιστεί σε κηρογόνο και αργότερα σε υδρογονάνθρακες. Επίσης, οι σχηματιζόμενοι υδρογονάνθρακες χρειάζονται πολύ καιρό για να διανύσουν τις απαραίτητες αποστάσεις, να βρουν έναν ταμιευτήρα και να μεταναστεύσουν σε αυτόν. Ακόμα περισσότερο, ο ρυθμός με τον οποίο συγκεντρώνονται το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο σε μία παγίδα ώστε να φτάσουν σε ποσότητα που θα είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμη είναι μία αρκετά χρονοβόρος διαδικασία.

Επιπρόσθετα, είναι σημαντικό το θέμα του χρόνου να εξεταστεί και από άλλη οπτική γωνία. Δηλαδή, όλοι αυτοί οι παράγοντες που είναι αναγκαίοι για τη συγκρότηση ενός πετρελαϊκού συστήματος πρέπει να συνυπάρχουν και στο σωστό χρόνο για να δημιουργηθεί ένα κοιτάσμα. Για παράδειγμα, είναι πιθανό την χρονική περίοδο που συμπαγοποιείται ένα μητρικό πέτρωμα, το οποίο αργότερα θα δώσει μεγάλες ποσότητες πετρελαίου, να μην υπάρχει στην ίδια περιοχή μία δομή παγίδευσης που θα εμποδίσει το πετρέλαιο από το να διαφύγει στην επιφάνεια κι έτσι αυτό να χαθεί (Gluyas και Swarbrick, 2004). Όμως, στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από τη συμπαγοποίηση του πετρώματος, τη δημιουργία των υδρογονανθράκων και τη μετανάστευσή τους μπορεί να προκύψει για παράδειγμα, λόγω τεκτονικής, κάποια δομή (όπως ένα ρήγμα, μία πτυχή κα), που τελικά θα παγιδέψει το πετρέλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ

3.1 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΙΣ (3-D SEISMICS)

Η μέθοδος πάνω στην οποία βασίζεται σήμερα η έρευνα για την εύρεση υδρογονανθράκων είναι η σεισμική. Χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις, τόσο κατά το αρχικό στάδιο του prospecting όσο και κατά το exploration. Όπως περιγράφηκε στο πρώτο κεφάλαιο, οι σεισμικές διασκοπήσεις οφείλουν την αποτελεσματικότητά τους σε ελαστικά κύματα, τα οποία κατευθύνονται προς το εσωτερικό της γης. Ένα ποσοστό της ενέργειας αυτών των κυμάτων ανακλάται από τα διάφορα στρώματα των πετρωμάτων του υπεδάφους, ενώ επιστρέφοντας στην επιφάνεια καταγράφεται, και με την κατάλληλη επεξεργασία δίνει μία αρκετά λεπτομερή εικόνα της δομής των διάφορων στρωμάτων του υπεδάφους (Sroor, 2010).

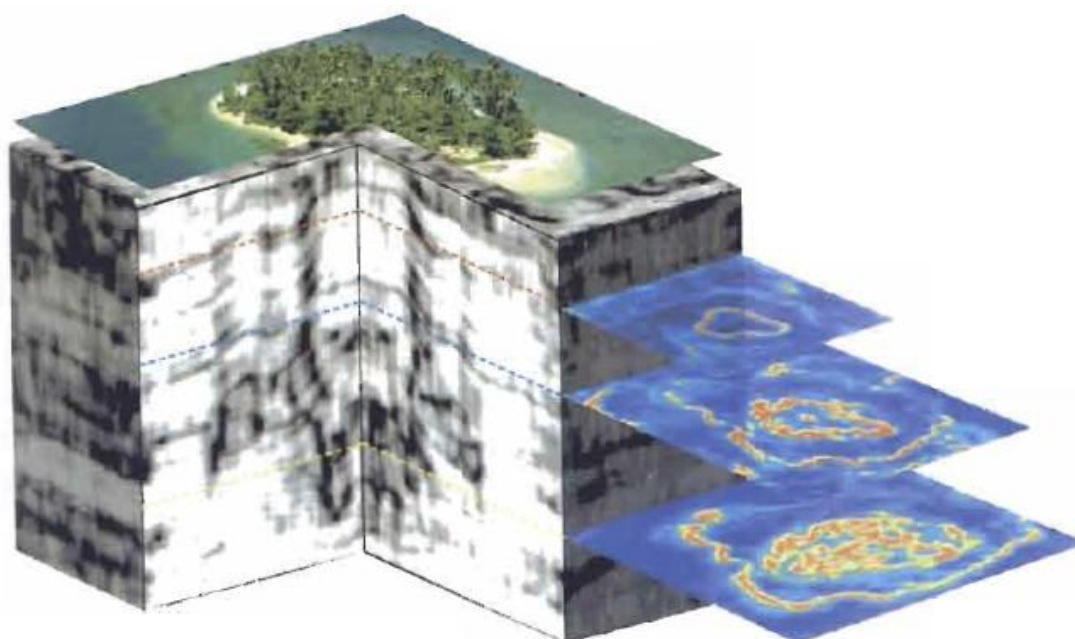
Σύμφωνα με τους Gluyas και Swarbrick (2004), τα στάδια της σεισμικής έρευνας είναι τρία. Το πρώτο στάδιο είναι αυτό της συλλογής των δεδομένων. Η διάταξη της πηγής, των δεκτών και της καταγραφικής μονάδας λειτουργεί όπως αναλύθηκε στην ενότητα των γεωφυσικών μεθόδων και με αυτό τον τρόπο αποκτούνται τα σεισμικά δεδομένα. Έτσι για τη θάλασσα, ειδικά σκάφη που έχουν στο πίσω μέρος τους τα air guns και σέρνουν μεγάλου μήκους καλώδια (streamers), που περιλαμβάνουν τα υδρόφωνα πραγματοποιούν τις μετρήσεις διαγράφοντας ελλειπτικές τροχιές. Ενώ για την ξηρά, τα φορτηγά Vibroseis σταθμεύουν σε συγκεκριμένες θέσεις όπου παράγουν τα απαραίτητα ελαστικά κύματα που διαδίδονται στο εσωτερικό της γης, ανιχνεύονται από τα γεώφωνα και καταγράφονται από υπολογιστές. Είναι πολύ σημαντικό πριν την έναρξη της έρευνας να γίνει ο σχεδιασμός της, ανάλογα με τον τύπο του ανάγλυφου, αν πρόκειται για χερσαία διασκόπηση, με σκοπό η επιφάνεια μελέτης να καλύπτεται όσο γίνεται καλύτερα από τις παραπάνω διατάξεις (Bacon, Simm και Redshaw, 2003).

Στο δεύτερο στάδιο, της επεξεργασίας (processing), τα δεδομένα υπόκεινται συγκεκριμένες τροποποιήσεις μέσω των υπολογιστών ώστε να αποκτήσουν κατάλληλη μορφή σεισμικών τομών του υπεδάφους, που θα ευνοήσει την ευκολότερη ερμηνεία τους. Η προσπάθεια επικεντρώνεται κυρίως στην εφαρμογή των κατάλληλων φίλτρων για την ελαχιστοποίηση του θορύβου. Μεγάλη σημασία δίνεται επίσης στη σωστή τοποθέτηση των σεισμικών γεγονότων στο χώρο και τον χρόνο, στη μετακίνηση κεκλιμένων σεισμικών ανακλάσεων στις σωστές τους θέσεις στη σεισμική εικόνα και σε διορθώσεις, που στις χερσαίες έρευνες σχετίζονται με τα διάφορα είδη ανάγλυφου και τα πάχη των επιφανειακών αποσαθρωμένων στρωμάτων (Bacon, Simm και Redshaw, 2003).

Τα αποτελέσματα των σεισμικών ερευνών απεικονίζονται συνήθως με τη μορφή των σεισμικών τομών ή προφίλ του υπεδάφους. Η σεισμική διασκόπηση μπορεί να χαρακτηρίζεται από δύο διαστάσεις (2-D Seismics), αλλά και από τρεις διαστάσεις (3-D Seismics). Η διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων είναι ότι στην πρώτη περίπτωση τα γεώφωνα/υδρόφωνα είναι τοποθετημένα το ένα πίσω από το άλλο με γραμμικό τρόπο, ενώ στη δεύτερη περίπτωση τοποθετούνται το ένα δίπλα στο άλλο σαρώνοντας παράλληλα και καλύπτοντας έναν πυκνότερο κানাβο (Leffler, Pattarozzi

And Sterling, 2011). Το πιο μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η τεχνική των 3-D Seismics για λόγους που θα αναλυθούν πιο κάτω σε αυτή την ενότητα.

Τα δεδομένα μίας τρισδιάστατης σεισμικής έρευνας απεικονίζονται με τη μορφή των κυβικών διαγραμμάτων ή κύβων (cubes) και επεξεργάζονται στον υπολογιστή με διάφορα προγράμματα μοντελοποίησης. Οι κύβοι χαρακτηρίζονται από τρεις διαστάσεις, δηλαδή από τους άξονες X και Y οριζόντια, αλλά και από τον άξονα Z, που δηλώνει αρχικά χρόνο και όχι βάθος, κατακόρυφα προς τα κάτω (Bacon, Simm και Redshaw, 2003). Επιπλέον, η προβολή και η παρατήρηση των δεδομένων μπορεί να γίνει με τη βοήθεια των υπολογιστών μέσα σε ειδικά δωμάτια όπου χρησιμοποιούνται οι αρχές της προσομοίωσης, δίνοντας στους μελετητές τη δυνατότητα να περιηγηθούν μέσα στο τρισδιάστατο περιβάλλον των πετρωμάτων του υπεδάφους και να διακρίνουν από κοντά τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητές τους (Hyne, 2012).

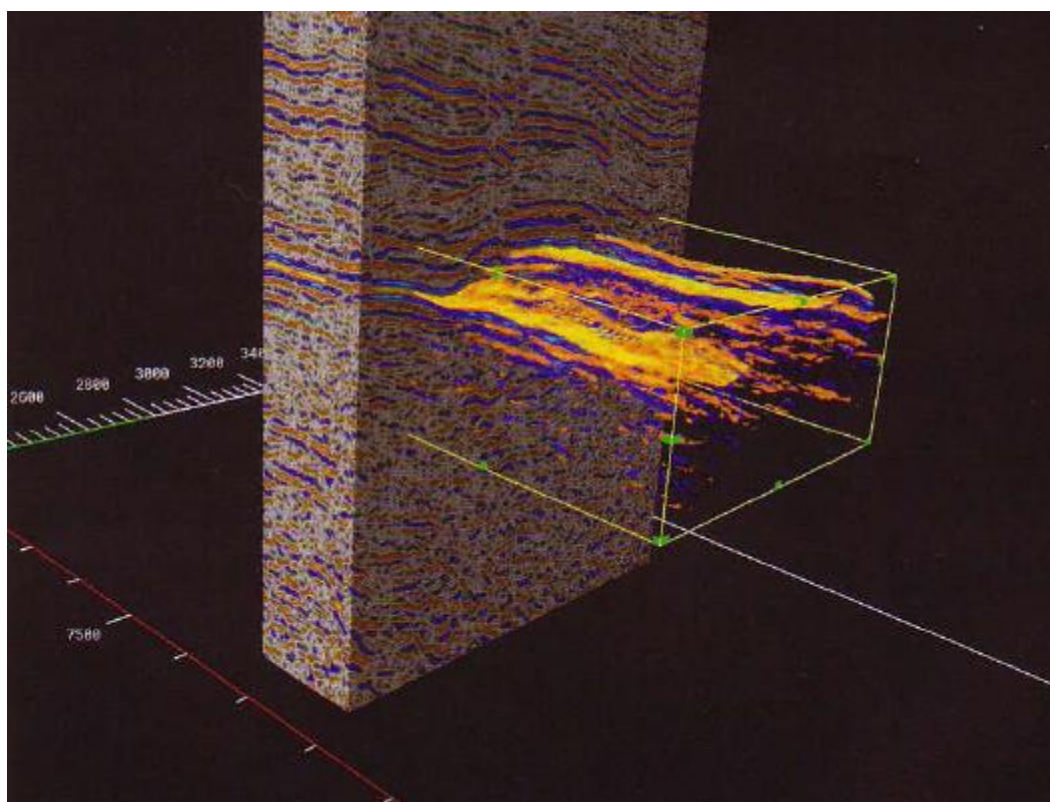


Εικόνα 3.1: Κύβος (cube) που έχει προκύψει από 3-D Seismics και εμφανίζει έναν κοραλλιογενή ύφαλο. Στην εικόνα φαίνονται και οριζόντιες απεικονίσεις του υφάλου σε διαφορετικούς χρόνους (time slices). Η τεχνολογία των 3-D Seismics επιτρέπει την απεικόνιση των δεδομένων από διάφορες κατευθύνσεις, καθιστώντας την ερμηνεία τους ακόμη πιο εύκολη και ακριβή (Από Selley, 1998).

Το τρίτο και τελευταίο στάδιο μίας σεισμικής έρευνας είναι αυτό της ερμηνείας (interpretation). Σε αυτή τη φάση επιστήμονες, όπως οι γεωφυσικοί και οι γεωλόγοι, συνδυάζοντας την γνώση και την εμπειρία τους, μελετούν τις έτοιμες και επεξεργασμένες σεισμικές τομές ή κύβους στην περίπτωση των δισδιάστατων και τρισδιάστατων διασκοπήσεων αντίστοιχα, και προσπαθούν αρχικά να εντοπίσουν ορισμένους βασικούς ορίζοντες που θα τους βοηθήσουν να κατανοήσουν τη γεωλογία και τη στρωματογραφία της περιοχής μελέτης (Bacon, Simm και Redshaw, 2003). Σιγά – σιγά καθώς αυξάνονται τα στοιχεία που έχουν στη διάθεσή τους η στρωματογραφική εικόνα της περιοχής γίνεται πιο ολοκληρωμένη και στη συνέχεια η προσπάθεια επικεντρώνεται στην ανίχνευση πετρελαιοπιθανών δομών, δηλαδή

συνδυασμών του πετρώματος ταμιευτήρα, του μητρικού πετρώματος και της δομής παγίδευσης (Leffler, Pattarozzi And Sterling, 2011).

Η μέθοδος των 3-D Seismics είναι πιο σύγχρονη και εξελιγμένη, γι' αυτό και εφαρμόζεται περισσότερο από αυτή των 2-D Seismics. Τα δεδομένα των ερευνών συλλέγονται γρήγορα και τα αποτελέσματα μπορούν να είναι έτοιμα σε μικρό χρονικό διάστημα, καθώς τις περισσότερες φορές το σύστημα καταγραφής και επεξεργασίας βρίσκεται στο ίδιο σκάφος ή φορηγό που πραγματοποιεί τη διασκόπηση (Bacon, Simm και Redshaw, 2003). Με την τεχνική του undershooting μπορούν να ληφθούν τρισδιάστατες σεισμικές εικόνες μίας περιοχής χωρίς απαραίτητα ο σεισμικό εξοπλισμός να τοποθετηθεί ακριβώς πάνω από αυτήν στην επιφάνεια (Hyne, 2012). Επειδή ο κánaβος των μετρήσεων είναι πολύ πυκνότερος η δομική και στρωματογραφική εικόνα του υπεδάφους που προκύπτει είναι πολύ πιο πλήρης και αντιπροσωπευτική (Brown, 1999). Μέσω της επεξεργασίας με υπολογιστές, οι σεισμικές εικόνες γίνονται πιο λεπτομερείς, και οι διορθώσεις που αυτές πρέπει να υποστούν γίνονται με μεγαλύτερη ακρίβεια (Hyne, 2012). Τα δεδομένα των μετρήσεων με κατάλληλη κατεργασία μπορούν να συμβάλλουν στην κατασκευή τρισδιάστατων χαρτών, χρήσιμων στη μελέτη των διαστάσεων και των ιδιοτήτων των ταμιευτήρων. Επίσης, ο υπολογιστής επιτρέπει την παρατήρηση των εικόνων σε διάφορα σημεία και από διαφορετικές οπτικές γωνίες και κατευθύνσεις (Hyne, 2012). Τέλος, τα δεδομένα των 3-D Seismics δίνουν τη δυνατότητα υπολογισμού του όγκου των υδρογονανθράκων που υπάρχουν μέσα στον ταμιευτήρα και σωστής προετοιμασίας, σχεδιασμού και επιλογής του πιο κατάλληλου τρόπου εξόρυξής τους (Bacon, Simm και Redshaw, 2003).



Εικόνα 3.2: Σε αυτό το παράδειγμα κύβου έχει επιλεγεί ένας συγκεκριμένος λιθολογικός ορίζοντας στον οποίο έχει προστεθεί χρώμα, ενώ τα υπόλοιπα περιβάλλοντα πετρώματα είναι διαφανή. Η τεχνική αυτή ευνοεί τον υπολογισμό των



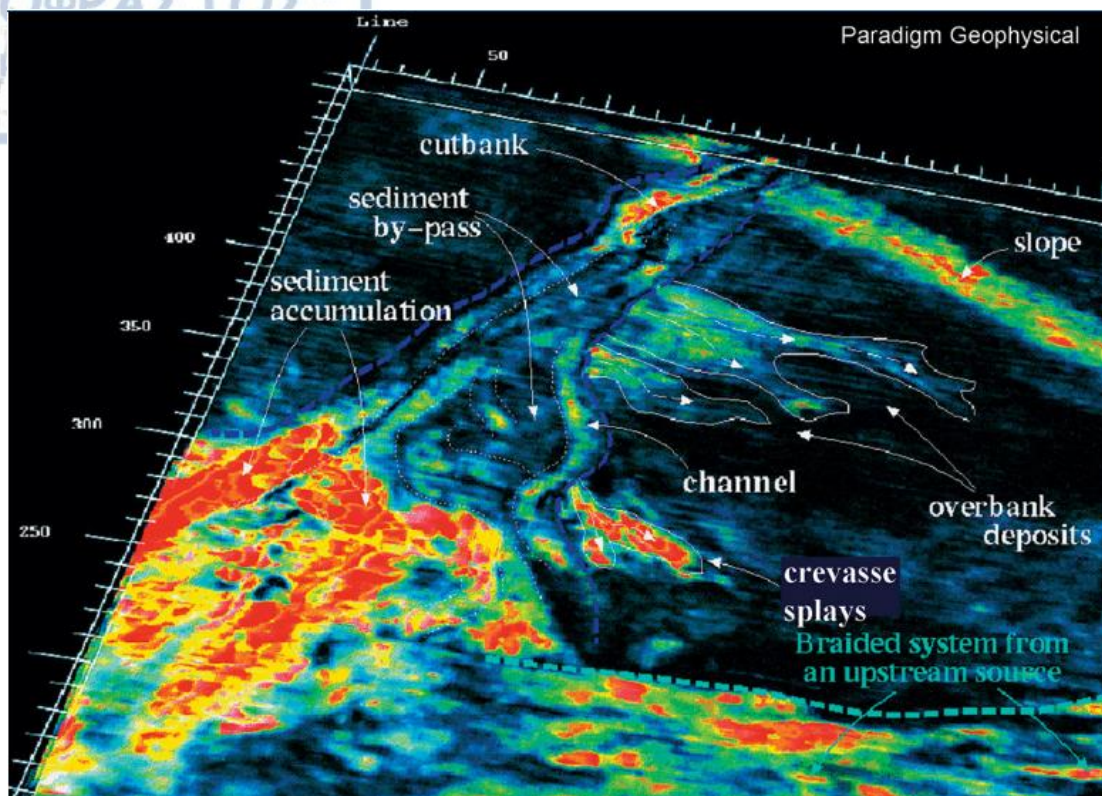
διαστάσεων και του όγκου του συγκεκριμένου λιθολογικού σχηματισμού και καθιστά πιο προσιτή στο μάτι τη διάρθρωση του πετρώματος στο χώρο (Από Bacon, Simm και Redshaw, 2003).

Η τρισδιάστατη σεισμική διασκόπηση είναι μία δαπανηρή διαδικασία αλλά προτιμάται σήμερα για τους ακόλουθους λόγους: κατά το στάδιο της έρευνας, πριν αρχίσει η όρυξη των ερευνητικών γεωτρήσεων, τα 3-D Seismics που έχουν προηγηθεί, δίνουν επαρκή δεδομένα για τη δομή της περιοχής ώστε να περιοριστεί το ρίσκο και ο κίνδυνος όρυξης δοκιμαστικής γεώτρησης σε μέρος που δε φιλοξενεί καθόλου υδρογονάνθρακες. Επομένως, μέσω των 3-D Seismics μειώνεται αρκετά το κόστος των πιθανών σφαλμάτων στην χωροθέτηση των ερευνητικών γεωτρήσεων που τελικά είναι πολύ μεγαλύτερο από το κόστος των ίδιων των σεισμικών διασκοπήσεων (Nanda, 2016). Επιπλέον, στο μεταγενέστερο στάδιο της ανάπτυξης και της παραγωγής, τα σημεία στα οποία θα ορυχθούν οι πρόσθετες γεωτρήσεις που θα γίνουν για να συνεχιστεί η άντληση των υδρογονανθράκων και από άλλα πιο απομονωμένα τμήματα του κοιτάσματος, προσδιορίζονται σε μεγάλο βαθμό με βάση τα αποτελέσματα των σεισμικών ερευνών (Hyne, 2012).

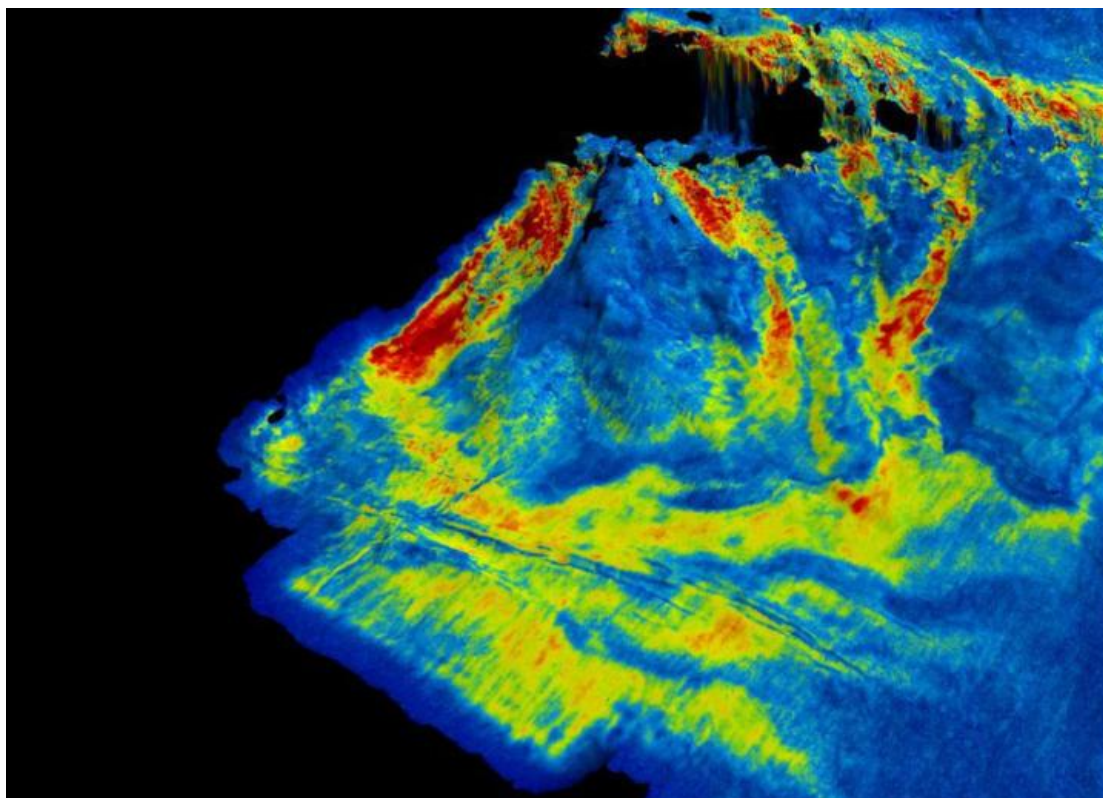
Εκτός από τα 2-D και 3-D Seismics ορισμένες φορές χρησιμοποιείται και η μέθοδος των 4-D Seismics, κατά την οποία γίνονται τρισδιάστατες σεισμικές διασκοπήσεις των ίδιων τμημάτων ενός κοιτάσματος ανά τακτά χρονικά διαστήματα (μερικά χρόνια). Έτσι, κατά τα στάδια της παραγωγής μελετάται σε συνάρτηση με το χρόνο η συμπεριφορά του ταμιευτήρα και των ρευστών του, καθώς και πώς αλλάζει η τελευταία όσο συνεχίζεται η άντληση των υδρογονανθράκων στην επιφάνεια (Hyne, 2012). Μελετώνται, ακόμη και οι μετακινήσεις των gas – water contact, gas – oil contact και oil – water contact κατά τη διάρκεια της εκμετάλλευσης του κοιτάσματος (Gluyas και Swarbrick, 2004). Με αυτή την τεχνική μπορούν να ανακαλυφθούν μέρη του ταμιευτήρα που ακόμη περιέχουν αξιοσημείωτες ποσότητες πετρελαίου ή/και φυσικού αερίου καθώς το κοίτασμα πλησιάζει προς την εξόφλησή του (Leffler, Pattarozzi And Sterling, 2011).

3.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

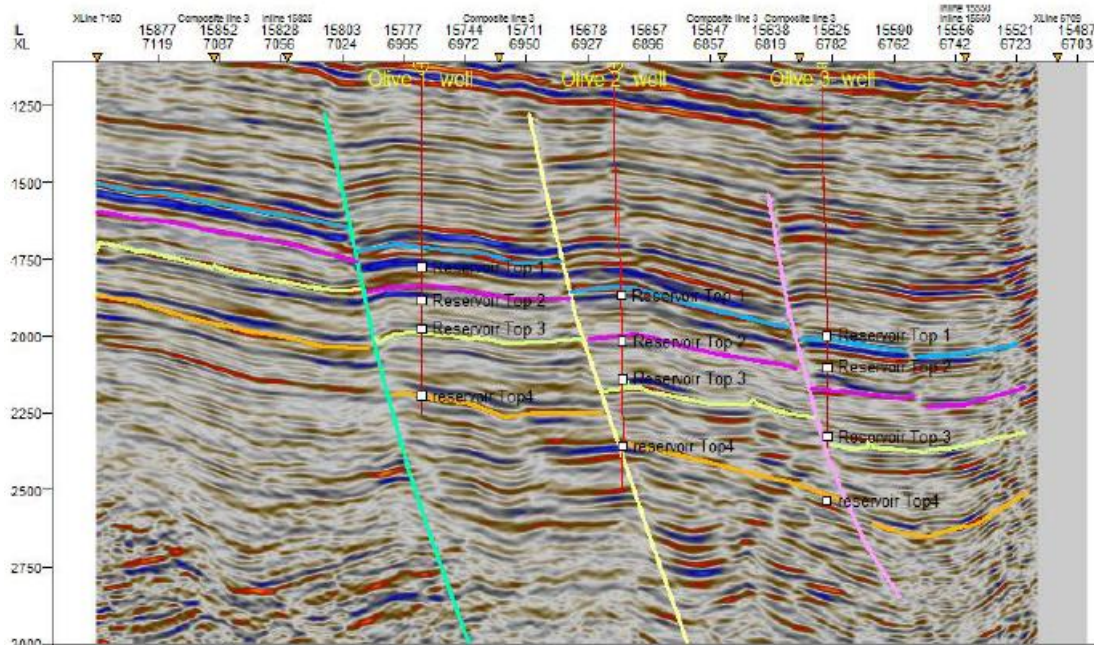
Στην ενότητα αυτή περιλαμβάνονται μερικές εικόνες που παρουσιάζουν παραδείγματα από περιοχές στις οποίες έχουν εντοπιστεί διάφορα prospects μετά την πραγματοποίηση τρισδιάστατων σεισμικών διασκοπήσεων (3-D Seismics), στα πλαίσια προγραμμάτων έρευνας και αναζήτησης υδρογονανθράκων. Οι μορφές που έχουν τα δεδομένα στις εικόνες αυτές ποικίλουν. Στα παραδείγματα που αναφέρονται πιο κάτω χρησιμοποιούνται από σεισμικές γραμμές, τομές και κύβοι, μέχρι φωτογραφίες στις οποίες έχουν χαρτογραφηθεί συγκεκριμένες ιδιότητες, που έχουν μεγάλη σημασία για την παραγωγικότητα των ταμιευτήρων, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο αυτές μεταβάλλονται και εξαπλώνονται στο εσωτερικό των ταμιευτήρων. Οι περισσότερες από τις εικόνες αυτές έχουν υποστεί διάφορων ειδών τροποποιήσεις προκειμένου να γίνει η ερμηνεία τους πιο εύκολη και προσιτή στο μάτι.



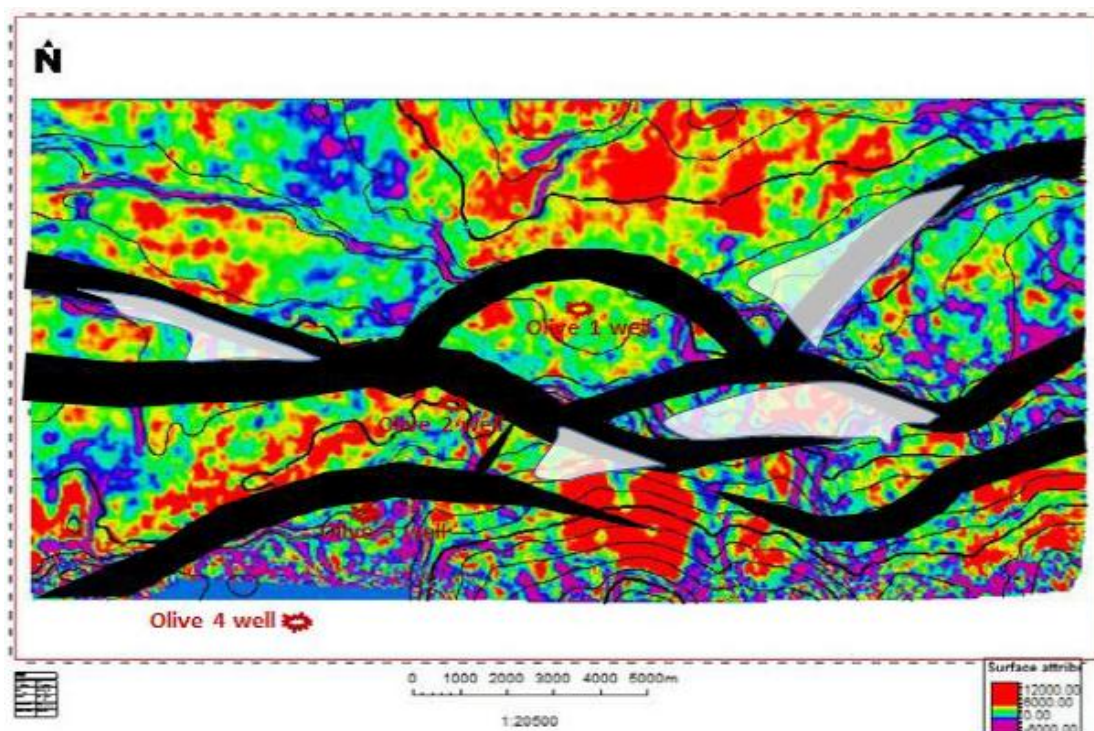
Εικόνα 3.3: Τρισδιάστατη σεισμική εικόνα ενός περιβάλλοντος κοίτης ποταμού και ριπιδίων. Από την ερμηνεία της εικόνας γίνεται φανερό ότι η άμμος έχει απομακρυνθεί από την εντοιχισμένη κοιλάδα και έχει δημιουργήσει αποθέσεις μορφής ριπιδίων σε μία γειτονική λεκάνη. Η ανοιχτόχρωμη περιοχή, που φαίνεται να συνδέεται με την κοίτη, αντιπροσωπεύει χαρακτηριστικά ιζήματα που έχουν τη μορφή των crevasse splays (Από <http://csegrecorder.com/>).



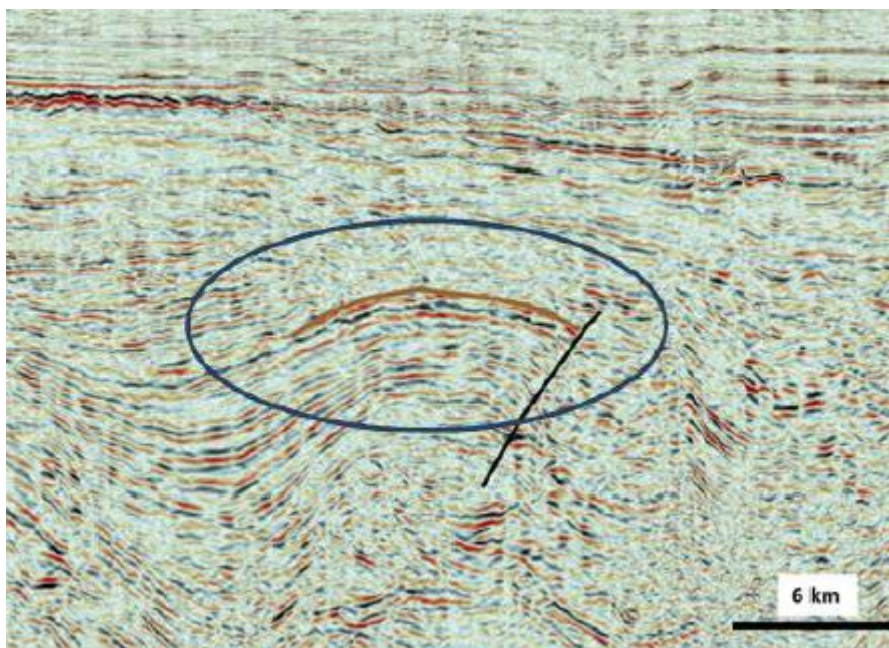
Εικόνα 3.4: Μεταβατικό περιβάλλον απότομων πλαγιών που καταλήγουν σε αποθετική λεκάνη με Κάτω Κρητιδικά ιζήματα, στο South Porcupine Basin της Ιρλανδίας. Ένας αξιοσημείωτος αριθμός από prospects έχει εντοπιστεί με την τρισδιάστατη σεισμική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή (Από <http://www.geoexpro.com/>).



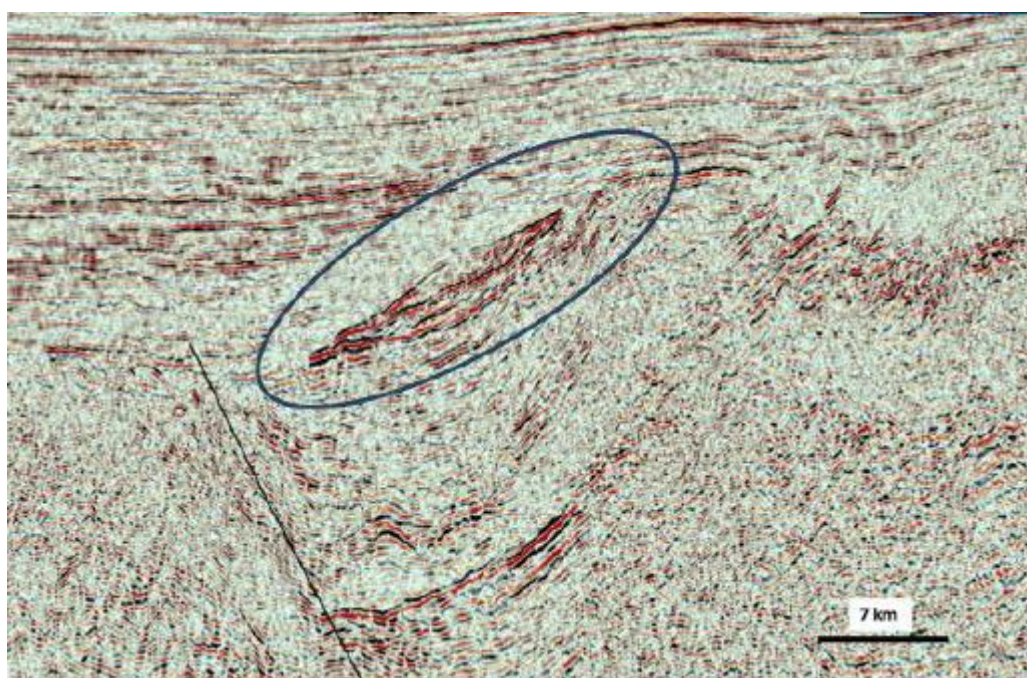
Εικόνα 3.5: Σεισμική εικόνα του Olive Field, στο Δέλτα του Νίγηρα της Νιγηρίας, στην οποία φαίνονται, επίσης, οι θέσεις των γεωτρήσεων και ορισμένα ρήγματα. Από το συνδυασμό των σεισμικών δεδομένων και των δεδομένων των γεωτρήσεων έχει πραγματοποιηθεί ο στρωματογραφικός συσχετισμός και έχουν εντοπιστεί 4 ορίζοντες που φιλοξενούν υδρογονάνθρακες (Από Emina, 2016).



Εικόνα 3.6: Δομικός χάρτης (που έχει δημιουργηθεί από επεξεργασία τρισδιάστατων σεισμικών δεδομένων) του τέταρτου παραγωγικού ορίζοντα που φαινόνταν και στην προηγούμενη εικόνα (reservoir top 4), στον οποίο διακρίνονται 4 αναγνωρισμένα prospects στις λευκές περιοχές (Από Emina, 2016).

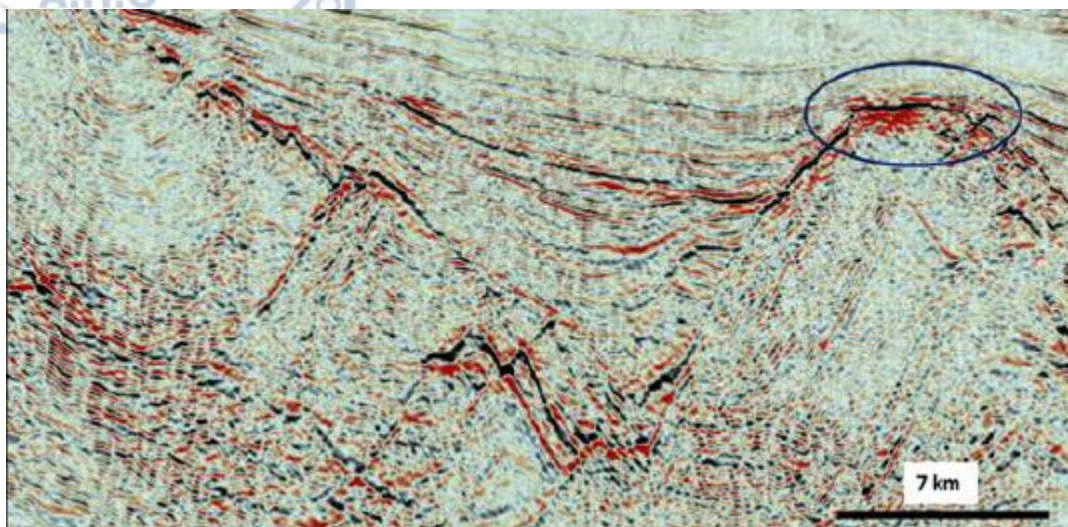


Εικόνα 3.7: Αντίκλινο που είναι πιθανό να φιλοξενεί υδρογονάνθρακες στην Pelotas Basin (Ουρουγουάη). Στην εικόνα διακρίνεται και ένα ανάστροφο ρήγμα που είναι πιθανό να αποτέλεσε την πορεία που ακολούθησαν οι υδρογονάνθρακες κατά τη μετανάστευσή τους (Conti, Ferro, Tomasini, Gristo και De Santa Ana, 2016).

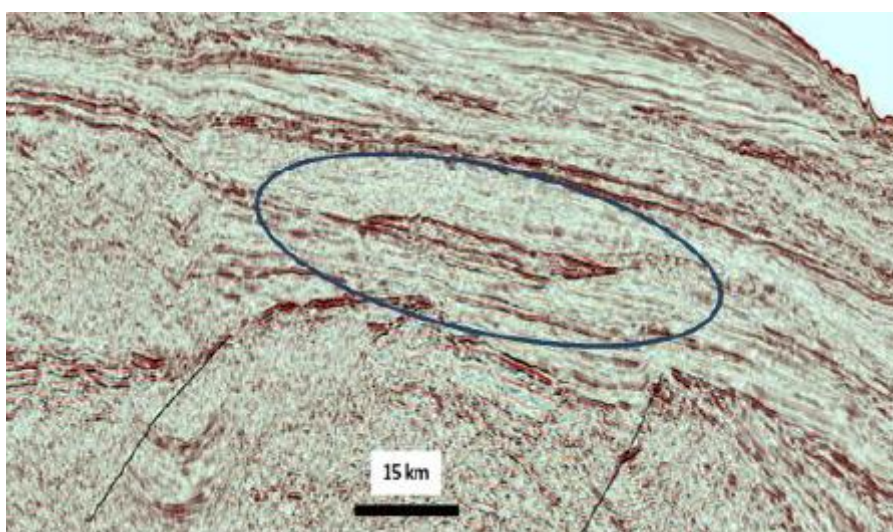


Εικόνα 3.8: Σε αυτή την εικόνα φαίνονται ψαμμιτικές αποθέσεις με τη μορφή λιμναίων ριπιδίων, που αποτελούν ένα prospect της Punta Del Este Basin (Ουρουγουάη). Να σημειωθεί πως έχουν επίσης ανιχνευτεί και άργιλοι, που

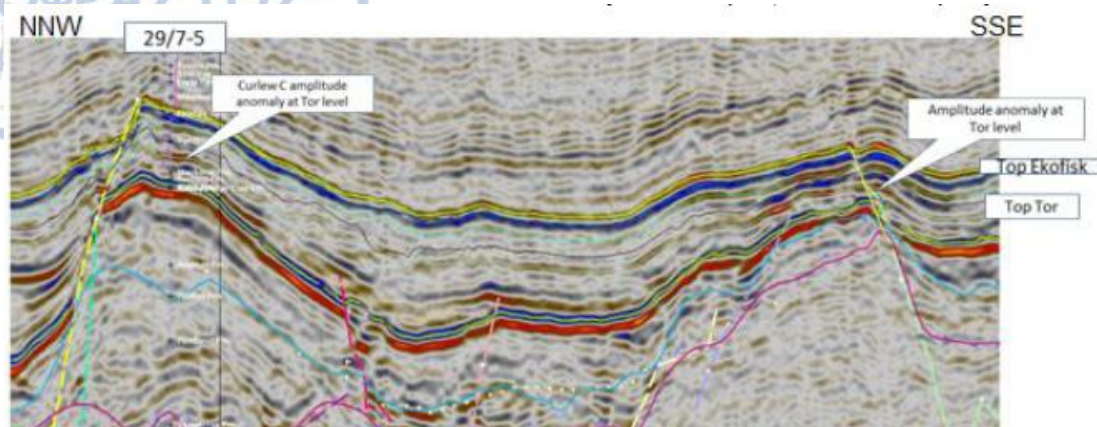
θεωρείται πως είναι τα μητρικά πετρώματα τα οποία ταυτόχρονα παγίδευσαν και τους υδρογονάνθρακες (Conti, Ferro, Tomasini, Gristo και De Santa Ana, 2016).



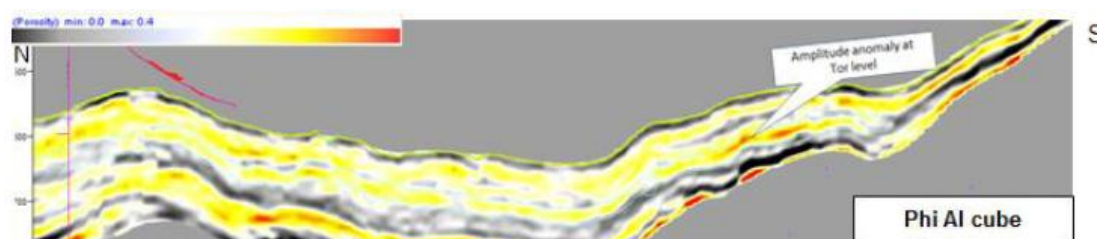
Εικόνα 3.9: Prospect στην Pelotas Basin (Ουρουγουάη) που αποτελείται από ένα ασβεστίτικο horst ανάμεσα σε half grabens. Στην περιοχή υπάρχουν λιμναίες άργιλοι, που είναι τα μητρικά πετρώματα, και θαλάσσιες άργιλοι, που είναι τα cap rocks. Η μετανάστευση των υδρογονανθράκων είναι πιθανό να έγινε παράλληλα με το κανονικό ρήγμα που δημιούργησε τη δομή (Conti, Ferro, Tomasini, Gristo και De Santa Ana, 2016).



Εικόνα 3.10: Prospect που αποτελείται από έναν τουρβιδίτη που περικυκλώνεται από θαλάσσιες αργίλους (Ουρουγουάη). Η δομή έχει υποστεί την τεκτονική επίδραση αρκετών σχεδόν κατακόρυφων ρηγμάτων (Conti, Ferro, Tomasini, Gristo και De Santa Ana, 2016).



Εικόνα 3.11: Σεισμική γραμμή στην οποία φαίνεται το Shipley Chalk Prospect (Curlew South) (Από Endeavour Energy UK Limited).



Εικόνα 3.12: Ο ενδεχομένως παραγωγικός ορίζοντας της προηγούμενης εικόνας εμφανίζεται εδώ με τη μορφή σεισμικού κύβου που απεικονίζει το εύρος του πορώδους στο εσωτερικό του (Από Endeavour Energy UK Limited).

3.3 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ TARGET

Θα ήταν πολύ ακριβό οι γεωτρήσεις να φτάνουν μέχρι το υπόβαθρο, δηλαδή τα μη παραγωγικά πετρώματα (Hyne, 2012). Γι' αυτό πραγματοποιούνται οι σεισμικές έρευνες ώστε να καθοριστεί μέσα από την ερμηνεία των δεδομένων τους ο στόχος (target), δηλαδή ο ορίζοντας που θεωρείται ότι φιλοξενεί υδρογονάνθρακες και είναι πρακτικά και οικονομικά εκμεταλλεύσιμος και ταυτόχρονα ο ορίζοντας στον οποίο καταλήγει η γεώτρηση. Στόχο μπορεί επίσης να αποτελέσει μία ποσότητα πετρελαίου ή φυσικού αερίου η οποία ανήκει σε ένα κοίτασμα για την εξόφληση του οποίου έχουν εφαρμοστεί ήδη οι συμβατικές μέθοδοι εξόρυξης των υδρογονανθράκων, αλλά η συγκεκριμένη ποσότητα δεν εξορύχτηκε και απαιτεί την χρήση των τεχνικών ενισχυμένης ανάκτησης (EOR – Enhanced Oil Recovery), που ενδέχεται να εφαρμοστούν στη συνέχεια για την εκμετάλλευσή της (Hyne, 1991).

Εφόσον ο στόχος εντοπιστεί με τα Seismics, οι ερευνητικές και επιβεβαιωτικές γεωτρήσεις θα πρέπει στη συνέχεια να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να ορυχθούν στα κατάλληλα σημεία προκειμένου να καταλήξουν στο βάθος του στόχου (ταμιευτήρα), για να είναι αποτελεσματικές (Hyne, 1991). Βέβαια, ο προσδιορισμός του στόχου μπορεί να γίνει ακόμα πιο εύκολα και με μεγαλύτερη ακρίβεια αν τα δεδομένα των σεισμικών διασκοπήσεων (αφού ο χρόνος των σεισμικών τομών μετατραπεί σε βάθος μέσω ειδικών προγραμμάτων σε υπολογιστές) συνδυαστούν με τα πορίσματα του στρωματογραφικού συσχετισμού που έχει προκύψει από δειγματοληψίες και διαγραφίες γεωτρήσεων (Nanda, 2016).

Όσο πιο μεγάλες διαστάσεις έχει ένα πετρελαϊκό σύστημα τόσο πιο ευνοϊκό και επιθυμητό στόχο αποτελεί σε ένα πρόγραμμα αναζήτησης υδρογονανθράκων. Όταν σε μία περιοχή γίνεται έρευνα και ανακαλύπτονται διάφοροι στόχοι, επιβεβαιώνονται πρώτα οι μεγαλύτεροι και αυτοί που θεωρούνται παραγωγικοί και κατά συνέπεια εκμεταλλεύονται και πρώτοι. Στη συνέχεια, καθώς αυτοί εξοφλούνται η προσοχή των εταιρειών επικεντρώνεται στους υπόλοιπους μικρότερους στόχους (Knoring And Chilingal And Gorfunkel, 1999).

Μερικές φορές, όταν σε μία περιοχή έχουν εντοπιστεί αρκετοί στόχοι, χρησιμοποιούνται προγράμματα που βοηθούν στην επιλογή αυτών που συμφέρει να ερευνηθούν περισσότερο. Τα προγράμματα αυτά εφαρμόζουν ειδικά φίλτρα για την ταξινόμηση των στόχων σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με τις διαστάσεις και τη σημαντικότητά τους, και την εύρεση αυτών που είναι παραγωγικοί, με βάση ορισμένα κριτήρια και προϋποθέσεις. Οι στόχοι που ενδέχεται να είναι πιο κερδοφόροι και προσβάσιμοι αποκτούν προτεραιότητα, ενώ άλλοι που κρίνονται ακατάλληλοι απορρίπτονται. Επίσης, επισημαίνεται σε ποιους από τους στόχους που έχουν ανιχνευτεί είναι απαραίτητο να ορυχθούν περισσότερες γεωτρήσεις (Knoring And Chilingal And Gorfunkel, 1999).

Όσο η τεχνολογία της έρευνας και της ανάκτησης των υδρογονανθράκων εξελίσσεται και βελτιώνεται οι στόχοι θα γίνονται όλο και βαθύτεροι αλλά και πιο πολύπλοκοι (Nanda, 2016). Ήδη σήμερα υπάρχει εκμετάλλευση κοιτασμάτων που πριν από μερικά χρόνια φάνταζε αδύνατη.

3.4 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ POSITIONING

Αφού ολοκληρωθούν οι σεισμικές διασκοπήσεις, οι πληροφορίες που έχουν στη διάθεσή τους οι γεωλόγοι και οι γεωφυσικοί αρχίζουν να συνδέονται μεταξύ τους μέσω της ερμηνείας των δεδομένων. Έτσι, καθώς η γεωλογική και στρωματογραφική εικόνα της περιοχής ενδιαφέροντος γίνεται πιο ξεκάθαρη, οι επιστήμονες δημιουργούν τρισδιάστατα μοντέλα του υπεδάφους, πάνω στα οποία αναζητούν τους στόχους, για τους οποίους έγινε λόγος πιο πάνω. Αφού οι στόχοι βρεθούν η δουλειά, κυρίως των γεωλόγων, συνεχίζεται πάνω στα μοντέλα αυτά και προχωράει στο επόμενο βήμα. Αυτό αποτελεί το positioning, δηλαδή την επιλογή των πιο κατάλληλων θέσεων για να ορυχθούν οι γεωτρήσεις ώστε να εξασφαλίσουν τη σίγουρη, εύκολη και άμεση πρόσβαση στους υδρογονάνθρακες που φιλοξενούνται στον ορίζοντα του ταμιευτήρα. Η διαδικασία του positioning είναι το πιο σημαντικό στάδιο ενός προγράμματος αναζήτησης υδρογονανθράκων διότι από εκείνη εξαρτάται ο αριθμός των γεωτρήσεων που θα πραγματοποιηθούν, δηλαδή το κόστος της επιχείρησης, η παραγωγικότητά τους, καθώς και η ποσότητα των υδρογονανθράκων που θα εξορυχτεί, δηλαδή το κέρδος (Leffler, Pattarozzi And Sterling, 2011).

Η επιλογή των θέσεων στις οποίες θα γίνουν οι γεωτρήσεις εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη μορφή του πετρελαϊκού συστήματος και της δομής παγίδευσης (για παράδειγμα από τη θέση και τον τρόπο με τον οποίο είναι διαρθρωμένο το πέτρωμα κάλυμμα αλλά και από τα ρήγματα ή πτυχές που μπορεί να χαρακτηρίζουν την παγίδα). Αν το στάδιο του positioning γίνει σωστά η κάθε γεώτρηση που θα ορυχθεί θα φέρει στην επιφάνεια τη μέγιστη δυνατή ποσότητα πετρελαίου ή φυσικού αερίου,

ενώ ο αριθμός των γεωτρήσεων που θα χρειαστούν για την εξόφληση του κοιτάσματος θα είναι όσο το δυνατόν μικρότερος (Gluyas και Swarbrick, 2004)

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι σήμερα, όταν επιλεγούν οι κατάλληλες θέσεις στις οποίες θα ορυχθούν οι γεωτρήσεις, οι θέσεις αυτές μπορούν να προσδιοριστούν πολύ εύκολα και χωρίς κόστος μέσω του παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού θέσης (GPS), ενώ στο παρελθόν η διαδικασία αυτή ήταν αρκετά δύσκολη και χρονοβόρος (Hyne, 2012).

3.5 ΟΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ (DRILLING)

Το τελευταίο στάδιο της έρευνας για τον εντοπισμό υδρογονανθράκων, μέσα από το οποίο ολοκληρώνεται η εικόνα που έχουν σχηματίσει οι επιστήμονες για ένα πετρελαιοειδές σύστημα και μελετώνται με ακρίβεια όλα τα στοιχεία που απαρτίζουν το τελευταίο, είναι αυτό των γεωτρήσεων. Οι γεωτρήσεις αποτελούν την πιο δαπανηρή από όλες τις μεθόδους έρευνας που περιγράφηκαν στο πρώτο κεφάλαιο, όμως μόνο αυτές μπορούν να αποδείξουν την ύπαρξη οικονομικά εκμεταλλεύσιμων ποσοτήτων υδρογονανθράκων στην περιοχή που ερευνάται (Γεωργακόπουλος). Γι' αυτό και έχει σημασία πριν από την όρυξή τους να έχουν αξιοποιηθεί όσο περισσότερες από αυτές τις μεθόδους γίνεται, προκειμένου να αποκτηθεί γνώση για την περιοχή ενδιαφέροντος και να περιοριστεί το οικονομικό ρίσκο.

Η πραγματική εξέταση των ιδιοτήτων του πετρώματος ταμιευτήρα γίνεται μόνο όταν ορυχθεί μία γεώτρηση. Τα δύο πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των ταμιευτήρων για την παραγωγή υδρογονανθράκων, το πορώδες και η διαπερατότητα, υπολογίζονται από μετρήσεις που γίνονται στους πυρήνες των γεωτρήσεων, με αποτέλεσμα την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ποσότητα των υδρογονανθράκων που μπορεί να αντληθεί στην επιφάνεια, αλλά και πόσο εύκολα θα γίνει η άντληση. Επίσης, με τις γεωτρήσεις μπορεί να προσδιοριστεί και η ποιότητα των υδρογονανθράκων, καθώς είναι δυνατή η άμεση δειγματοληψία από το κοίτασμα. Μερικές φορές είναι δυνατό να ανιχνευτεί πετρέλαιο ή φυσικό αέριο ακόμη και μέσα στους ίδιους τους πυρήνες, αμέσως μετά τη λήψη τους (Γεωργακόπουλος). Αν και η πυρηνοληψία αποτελεί την πιο δαπανηρή από τις μεθόδους δειγματοληψίας, καθώς για την εκτέλεσή της απαιτείται ανέλκυση της διατρητικής στήλης και αλλαγή του κοπτικού άκρου, προτιμάται σε αρκετές περιπτώσεις έναντι των υπολοίπων, γιατί δίνει συμπαγή, ολοκληρωμένα και πιο αντιπροσωπευτικά δείγματα των πετρωμάτων που έχουν διατρηθεί (Link, 1999).

Πολύ σημαντικό ρόλο κατά τη διάρκεια της όρυξης μίας γεώτρησης παίζει ο πολφός της. Ο πολφός αυτός διοχετεύεται συνεχώς προς το κοπτικό άκρο και στη συνέχεια ανεβαίνει επιστρέφοντας στην επιφάνεια. Μέσα σε αυτόν παγιδεύονται τα θρύμματα των πετρωμάτων που προκύπτουν από την περιστροφή του κοπτικού άκρου, οπότε δίνεται στους γεωλόγους η ευκαιρία να διαχωρίσουν τον πολφό από τα θρύμματα και εξετάζοντας τα τελευταία με στερεομικροσκόπιο να βγάλουν συμπεράσματα για τα πετρώματα του υπεδάφους (λιθολογία και σύσταση), τις πετροφυσικές ιδιότητες αυτών (πχ μέγεθος κόκκων στα θρύμματα, πορώδες), την ορυκτολογική τους σύσταση και τυχόν λιθολογικές αλλαγές (βοηθώντας στον καθορισμό των ορίων και των παχών των στρωμάτων των πετρωμάτων του υπεδάφους). Αν μεταξύ των θρυμμάτων υπάρχει μικρή ποσότητα πετρελαίου τότε αυτή είναι εύκολο να διαπιστωθεί μέσω της χαρακτηριστικής ιδιότητας του

φθορισμού. Επίσης, η λάσπη μεταφέρει στην επιφάνεια και τα ρευστά των πετρωμάτων που τρυπά το κοπτικό άκρο. Επομένως αποσπώντας τα ρευστά αυτά από τον πολφό οι επιστήμονες μπορούν αναλύοντάς τα να διαπιστώσουν την ύπαρξη υδρογονανθράκων και να προσδιορίσουν την ποιότητά τους. Ακόμη, μαζί με τη λάσπη μεταφέρονται στην επιφάνεια συχνά και μικρο – απολιθώματα, που μπορούν να φανούν εξαιρετικά χρήσιμα στο στρωματογραφικό συσχετισμό και στον προσδιορισμό του περιβάλλοντος απόθεσης του αρχικού ιζήματος. Οι δειγματοληψίες αυτές πρέπει να γίνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα και τα αποτελέσματά τους να αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων της γεώτρησης.

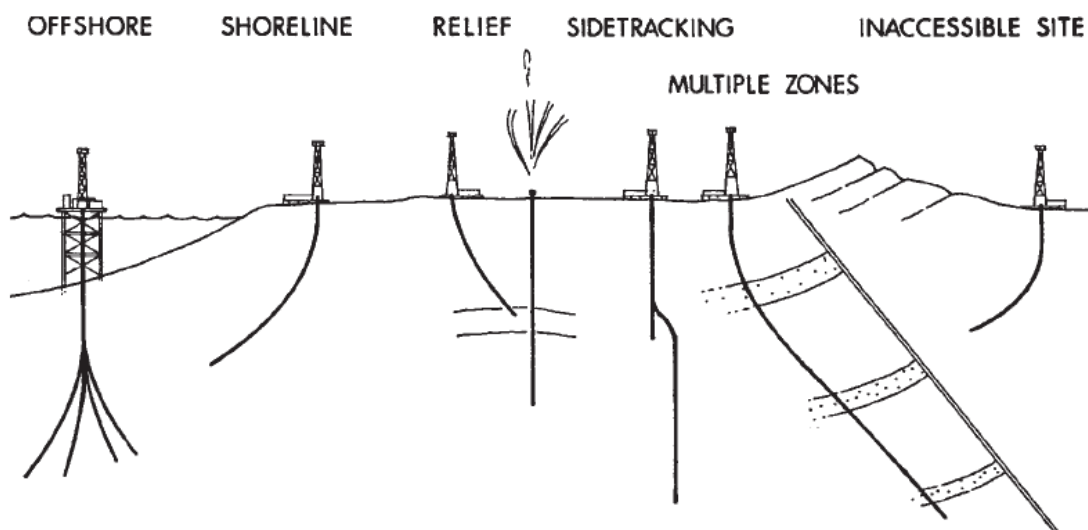
Να σημειωθεί ότι είναι δυνατή και η λήψη δειγμάτων ρευστών από τα πετρώματα που διατρήθηκαν, με τη δειγματοληψία να γίνεται στοχευμένα από κάποιο πέτρωμα κατά τη διάρκεια της κατασκευής της οπής, είτε κατά τη λειτουργία της γεώτρησης με άντληση, αλλά όπως αναφέρθηκε, και κατευθείαν από τους πυρήνες. Τα ρευστά που εντοπίζονται είναι συνήθως το πετρέλαιο και το νερό. Αν πραγματοποιηθεί χημική ανάλυση στα δείγματα πετρελαίου, τότε μπορεί να διαπιστωθεί το είδος του μητρικού πετρώματος, καθώς και σε τι βαθμό έχει ωριμάσει αυτό, συνεπώς και το ίδιο το πετρέλαιο. Ένας ακόμα από τους σκοπούς της δοκιμής αυτής είναι να μελετηθεί ο τρόπος με τον οποίο τα ρευστά συμπεριφέρονται και κυκλοφορούν μέσα στο πέτρωμα που τα φιλοξενεί (Gluyas και Swarbrick, 2004).

Όταν δεν είναι δυνατή η λήψη πυρήνων ή θρυμμάτων, η λύση δίνεται από μία άλλη τεχνική, αυτή των διαγραφιών, που λειτουργούν με τη βοήθεια ειδικών οργάνων, των φωρατών, τα οποία βυθίζονται στο εσωτερικό της γεώτρησης με συρματόσχοινα, φτάνουν μέχρι τον πυθμένα της και επιστρέφοντας στην επιφάνεια, καταγράφουν συνεχώς τις φυσικές παραμέτρους των πετρωμάτων που έχουν διατρηθεί και των ρευστών που υπάρχουν σε κάθε ένα από αυτά τα πετρώματα. Μερικές από τις ιδιότητες για τις οποίες χρησιμοποιείται η μέθοδος αυτή είναι το πάχος και η λιθολογία των σχηματισμών, η διαμόρφωσή τους, το πορώδες, η διαπερατότητα, η πυκνότητα, η ηλεκτρική αντίσταση, η αγωγιμότητα, η ραδιενέργεια και ο κορεσμός σε ρευστά (όπως το πετρέλαιο, το νερό και το φυσικό αέριο) (Link, 1999). Οι διαγραφίες βρίσκουν, επίσης, εφαρμογή στον έλεγχο και τη συντήρηση των οπών των γεωτρήσεων. Επιπρόσθετα, έχουν συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στην κατασκευή διάφορων ειδών χαρτών του υπεδάφους, που είναι απαραίτητοι για τον στρωματογραφικό συσχετισμό (correlation), που γίνεται για τον εντοπισμό οριζόντων που αποτελούν στόχους (Link, 1999).

Όταν γίνουν μερικές γεωτρήσεις, η καταγραφή της λιθολογίας τους, όπως έχει προκύψει από τις συνεχείς δειγματοληψίες των θρυμμάτων και των πυρήνων, συνδυάζεται με τα αποτελέσματα των σεισμικών ερευνών και των γεωφυσικών διαγραφιών και έτσι μπορεί να γίνει ο στρωματογραφικός συσχετισμός που θα οδηγήσει στην κατασκευή γεωμορφολογικών τομών, δηλαδή του γεωλογικού μοντέλου της περιοχής μελέτης (Selley, 1998). Το γεωλογικό αυτό μοντέλο μίας λεκάνης, ή γενικότερα ενός πετρελαϊκού συστήματος, επιτρέπει τη διαπίστωση του τρόπου με τον οποίο διαμορφώθηκε αυτή στο χρόνο, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της και το σχετικά ακριβή υπολογισμό των ποσοτήτων των υδρογονανθράκων που φιλοξενούνται σε αυτή και το πώς αυτοί κατανέμονται στο εσωτερικό της (Selley, 1998).

Η μέθοδος διάτρησης που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία του πετρελαίου και του φυσικού αερίου είναι η περιστροφική διάτρηση, στην οποία η οπή προκύπτει από τη συνεχή περιστροφική κίνηση του κοπτικού άκρου.

Όσον αφορά το είδος των γεωτρήσεων με κριτήριο την κλίση τους, η πρόσβαση στο στόχο μπορεί να επιτευχθεί με κατακόρυφες, κεκλιμένες αλλά και με οριζόντιες γεωτρήσεις, ανάλογα με την περίπτωση και τη διαμόρφωση του πετρελαϊκού συστήματος σε κάθε περιοχή.



Εικόνα 3.13: Διάφοροι λόγοι για τους οποίους επιλέγονται οι κεκλιμένες γεωτρήσεις (από Hyne, 2012).

Σε κάθε πρόγραμμα αναζήτησης υδρογονανθράκων η ερώτηση στην οποία καλούνται να απαντήσουν οι επιστήμονες είναι η ακόλουθη: «Θα εντοπιστεί με τη γεώτρηση πετρέλαιο ή φυσικό αέριο; Αν ναι, η εκμετάλλευσή του θα είναι οικονομικά συμφέρουσα;» (Selley, 1998). Επειδή η όρυξη των γεωτρήσεων κρύβει πολλούς οικονομικούς κινδύνους, αυτές θα πρέπει να σχεδιάζονται όσο καλύτερα γίνεται προτού αποφασιστεί να γίνουν, για να είναι επιτυχημένες με το μικρότερο δυνατό κόστος. Κατά το Γεωργακόπουλο, τα τρία στάδια προετοιμασίας και προγραμματισμού, πριν από την όρυξη των γεωτρήσεων, είναι η πρόγνωση της γεώτρησης, το γεωτρητικό πρόγραμμα και το πρόγραμμα διάτρησης – σωλήνωσης.

Το πρώτο βήμα, η πρόγνωση, περιλαμβάνει τη σύνταξη μίας τεχνικής έκθεσης η οποία περιγράφει αναλυτικά τη γεωλογία και τη δομή της περιοχής, καθώς και στοιχεία από προηγούμενες μελέτες και από τις υπόλοιπες μεθόδους έρευνας που έχουν ήδη εφαρμοστεί. Ο σκοπός της έκθεσης αυτής είναι να δώσει μία ταυτότητα στη γεώτρηση (αναγράφοντας το ακριβές σημείο στο οποίο θα ορυχθεί, διάφορους παράγοντες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ομαλή διεξαγωγή της εργασίας κ.α.) και στο στόχο που πρέπει να διατηρηθεί (αναφέροντας το βάθος στο οποίο έχει εκτιμηθεί ότι βρίσκεται, τους υπολογισμούς που έγιναν με βάση τις προηγούμενες μεθόδους έρευνας για το μέγεθός του κ.α.) (Γεωργακόπουλος). Επιπλέον, η έκθεση περιέχει πιθανούς προβληματισμούς σχετικά με το ενδεχόμενο να υπάρχουν θέματα σταθερότητας των τοιχωμάτων της οπής, ορίζοντες πετρωμάτων που χαρακτηρίζονται από υψηλές πιέσεις και ανεξέλεγκτη άνοδος προς την επιφάνεια

αερίων, όπως το διοξείδιο του άνθρακα και το υδρόθειο, αλλά και τι συνίσταται να γίνει σε κάθε μία από αυτές τις περιπτώσεις. Τέλος, πρέπει να περιλαμβάνονται οι εκτιμήσεις των ποσοτήτων του πετρελαίου ή/και του φυσικού αερίου που φιλοξενούνται στον ταμιευτήρα, οι μέθοδοι αξιολόγησης (δοκιμές) που έχουν επιλεγεί για τη συγκεκριμένη γεώτρηση, σχετικές νομοθεσίες της κυβερνήσεως και ένα λεπτομερές χρονοδιάγραμμα του προγράμματος αναζήτησης (Leffler, Pattarozzi And Sterling, 2011)

Κατά τη διάρκεια του γεωτρητικού προγράμματος και πάλι συντάσσεται μία τεχνική έκθεση, αλλά αυτή τη φορά η έκθεση λειτουργεί σαν οικονομικός προϋπολογισμός της γεώτρησης. Έτσι περιλαμβάνει αναλυτικά το κόστος του κάθε στοιχείου και εργασίας που απαιτείται για την επιτυχημένη όρυξη της γεώτρησης. Δηλαδή, περιγράφει την τεχνική διάτρησης που θα επιλεγεί, το είδος της σωλήνωσης που θα χρησιμοποιηθεί για τα τοιχώματα της γεώτρησης, τις δειγματοληψίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν, τις διαγραφίες και τις επιτόπου αλλά και εργαστηριακές δοκιμές που θα γίνουν στα δείγματα. Επίσης, αναλύει το είδος του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί, το κόστος των αναλώσιμων υλικών και διάφορα άλλα έξοδα. Τέλος, πρέπει οπωσδήποτε να αναφέρει το σκοπό και το είδος της γεώτρησης, αλλά και τη θέση στην οποία θα ορυχθεί. Το στάδιο αυτό έχει μεγάλη σημασία γιατί υπολογίζοντας το κόστος της γεώτρησης, αποφασίζεται αν αυτή τελικά θα ορυχθεί ή όχι (Γεωργακόπουλος).

Στο κόστος της γεώτρησης βέβαια, υπεισέρχονται και άλλοι παράγοντες, όπως το κόστος των υπηρεσιών εργατικού δυναμικού, οι τιμές της ενοικίασης των γεωτρυπάνων (ανάλογα με τα είδη αυτών) αν αυτά δεν ανήκουν στην εταιρεία, καθώς και το χρονικό διάστημα της ενοικίασης, η θέση στην οποία θα πραγματοποιηθεί η γεώτρηση (αν είναι χερσαία ή θαλάσσια) και η προσβασιμότητα σε αυτήν.

Επιπλέον, όταν αξιολογείται οικονομικά μία γεώτρηση προτού ορυχθεί, τότε ο έλεγχος αυτός περιλαμβάνει τα στάδια της κατασκευής και της ολοκλήρωσης της γεώτρησης στην περίπτωση που αυτή θα είναι επιτυχημένη, αλλά και στην πιθανότητα που αυτή δεν θα συναντήσει υδρογονάνθρακες. Για να γίνει αυτή η αξιολόγηση, πρέπει να εκτιμηθούν από το γεωλόγο οι πιθανότητες και τα ποσοστά επιτυχίας (από δεδομένα προηγούμενων μελετών, σεισμικών ερευνών και γεωτρήσεων, αν υπάρχουν) και κατά προσέγγιση ο όγκος των υδρογονανθράκων που αναμένεται να φιλοξενείται στο εσωτερικό του στόχου (Hypne, 2012).

Στο πρόγραμμα διάτρησης – σωλήνωσης καθορίζονται τα τεχνικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά που θα έχει η γεώτρηση, προκειμένου να φτάσει στο βάθος του στόχου χωρίς να υπερβεί κατά πολύ τον οικονομικό προϋπολογισμό που εκτιμήθηκε κατά το προηγούμενο στάδιο. Έτσι λαμβάνονται αποφάσεις για την κατηγορία και το μέγεθος των κοπτικών άκρων που θα χρησιμοποιηθούν, για τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει η τσιμέντωση των τοιχωμάτων της γεώτρησης, για το είδος και το διάστημα της σωλήνωσης αλλά και τον πολφό της γεώτρησης και τα χαρακτηριστικά του. Το πρόγραμμα διάτρησης και σωλήνωσης είναι επίσης σημαντικό διότι σε αυτό βασίζεται η αποτελεσματικότητα της γεώτρησης και η αντιμετώπιση διάφορων προβλημάτων που είναι πιθανό να συναντηθούν κατά τη διάρκεια της διάτρησης και να εμποδίσουν την ομαλή διεξαγωγή της.

Οι γεωτρήσεις που χρησιμοποιούνται στην έρευνα και την παραγωγή των υδρογονανθράκων χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Στις ερευνητικές (exploration wells), στις επιβεβαιωτικές (appraisal wells) και στις παραγωγικές γεωτρήσεις (producing wells). Τα είδη των γεωτρήσεων που μόλις αναφέρθηκαν, περιγράφονται αναλυτικά στις επόμενες ενότητες.

3.5.1 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ (EXPLORATORY WELLS)

Στην ενότητα που προηγήθηκε, αναφέρθηκε ότι οι ερευνητικές γεωτρήσεις αποτελούν το τελικό στάδιο και τη στιγμή που κορυφώνεται η αναζήτηση για την εύρεση υδρογονανθράκων. Για να φτάσει μία εταιρεία στο σημείο να πάρει την απόφαση της όρυξης μίας ερευνητικής γεώτρησης, σημαίνει ότι έχει εκμεταλλευτεί όποια μέθοδο έρευνας ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθεί, προκειμένου να αυξήσει τα ποσοστά της επιτυχίας της επένδυσής της.

Οι γεωτρήσεις που πραγματοποιούνται για τον εντοπισμό ταμιευτήρων υδρογονανθράκων καλούνται ερευνητικές γεωτρήσεις (exploratory ή exploration wells ή wildcats). Οι ερευνητικές γεωτρήσεις συνήθως ορύσσονται σε άγνωστες περιοχές για την πετρελαϊκή βιομηχανία, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε περιοχές όπου ήδη παράγονται υδρογονάνθρακες και έχει ανακαλυφθεί ένας καινούριος άγνωστος ταμιευτήρας, ο οποίος πρέπει να αξιολογηθεί για να διαπιστωθεί αν είναι εκμεταλλεύσιμος (Hyne, 2012).

Ο σκοπός των ερευνητικών γεωτρήσεων είναι η διάτρηση του ταμιευτήρα και η μελέτη των ιδιοτήτων που θα τον χαρακτηρίσουν παραγωγικό. Αυτό επιτυγχάνεται με τις εξής τεχνικές. Τη δειγματοληψία θρυμμάτων, ρευστών και πυρήνων κατά τη διάρκεια δημιουργίας της οπής, διάφορες επιτόπου και εργαστηριακές δοκιμές και τις γεωφυσικές διαγραφίες.

Τα σημεία στα οποία ορύσσονται οι γεωτρήσεις αυτές σχετίζονται με τη μορφή των πετρελαϊκών συστημάτων και τη διαμόρφωση των παραγωγικών οριζώντων μέσα σε αυτά. Επειδή, όπως επεξηγήθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο τείνουν να μεταναστεύουν προς τα ανάντη, συνίσταται όταν εντοπίζεται μία δομή παγίδευσης να προσδιορίζεται το υψηλότερο σημείο αυτής (crest) όπου και συμφέρει να ορυχθεί μία ερευνητική γεώτρηση, εφόσον κριθεί σωστό, για να έχει περισσότερες πιθανότητες να διατρήσει τον ορίζοντα που θα φιλοξενεί τους υδρογονάνθρακες (Hyne, 2012).

Σε ένα πετρελαϊκό σύστημα που μελετάται για τον εντοπισμό και την παραγωγή υδρογονανθράκων δεν υπάρχει κάποιος κανόνας που υποδεικνύει πόσες ερευνητικές γεωτρήσεις θα πρέπει να ορυχθούν, αλλά θα πρέπει να είναι τόσες ώστε να αξιολογηθούν όλα τα prospects που έχουν ανιχνευτεί από τις σεισμικές διασκοπήσεις. Επίσης, ο αριθμός των γεωτρήσεων και το αν αυτές θα ορυχθούν παράλληλα ή η μία μετά την άλλη, εξαρτάται από το ρυθμό με τον οποίο η εταιρεία που επενδύει επιθυμεί να γίνει η έρευνα (Knoring And Chilingal And Gorfunkel, 1999).

Όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα τα διαδοχικά στάδια που περιέχει η όρυξη μίας γεώτρησης από την αρχή ως το τέλος είναι τα ακόλουθα. Αρχικά πρέπει να καθοριστούν οι στόχοι της γεώτρησης και οι λόγοι για τους οποίους γίνεται αυτή, ενώ στη συνέχεια από τις διασκοπήσεις που έχουν εκτελεστεί, εκτιμούνται οι πιέσεις

των πετρωμάτων που θα διατηρηθούν και εξετάζονται διάφορα ειδικά θέματα και πιθανά προβλήματα. Μετά ακολουθεί η σύνταξη του προσχέδιου της γεώτρησης, παράλληλα με τον υπολογισμό του κόστους και την επιλογή του γεωτρύπανου και της εταιρείας που θα το προμηθεύσει. Τελικά η γεώτρηση ορύσσεται και αξιολογείται. Ανάλογα με τα αποτελέσματα της αξιολόγησης αυτής, αν η γεώτρηση είναι ανεπιτυχής σφραγίζεται και εγκαταλείπεται, ενώ αν είναι επιτυχής ολοκληρώνεται για να ακολουθήσει η παραγωγή από αυτήν (Leffler, Pattarozzi και Sterling, 2011).

Για να διεξαχθεί επιτυχημένα η όρυξη της γεώτρησης πρέπει όλο το προσωπικό να είναι ενημερωμένο, γνωρίζοντας τις πληροφορίες που έχουν αποκτηθεί από τις προηγούμενες έρευνες. Απαραίτητη είναι, όμως, και η στενή συνεργασία όλων των επιστημονικών κλάδων που εργάζονται σε μία εταιρεία. Αυτό ισχύει για όλες τις γεωτρήσεις αλλά ακόμη περισσότερο για τις ερευνητικές, στις οποίες είναι άγνωστο αν η επένδυση που έχει γίνει θα επιφέρει καρπούς ή θα έχει σαν αποτέλεσμα την απώλεια μεγάλων χρηματικών ποσών (Leffler, Pattarozzi και Sterling, 2011).

Αφού έχουν προηγηθεί οι τρισδιάστατες σεισμικές διασκοπήσεις, μέσα από τις οποίες έχει εντοπιστεί ο στόχος, έχουν μελετηθεί οι ιδιότητές του και έχουν προσδιοριστεί οι συντεταγμένες των σημείων στα οποία θεωρείται προτιμότερο να ορυχθούν οι γεωτρήσεις για να ανιχνευτούν ποσότητες υδρογονανθράκων, ακολουθεί ο σχεδιασμός της πορείας της γεώτρησης στο υπέδαφος, προκειμένου αυτή να εξασφαλίσει την πρόσβαση στο πετρέλαιο ή και το φυσικό αέριο, με τον πιο οικονομικό τρόπο.

Έπειτα λαμβάνονται οι αποφάσεις και ακολουθούνται όλες οι διαδικασίες που ανήκουν στο στάδιο της πρόγνωσης μίας γεώτρησης και περιγράφηκαν στην προηγούμενη εισαγωγική ενότητα.

Όσον αφορά το τελευταίο βήμα πριν από την όρυξη της γεώτρησης, το πρόγραμμα διάτρησης – σωλήνωσης, για τις ερευνητικές γεωτρήσεις οι αποφάσεις που καλούνται να πάρουν οι μηχανικοί της διάτρησης είναι πολύ περισσότερες και πολύπλοκες, καθώς οι μηχανικές και φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων που θα διατηρηθούν είναι ακόμα σχετικά άγνωστες.

Κάθε φορά που η γεώτρηση φτάνει σε συγκεκριμένα βάθη, που προβλέπονται από το σχεδιασμό της, τότε σωληνώνεται για να προστατευτεί η οπή από καταπτώσεις, και στη συνέχεια τσιμεντώνεται στο διάστημα μεταξύ των σωλήνων και των τοιχωμάτων της οπής. Τα στάδια που μόλις περιγράφηκαν γίνονται σε φάσεις. Μετά είναι πολύ σημαντικό να τοποθετηθεί στην κεφαλή της γεώτρησης σύστημα βαλβίδων, που αποτρέπουν την ανεξέλεγκτη άνοδο των ρευστών στην επιφάνεια (Blow Out Preventer).

Οι δοκιμές ξεκινούν όταν η γεώτρηση διαπεράσει το πέτρωμα ταμιευτήρα, ενώ τα θρύμματα και οι πυρήνες χρησιμοποιούνται όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα. Συνήθως οι δοκιμές αυτές πραγματοποιούνται από συγκεκριμένες μικρότερες εταιρείες, που ειδικεύονται σε αυτό τον τομέα υπηρεσιών (Leffler, Pattarozzi και Sterling, 2011).

Οι πιο αντιπροσωπευτικές διαγραφίες που πραγματοποιούνται κάθε φορά είναι αυτές που σχετίζονται με το πορώδες (ακουστική διαγραφή, διαγραφή πυκνότητας



και διαγραφία νετρονίου), τη διαπερατότητα (φυσικό δυναμικό και ακτίνες γ), την ηλεκτρική αντίσταση και άλλες εξειδικευμένες ιδιότητες των πετρωμάτων, αν αυτό κριθεί απαραίτητο.

Υπάρχουν πολλά είδη διαγραφιών αλλά οι πιο συνηθισμένες και πιο παλιές είναι οι ηλεκτρικές, δηλαδή η διαγραφία ηλεκτρικής αντίστασης των πετρωμάτων και των ρευστών τους (ανάλογα με τις τιμές της γίνεται αντιληπτή η φύση και το είδος των πετρωμάτων και ρευστών, ανιχνεύονται ποσότητες υδρογονανθράκων και εκτιμούνται πιέσεις) και η διαγραφία φυσικού δυναμικού για τον εντοπισμό περατών στρωμάτων (των ορίων του ταμιευτήρα). Αυτές χρησιμεύουν στην πραγματοποίηση του στρωματογραφικού συσχετισμού (Hyne, 2012) (Selley, 1998).

Μία άλλη κατηγορία αποτελούν οι διαγραφίες ραδιενέργειας. Σε αυτές ανήκουν οι διαγραφίες νετρονίου, πυκνότητας και ακτινοβολίας γ. Οι πρώτες και οι δεύτερες συμβάλλουν στον προσδιορισμό του πορώδους και τον εντοπισμό είτε πετρελαίου είτε φυσικού αερίου. Οι διαγραφίες ακτινοβολίας γ χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της φυσικής ραδιενέργειας των πετρωμάτων τοποθετώντας τα έτσι σε λιθολογικές κατηγορίες. Τα τρία αυτά είδη διαγραφιών δεν επηρεάζονται από την ύπαρξη σωλήνωσης (Hyne, 2012) (Selley, 1998).

Η ταχύτητα των ηχητικών κυμάτων που διαπερνούν τα πετρώματα υπολογίζονται μέσω των ακουστικών διαγραφιών. Τα δεδομένα τους αφορούν τη λιθολογία, το πορώδες, την εκτίμηση πιέσεων και την ύπαρξη υδρογονανθράκων (Hyne, 2012) (Selley, 1998).

Με τις διαγραφίες κλίσης προσδιορίζεται ο προσανατολισμός και η δομή των λιθολογικών οριζώντων (Hyne, 2012).

Η διάμετρος της οπής καθορίζεται από τις διαγραφίες caliper (Hyne, 2012) από τις οποίες βγαίνουν συμπεράσματα για τη σταθερότητα της γεώτρησης σε διάφορα βάθη και την ύπαρξη ζωνών που χαρακτηρίζονται από σπασίματα και ρωγμές. Επιπρόσθετα βρίσκουν εφαρμογή στον προσδιορισμό του πορώδους σε μέσα που είναι πληρωμένα με υγρά (Sroor, 2010).

Με τις διαγραφίες NMR (Nuclear Magnetic Resonance) υπολογίζεται το ολικό και ενεργό πορώδες, η διαπερατότητα και ο κορεσμός των πετρωμάτων σε ρευστά (Hyne, 2012).

Ειδικές κάμερες μπορούν να τοποθετηθούν στους φωρατές και έτσι να αποκτηθούν εικόνες ή και βίντεο των τοιχωμάτων της οπής ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε ερευνητικού προγράμματος (Hyne, 2012).

Κατά τη διάρκεια της διάτρησης συντάσσονται τα δελτία ή προφίλ των γεωτρήσεων (τα δεδομένα των οποίων προκύπτουν από τις δειγματοληψίες θρυμμάτων και πυρήνων) στα οποία αναγράφεται πάνω σε κλίμακα το βάθος μέχρι το οποίο έχει φτάσει η γεώτρηση. Δίπλα σε αυτό υπάρχει μία πρόχειρη απεικόνιση των πετρωμάτων που συναντώνται στα αντίστοιχα βάθη με ειδικούς συμβολισμούς και χρώματα, ενώ ακολουθεί πιο αναλυτική περιγραφή της σύστασης και των χαρακτηριστικών τους. Καταγράφεται και η ταχύτητα με την οποία το κοπτικό άκρο διατρύπα τα διάφορα πετρώματα. Επίσης, δίπλα στα αντίστοιχα βάθη αναγράφονται οι ποσότητες του πετρελαίου και του φυσικού αερίου που έχουν ανιχνευτεί στα

θρύμματα και τα αποτελέσματα των διάφορων μετρήσεων των διαγραφιών (Hyne, 2012).

Αφού η γεώτρηση φτάσει στο επιθυμητό βάθος του στόχου, η πιο σημαντική δοκιμή που πρέπει να γίνει, εφόσον έχουν προκύψει ενδείξεις ύπαρξης αξιοσημείωτης ποσότητας υδρογονανθράκων, είναι το drillstem test. Με την τεχνική αυτή μελετάται ο τρόπος με τον οποίον ρέουν οι υδρογονάνθρακες μέσα στους ταμιευτήρες. Έτσι διαμορφώνονται πορίσματα για τη διαπερατότητα, την παραγωγικότητα και την πίεση που επικρατούν σε μία ενδεχομένως παραγωγική ζώνη, απομονώνοντας την τελευταία, και επιτρέποντας στα ρευστά της να ανέλθουν μέσω της γεώτρησης στην επιφάνεια, για ένα χρονικό διάστημα που ποικίλει, ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε περίπτωσης (Leffler, Pattarozzi και Sterling, 2011). Όσο πιο μεγάλο είναι το χρονικό αυτό διάστημα τόσο πιο ακριβές είναι το αποτέλεσμα της δοκιμής. Το drillstem test μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε σε ανοιχτή είτε σε σωληνωμένη οπή και χρησιμοποιείται συνήθως μόνο στις ερευνητικές γεωτρήσεις λόγω του κόστους του (Hyne, 2012). Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτό παίζουν σημαντικό ρόλο στην απόφαση για την έγκριση της ολοκλήρωση της γεώτρησης (Link, 1999).

Καθώς ορύσσεται μία ερευνητική γεώτρηση πρέπει συνεχώς να παρακολουθείται η λιθολογία και οι εναλλαγές της, οι αντοχές των πετρωμάτων, οι πιέσεις των ρευστών μέσα σε αυτά, καθώς και τα πιθανά επικίνδυνα αέρια (πχ υδρόθειο) που μπορεί αυτά να περιέχουν, για να είναι οι τεχνικοί σε θέση να δράσουν έγκαιρα και να βρουν λύση για όποιο πρόβλημα προκύψει ξαφνικά. Με αυτό τον τρόπο, αποφεύγονται ατυχήματα που μπορούν να επηρεάσουν την ακεραιότητα και τη λειτουργικότητα της γεώτρησης, την ασφάλεια του προσωπικού και των εγκαταστάσεων, αλλά και του ίδιου του περιβάλλοντος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω μερικών δοκιμών και διαγραφιών που μπορούν να πραγματοποιούνται και κατά τη διάρκεια της διάτρησης (Measure και Logging While Drilling), προσδιορίζοντας τη φύση των λιθολογικών σχηματισμών που διαπερνά η οπή, ανιχνεύοντας τους υδρογονάνθρακες, όπου αυτοί υπάρχουν και εντοπίζοντας έγκαιρα τις επικίνδυνες ζώνες υψηλής πίεσης (Selley, 1998). Σε αυτές τις περιπτώσεις τα αντίστοιχα όργανα των φωρατών και των ειδικών ανιχνευτών της κάθε μεθόδου είναι ενσωματωμένα στη διατρητική στήλη ακριβώς πάνω από το κοπτικό άκρο (Hyne, 2012).

3.5.2 ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΤΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ (APPRAISAL WELLS)

Εφόσον η όρυξη των ερευνητικών γεωτρήσεων έχει ολοκληρωθεί και έχουν πραγματοποιηθεί όλες οι απαραίτητες διαγραφίες και δοκιμές, έχοντας δώσει θετικά αποτελέσματα, θα πρέπει να εκτιμηθεί το μέγεθος και η εξάπλωση της συγκέντρωσης των υδρογονανθράκων που ανακαλύφθηκε, προκειμένου να διαπιστωθεί αν είναι οικονομικά συμφέρουσα η επένδυση για την εκμετάλλευσή της (Leffler, Pattarozzi και Sterling, 2011). Αυτός είναι ο ρόλος των επιβεβαιωτικών γεωτρήσεων (appraisal wells), που συνήθως ορύσσονται τριγύρω από τις ερευνητικές γεωτρήσεις (Hyne, 2012).

Ο σκοπός της διαδικασίας επιβεβαίωσης είναι να εκτιμηθεί το μέγεθος και το σχήμα του κοιτάσματος και να προσδιοριστούν με ακρίβεια τα βάθη των gas – water, gas – oil και oil – water contacts. Επίσης, με τις επιβεβαιωτικές γεωτρήσεις φανερώνονται η δομή και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα (όπως για παράδειγμα αν αυτός είναι ενιαίος ή διαιρείται σε μικρότερα τμήματα που μπορεί να

διαφέρουν μεταξύ τους), καθώς και ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλονται οι ιδιότητες, όπως το πορώδες και η διαπερατότητα, στο εσωτερικό του (Gluyas και Swarbrick, 2004).

Επειδή έχουν πραγματοποιηθεί οι ερευνητικές γεωτρήσεις και συνδυάζονται με τα ήδη γνωστά δεδομένα, ο σχεδιασμός των επιβεβαιωτικών γεωτρήσεων είναι πιο εύκολος. Καθώς οι γεωλογικοί σχηματισμοί που θα διατρηθούν είναι γενικά γνωστοί, μπορεί να επιλεγεί εξ αρχής ο διατρητικός εξοπλισμός, το είδος του κοπτικού άκρου, του πολφού, της σωλήνωσης κα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την πιο γρήγορη και οικονομική όρυξη των γεωτρήσεων αυτού του είδους.

Μία ερευνητική γεώτρηση, αν υποστεί ορισμένες ειδικές τροποποιήσεις, μπορεί να μετατραπεί σε επιβεβαιωτική αν το απαιτούν οι συνθήκες (Leffler, Pattarozzi και Sterling, 2011).

Πέρα από την όρυξη γεωτρήσεων, το στάδιο αυτό συνήθως περιλαμβάνει και νέες τρισδιάστατες σεισμικές διασκοπήσεις που πραγματοποιούνται πάνω σε πυκνό κάναβο, ανάλογα με τη γεωλογία και τη στρωματογραφία του κοιτάσματος (Gluyas και Swarbrick, 2004). Με αυτές η μελέτη των χαρακτηριστικών και της μορφής του ταμιευτήρα γίνεται πιο εύκολη με αποτέλεσμα η αξιολόγηση του ίδιου και των αποθεμάτων που αυτός φιλοξενεί να γίνεται πιο γρήγορα. Έτσι, ο σχεδιασμός του προγράμματος παραγωγής είναι πιο ακριβής, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται ο αριθμός των επιβεβαιωτικών γεωτρήσεων που πρέπει να ορυχθούν με συνέπεια να ελαττώνεται και το κόστος της διαδικασίας (Knoring, Chilingal και Gorfunkel, 1999).

Σε κάθε επιβεβαιωτική γεώτρηση γίνεται ένας εκτεταμένος αριθμός δοκιμών, συχνές πυρηνοληψίες, ειδικά του ταμιευτήρα, και όλα τα απαραίτητα είδη διαγραφιών, προκειμένου να ταυτοποιηθούν τα είδη των πετρωμάτων και των ρευστών, οι ιδιότητες και οι κατανομές τους και άλλα αναγκαία χαρακτηριστικά, ώστε να κατασκευαστεί με λεπτομέρεια το γεωλογικό μοντέλο του κοιτάσματος και να επιλεγεί ο κατάλληλος εξοπλισμός για την παραγωγή των υδρογονανθράκων σε περίπτωση που αποδειχθεί ότι αυτή συμφέρει οικονομικά. Από τις πιο σημαντικές δειγματοληψίες αυτού του σταδίου, είναι αυτές των ρευστών. Έτσι, λαμβάνονται αντιπροσωπευτικά δείγματα πετρελαίου, φυσικού αερίου και νερού για να αναλυθούν η χημική τους σύσταση, η πίεση και η θερμοκρασία που τα χαρακτηρίζουν. Αυτό γίνεται γιατί ανάλογα με αυτές τις ιδιότητες, το κάθε ένα από τα παραπάνω ρευστά θα πρέπει να αντιμετωπιστεί και να επεξεργαστεί με διαφορετικό τρόπο κατά την παραγωγή (Gluyas και Swarbrick, 2004).

Με τη μέθοδο της επιβεβαίωσης επιδιώκεται να εκτιμηθεί ο τρόπος με τον οποίο θα συμπεριφερθεί ένα κοιτάσμα κατά τα διαδοχικά στάδια της παραγωγής και έτσι διαπιστώνεται αν αυτό έχει εμπορική αξία. Οπότε, ανάλογα με τα αποτελέσματα των επιβεβαιωτικών γεωτρήσεων και σε συνδυασμό με ορισμένα οικονομικά κριτήρια, αποφασίζεται αν θα ξεκινήσει η παραγωγή από τη συγκεκριμένη συγκέντρωση υδρογονανθράκων. Μερικά από τα κριτήρια αυτά έχουν σχέση με το είδος και το μέγεθος των αποθεμάτων, με τους ρυθμούς στους οποίους θα κινηθεί η παραγωγή, με τις επικρατούσες τιμές των υδρογονανθράκων και με το κόστος μεταφοράς αυτών, του εξοπλισμού και της επεξεργασίας τους (Gluyas και Swarbrick, 2004).

Ανάλογα με το μέγεθος της συγκέντρωσης υδρογονανθράκων που μελετάται, τον αριθμό των επιβεβαιωτικών γεωτρήσεων που θα ορυχθούν και με ποιο τρόπο θα γίνει αυτό, καθώς και με τις καινούριες σεισμικές έρευνες που ενδεχομένως να χρειαστούν, η διαδικασία της αξιολόγησης των αποθεμάτων μπορεί να διαρκέσει από μερικούς μήνες μέχρι και μερικά χρόνια. Στο τέλος, με βάση τα αποτελέσματα, αποφασίζεται είτε να γίνει ο κατάλληλος σχεδιασμός για την όρυξη των παραγωγικών γεωτρήσεων αν τα αποθέματα είναι μεγάλα, είτε να εγκαταλειφθεί το συγκεκριμένο πρόγραμμα αναζήτησης, αν η εκμετάλλευση των αποθεμάτων δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα (Leffler, Pattarozzi και Sterling, 2011).

Πολλές φορές η εικόνα που έχει διαμορφωθεί για ένα πετρελαϊκό σύστημα από τα πορίσματα της έρευνας αλλάζει δραματικά κατά τα στάδια της επιβεβαίωσης. Έτσι μπορεί ενώ σε κάποιο πρόγραμμα αναζήτησης να είχε εκτιμηθεί ένας ορισμένος όγκος υδρογονανθράκων μέσω των αρχικών ερευνών, μετά την όρυξη των επιβεβαιωτικών γεωτρήσεων να αποδειχθεί ότι ο όγκος αυτός είναι στην πραγματικότητα πολύ μεγαλύτερος. Αντίθετα, με το πέρας των επιβεβαιωτικών διεργασιών μπορούν να προκύψουν συμπεράσματα σύμφωνα με τα οποία τα αποθέματα είναι πολύ πιο μικρά από αυτά που είχαν υπολογιστεί (Gluyas και Swarbrick, 2004).

Αν τα αποτελέσματα μίας επιβεβαιωτικής γεώτρησης είναι ευνοϊκά τότε αυτή μπορεί στη συνέχεια να μετατραπεί σε παραγωγική γεώτρηση, μειώνοντας το κόστος της επένδυσης (Knoring, Chilingal και Gorfunkel, 1999).

3.5.3 ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ (PRODUCTION WELLS)

Όταν ολοκληρωθεί η φάση της επιβεβαίωσης, η εξάπλωση και το μέγεθος του κοιτάσματος είναι πια γνωστά. Επομένως, οι επιστήμονες είναι σε θέση να επιλέξουν τις πιο κατάλληλες θέσεις στις οποίες θα ξεκινήσει η παραγωγή. Αυτή πραγματοποιείται με τις γεωτρήσεις από τις οποίες αντλείται το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο στην επιφάνεια, δηλαδή τις παραγωγικές γεωτρήσεις (production wells). Οι τελευταίες θεωρούνται επιτυχημένες, όταν δίνουν στους υδρογονάνθρακες την ευκαιρία να ανέλθουν γρήγορα από το υπέδαφος με το μικρότερο ενεργειακό κόστος. Επίσης, τα τεχνικά χαρακτηριστικά και οι εγκαταστάσεις τους θα πρέπει να διευκολύνουν τη συνεχή παρακολούθηση της παραγωγής και την έγκαιρη συντήρησή τους, όταν αυτή κρίνεται απαραίτητη.

Επειδή η ολοκλήρωση μίας γεώτρησης είναι πιο δαπανηρή διαδικασία από την όρυξή της, προτού αποφασιστεί η πρώτη θα πρέπει η γεώτρηση να έχει αξιολογηθεί με μεγάλη λεπτομέρεια μέσω των δοκιμών που έχουν αναφερθεί (Hyne, 2012).

Τα βήματα που ακολουθούνται για το σχεδιασμό των παραγωγικών γεωτρήσεων είναι τα ίδια με αυτά που έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες. Στην περίπτωση αυτή, όμως, ο σχεδιασμός μπορεί να γίνει πολύ πιο γρήγορα και οικονομικά, καθώς έχουν προηγηθεί όλα τα στάδια της έρευνας, αλλά και η φάση της επιβεβαίωσης, που περιλαμβάνει την όρυξη των αντίστοιχων γεωτρήσεων και την επανάληψη των γεωφυσικών και σεισμικών διασκοπήσεων. Επομένως, τα πετρώματα και το βάθος του στόχου είναι ήδη γνωστά.

Το γεωλογικό μοντέλο του ταμιευτήρα (που είχε διαμορφωθεί κατά τη φάση της επιβεβαίωσης), με βάση το οποίο εκτιμώνται οι πιέσεις και οι θερμοκρασίες που επικρατούν στο εσωτερικό του, είναι η αρχή πάνω στην οποία σχεδιάζεται η παραγωγή. Έτσι, υπολογίζεται ο όγκος των υδρογονανθράκων που μπορούν να αντληθούν στην επιφάνεια μέσω της γεώτρησης και αναλύονται διάφορα θέματα και προβλήματα που μπορεί να προκύψουν, καθώς και λύσεις για αυτά. Στη συνέχεια, συντάσσεται το προσχέδιο της ολοκλήρωσης της γεώτρησης (που περιλαμβάνει όλες της διαδικασίες, τα στάδια αυτής και τα είδη του εξοπλισμού που κρίνονται απαραίτητα), και προτού αυτή αρχίσει, υπολογίζεται το κόστος που θα έχει η ολοκλήρωση (Leffler, Pattarozzi και Sterling, 2011).

Αφού η παραγωγική γεώτρηση ορυχθεί, σωληνωθεί και τσιμεντωθεί, θα πρέπει να συνδεθεί στην κορυφή της ένα σύστημα BOP (Blow Out Preventer). Μέσα στην κοινή σωλήνωση θα πρέπει να τοποθετηθεί μία άλλη κατηγορία σωλήνων, η σωλήνωση παραγωγής, που πρέπει επίσης να τσιμεντωθεί. Στη συνέχεια, για να μπορεί να ξεκινήσει η παραγωγή και ο έλεγχος της ανόδου των υδρογονανθράκων στην επιφάνεια, η γεώτρηση θα πρέπει να ολοκληρωθεί. Δηλαδή, ο πολφός της διάτρησης πρέπει αρχικά να αντικατασταθεί από ρευστά ολοκλήρωσης και αφού γίνει αυτό, στο βάθος του στόχου, μέσω εκρηκτικών, δημιουργούνται στη σωλήνωση οπές, μέσα από τις οποίες διέρχονται οι υδρογονάνθρακες. Αν υπάρχει κίνδυνος άντλησης άμμου, τότε έχει μεγάλη σημασία η γεώτρηση να χαλικωθεί. Έπειτα, μέσα στη σωλήνωση παραγωγής εγκαθίσταται ένας αρκετά πιο λεπτός σωλήνας (tubing), μέσα από τον οποίο ανέρχονται το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο προς την επιφάνεια, ενώ η περιοχή μεταξύ του tubing και της σωλήνωσης σφραγίζεται και απομονώνεται μέσω ειδικών διατάξεων, που ονομάζονται packers. Ακόμη, τα ρευστά της ολοκλήρωσης πρέπει να αντικατασταθούν από ένα υγρό που θα μείνει μόνιμα στο εσωτερικό της γεώτρησης και θα προστατεύει τη σωλήνωση από διαβρώσεις (Γεωργακόπουλος) (Leffler, Pattarozzi και Sterling, 2011).

Για να μπορούν οι υδρογονάνθρακες να ρέυσουν έξω από τη γεώτρηση στις δεξαμενές, όπου και αποθηκεύονται, το σύστημα BOP θα πρέπει να αποσυνδεθεί και ταυτόχρονα να εγκατασταθεί στην κεφαλή της γεώτρησης (δηλαδή στην απόληξη του tubing) το Christmas Tree, ένα σύνολο ειδικών βαλβίδων από τις οποίες ελέγχεται η έξοδος και η παροχή των υδρογονανθράκων στην επιφάνεια. Επειδή το σύστημα BOP αφαιρείται, σαν μέτρο προστασίας, τοποθετείται στον πυθμένα της γεώτρησης μία ξεχωριστή βαλβίδα, η οποία κλείνει και σφραγίζει τη γεώτρηση αυτόματα, σε περίπτωση απότομης αλλαγής της πίεσης (Leffler, Pattarozzi και Sterling, 2011).

Το είδος της παραγωγικής γεώτρησης που θα ορυχθεί (κατακόρυφη, κεκλιμένη ή οριζόντια) έχει σχέση με τον τρόπο που κατανέμονται οι ιδιότητες του ταμιευτήρα και οι υδρογονάνθρακες στο εσωτερικό του, με την τοποθεσία (χερσαία ή θαλάσσια γεώτρηση και βάθος θάλασσας) και με το κόστος σε κάθε περίπτωση. Συνήθως οι οριζόντιες γεωτρήσεις είναι πιο παραγωγικές από τις κατακόρυφες, διότι μεγαλύτερο μέρος τους βρίσκεται μέσα στην περιοχή του ταμιευτήρα. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν γεωτρήσεις που καταλήγουν σε διαφορετικούς κλάδους κοντά στον πυθμένα, για να επιτευχθεί με μικρότερο κόστος παραγωγή από γειτονικά σημεία και ταμιευτήρες ταυτόχρονα (Gluyas και Swarbrick, 2004).

Λίγο πριν αρχίσει η παραγωγή πραγματοποιείται το potential test, με το οποίο γίνεται γνωστή η μέγιστη ποσότητα υδρογονανθράκων που μπορεί να παράγει η

γεώτρηση μέσα σε 24 ώρες. Σημαντικό είναι, επίσης, το productivity test, με το οποίο ρυθμίζεται η ροή των υδρογονανθράκων στην επιφάνεια και καθορίζεται ο βέλτιστος ρυθμός παραγωγής, έτσι ώστε να μη δημιουργούνται προβλήματα στον ταμιευτήρα. Αυτές οι δύο δοκιμές, μαζί με άλλες, μέσω των οποίων υπολογίζονται οι ποσότητες πετρελαίου, φυσικού αερίου, συμπυκνώματος και νερού που αντλούνται, γίνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα μεμονωμένα σε κάθε γεώτρηση ενός πετρελαϊκού συστήματος για να εκτιμάται στο τέλος και η συνολική παραγωγή (Hyne, 2012).

Η άνοδος των υδρογονανθράκων στην επιφάνεια μπορεί να γίνεται μέσω της ίδιας της πίεσης του ταμιευτήρα, αν αυτή είναι αρκετά μεγάλη, ή μέσω ειδικής αντλίας σε περίπτωση που η πίεση από μόνη της δεν μπορεί να αναγκάσει τα ρευστά να ανέβουν προς τα πάνω. Καθώς συνεχίζεται η παραγωγή και οι υδρογονάνθρακες ανεβαίνουν στην επιφάνεια, η πίεση του ταμιευτήρα, που τους δίνει την ώθηση, συνεχώς μειώνεται. Μία τεχνική που χρησιμοποιείται για τη λύση αυτού του προβλήματος και τη συνέχεια της άντλησης για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, είναι η όρυξη ειδικών γεωτρήσεων (injection wells) για την απότομη εισπίεση μεγάλων ποσοτήτων νερού ή αερίου στο υπέδαφος, προκειμένου η πίεση να διατηρηθεί σε υψηλά επίπεδα (Gluyas και Swarbrick, 2004).

Επίσης, μερικές φορές για να ξεκινήσει η παραγωγή θα πρέπει να ληφθούν ορισμένα μέτρα, αν ο ταμιευτήρας δεν ανήκει στη συμβατική κατηγορία. Για παράδειγμα, πριν ολοκληρωθεί η γεώτρηση μπορεί να κριθεί αναγκαίο να χρησιμοποιηθούν μέσα ή χημικά πρόσθετα που θα ανεβάσουν τη θερμοκρασία στο βάθος του ταμιευτήρα, ή θα προκαλέσουν τη θραύση και διάλυσή του, προκειμένου να απελευθερωθεί το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο (Selley, 1998).

Κατά την ολοκλήρωση μπορούν να τοποθετηθούν στον πυθμένα της γεώτρησης ειδικοί αισθητήρες, που καταγράφουν διάφορες παραμέτρους (όπως η πίεση και η θερμοκρασία) και βαλβίδες, με τις οποίες ρυθμίζεται η ροή των υδρογονανθράκων κι έτσι η παραγωγή παρακολουθείται και ελέγχεται από την επιφάνεια. Οι γεωτρήσεις στις οποίες προστίθεται τέτοιος εξοπλισμός λέγονται “έξυπνες” γεωτρήσεις (smart wells) (Leffler, Pattarozzi και Sterling, 2011). Επίσης, η παραγωγή και τα χαρακτηριστικά της, μπορούν να ελέγχονται συνεχώς μέσω των διαγραφιών παραγωγής, που πραγματοποιούνται στο εσωτερικό των οπών των παραγωγικών γεωτρήσεων. Οι διαγραφίες παραγωγής βρίσκουν εφαρμογή και στην ανίχνευση προβλημάτων και την αντιμετώπισή τους. Μερικές από αυτές είναι οι διαγραφίες θορύβου, στις οποίες ανάλογα με το θόρυβο που καταγράφεται στον πυθμένα της γεώτρησης αναγνωρίζεται ο τύπος του ρευστού, οι διαγραφίες θερμοκρασίας και πίεσης των ρευστών. Συχνά, μετά την εξόφληση ενός ταμιευτήρα, χρησιμοποιούνται και οι διαγραφίες της ακτινοβολίας γ και οι διαγραφίες νετρονίων για να ανακαλυφθούν νέοι ταμιευτήρες που μπορεί να βρίσκονται κοντά στη σωλήνωση (Hyne, 2012).

Η τεράστια επένδυση ενός ερευνητικού και παραγωγικού προγράμματος υδρογονανθράκων ανταμείβεται από τα προϊόντα του κοιτάσματος, που μετά από συνήθως σύντομη κατεργασία αποκτούν την τελική τους μορφή. Το φυσικό αέριο που βγαίνει στην επιφάνεια υπόκειται σε επεξεργασία προκειμένου να αφαιρεθούν από αυτό τα ανεπιθύμητα συστατικά, όπως οι υδρατμοί και ορισμένα επικίνδυνα αέρια, και τελικά μέσω αγωγών διοχετεύεται στο εμπόριο. Το πετρέλαιο διαχωρίζεται από τα υπολείμματα φυσικού αερίου και νερού μεγάλης αλατότητας που μπορεί να

περιέχει, όταν αφήνεται να κατακαθίσει μέσα σε ειδικές δεξαμενές, και στη συνέχεια καθαρό πλέον μπορεί να πωληθεί (Hyne, 2012).

Η πορεία της παραγωγής συνεχίζει να παρακολουθείται σε συνάρτηση με το χρόνο, και όταν μία γεώτρηση φτάσει στο οικονομικό της όριο, δηλαδή την κατάσταση στην οποία τα έξοδα της παραγωγής είναι ίσα με το κέρδος αυτής, τότε αποφασίζεται είτε να γίνει κάποια τροποποίηση στη γεώτρηση ώστε να ενισχυθεί η παραγωγή της, είτε αυτή να σφραγιστεί με τσιμέντο, για την προστασία του περιβάλλοντος από μολύνσεις, και να εγκαταλειφθεί (Hyne, 2012).

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Πριν από πολλά χρόνια, όταν οι υδρογονάνθρακες άρχισαν να ενδιαφέρουν τον άνθρωπο, η αναζήτησή τους γινόταν χωρίς να υπάρχουν κάποια ιδιαίτερα κριτήρια. Η εύρεσή τους, όμως, ήταν πολύ πιο πιθανή, καθώς τα κοιτάσματα και οι εμφανίσεις τους ήταν πολύ περισσότερες.

Με την πάροδο των χρόνων η επιστήμη της γεωλογίας δημιουργήθηκε και άνθισε, αρχίζοντας να λύνει τα μυστήρια περισσότερο του εξωτερικού αλλά και του εσωτερικού τμήματος της γης. Έτσι προέκυψαν έννοιες όπως το πετρελαϊκό σύστημα, το πέτρωμα ταμιευτήρας και η δομή παγίδευσης, που χάρισαν γνώση στους επιστήμονες και έδωσαν στην αναζήτηση του πετρελαίου και του φυσικού αερίου ένα χαρακτήρα πιο στοχευμένο και ακριβή. Πολλά από τα φαινόμενα σχετικά με τη γένεση και την ύπαρξη των υδρογονανθράκων, που ο άνθρωπος δεν καταλάβαινε ή αγνοούσε, επεξηγήθηκαν κι αυτές οι πληροφορίες άρχισαν να βρίσκουν εφαρμογή στον εντοπισμό τους.

Ακόμη πιο πρόσφατα, μία άλλη επιστήμη η γεωφυσική άρχισε με την εξέλιξή της να δίνει φως στο σχετικά άγνωστο υπέδαφος. Η συμβολή της εφαρμογής των σύγχρονων «προϊόντων» που η επιστήμη αυτή προσφέρει, όπως οι σεισμικές έρευνες και οι διαγραφίες όλων των ειδών, είναι τεράστια, καθώς σήμερα είναι ο πρώτος παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη όταν πρόκειται να αποφασιστεί αν μία περιοχή είναι άξια για να ερευνηθεί ή αν θα γίνει μία ή περισσότερες γεωτρήσεις με την επένδυση υπέργογων οικονομικών ποσών.

Στη σημερινή βιομηχανία έρευνας και παραγωγής υδρογονανθράκων, οι δύο αυτοί κλάδοι, της γεωλογίας και της γεωφυσικής, είναι πολύ στενά συνδεδεμένοι και η χρήση των γνώσεων του ενός προϋποθέτει πάντα και τη χρήση του άλλου. Από τη διαπίστωση της υπόνοιας ύπαρξης ενός πετρελαϊκού συστήματος μέχρι και τη στιγμή που το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο θα ρέουν πια έξω από τη γεώτρηση και μέσα στις δεξαμενές, οι γεωλόγοι και οι γεωφυσικοί συνεργάζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό, λαμβάνοντας μαζί αποφάσεις υψίστης σημασίας, παρακολουθώντας την εξέλιξη των εργασιών σε κάθε στάδιο και επεμβαίνοντας σε κάθε περίπτωση που κρίνεται απαραίτητο.

Τέλος, να επισημανθεί πως ο τομέας των υδρογονανθράκων επιφέρει πολλά κέρδη, με αποτέλεσμα η τεχνολογία του να εξελίσσεται συνεχώς και με πολύ γρήγορους ρυθμούς. Έτσι η τεχνογνωσία και ο εξοπλισμός βελτιώνονται, και νέες μέθοδοι που χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ακρίβεια εφαρμόζονται κάθε φορά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα κοιτάσματα των οποίων η εκμετάλλευση φάνταζε αδύνατη πριν από μερικά χρόνια, να αξιοποιούνται σήμερα με διαδικασίες που χαρακτηρίζονται ως συνηθισμένη ρουτίνα. Συμπερασματικά, με τα άλματα της τεχνολογίας αυξάνεται και η δυσκολία και η πολυπλοκότητα των προκλήσεων που έχουν να αντιμετωπίσουν οι επιστήμονες, αφού οι στόχοι θα βρίσκονται σε όλο και πιο μεγάλα βάθη και πιο δυσπρόσιτες περιοχές.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Βαργεμέζης Γ. και Τσούρλος Π. Σημειώσεις Μαθήματος «Ηλεκτρομαγνητικές Μέθοδοι Και Γεωφυσικές Διασκοπήσεις». (<http://www.geo.auth.gr/>). Παρουσίαση 9. 1-2
- Γεωργακόπουλος Α. Σημειώσεις Μαθήματος «Κοιτασματολογία Πετρελαίου». (<http://www.geo.auth.gr/>).
- Μαρίνος Β. Σημειώσεις Μαθήματος «Τεχνική Γεωλογία». (<http://www.geo.auth.gr/>). Παρουσίαση 2. 13
- Bacon M., Simm R. and Redshaw T. (2003). 3-D Seismic Interpretation. Cambridge University Press. 1-2, 17-18, 25, 30, 33, 71
- Brown A. R. (1999). Interpretation of Three Dimensional Seismic Data. 5th Edition. The American Association of Petroleum Geologists and the Society of Exploration Geophysicists. 2
- Conti B., Ferro S., Tomasini J., Gristo P. and De Santa Ana H. (2016). Geologic and Volumetric Evaluation of Prospects Offshore Uruguay. 4
- Emina R. et al. (2016). Evaluation and Prospect Identification in the Olive Field, Niger Delta Basin, Nigeria. J Pet Environ Biotechnol. 1
- Gluyas J. and Swarbrick R. (2004). Petroleum Geoscience. Blackwell Publishing. 4, 10, 12, 17, 19-20, 45, 52-53, 93-94, 97, 135, 147, 168, 203, 273-274, 276, 332
- Halliburton. (2001). Basic Petroleum Geology and Log Analysis. 19, 31, 45, 48-50, 60
- Hyne N. J. (1991). Dictionary of Petroleum Exploration, Drilling and Production. Pennwell Books. 516
- Hyne N. J. (2012). Nontechnical Guide to Petroleum Geology, Exploration, Drilling & Production. 3rd Edition. Pennwell Books. xiv-xv, xxiii, 21, 39, 47-48, 70, 105, 113, 115-118, 121, 150, 159, 161, 209, 217, 219, 228, 232-233, 238-240, 243-244, 305-306, 312, 315, 317, 320, 323-324, 326-328, 331, 333-334, 336-337, 339, 341, 432-436, 641
- Knoring L. D., Chilingar G. V. and Gorfunkel M. V. (1999). Strategies For Optimizing Petroleum Exploration, Evaluate Initial Potential And Forecast Reserves. Gulf Professional Publishing. 14, 279, 283-284, 301, 306, 308
- Leffler W. L., Pattarozzi R. and Sterling G. (2011). Deepwater Petroleum Exploration & Production, A Nontechnical Guide. 2nd Edition. Pennwell Books. 65, 70, 74-76, 90-92, 114-115, 120, 124-125, 128, 130-131
- Link P. K. (1999). Basic Petroleum Geology. OGC Publications. 88-89, 95-96, 98, 119, 121-125, 141-142, 144, 159-160, 166-167, 169, 182, 276, 224, 280, 282, 347, 350, 356, 364
- Nanda N. C. (2016). Seismic Data Interpretation and Evaluation for Hydrocarbon Exploration and Production, A Practitioner's Guide. Springer. 45, 146, 213
- Selley R. C. (1998). Elements of Petroleum Geology. 2nd Edition. Academic Press. 44, 48, 80, 92-93, 95, 125, 200, 215-216, 312-314, 338, 342, 347, 350, 352, 354, 376, 382-383, 388-389, 444-445
- Sroor M. (2010). Geology & Geophysics In Oil Exploration. 27-28, 30, 32, 56-57

ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- 1.1 Hyne N. J. (2012). Nontechnical Guide to Petroleum Geology, Exploration, Drilling & Production. 3rd Edition. Pennwell Books. 219
- 1.2 Hyne N. J. (2012). Nontechnical Guide to Petroleum Geology, Exploration, Drilling & Production. 3rd Edition. Pennwell Books. 221
- 1.3 Selley R. C. (1998). Elements of Petroleum Geology. 2nd Edition. Academic Press. 89
- 1.4 Γεωργακόπουλος Α. Σημειώσεις Μαθήματος «Κοιτασματολογία Πετρελαίου». (<http://www.geo.auth.gr/>). 153
- 2.1 Selley R. C. (1998). Elements of Petroleum Geology. 2nd Edition. Academic Press. 308
- 2.2 Halliburton. (2001). Basic Petroleum Geology and Log Analysis. 25
- 2.3 Halliburton. (2001). Basic Petroleum Geology and Log Analysis. 25
- 2.4 Γεωργακόπουλος Α. Σημειώσεις Μαθήματος «Κοιτασματολογία Πετρελαίου». (<http://www.geo.auth.gr/>). 134
- 2.5 Halliburton. (2001). Basic Petroleum Geology and Log Analysis. 43
- 2.6 Halliburton. (2001). Basic Petroleum Geology and Log Analysis. 42
- 2.7 Halliburton. (2001). Basic Petroleum Geology and Log Analysis. 43
- 2.8 Γεωργακόπουλος Α. Σημειώσεις Μαθήματος «Κοιτασματολογία Πετρελαίου». (<http://www.geo.auth.gr/>). 130
- 2.9 Halliburton. (2001). Basic Petroleum Geology and Log Analysis. 45
- 2.10 Gluyas J. and Swarbrick R. (2004). Petroleum Geoscience. Blackwell Publishing. 150
- 2.11 Gluyas J. and Swarbrick R. (2004). Petroleum Geoscience. Blackwell Publishing. 150
- 2.12 Selley R. C. (1998). Elements of Petroleum Geology. 2nd Edition. Academic Press. 350
- 2.13 Selley R. C. (1998). Elements of Petroleum Geology. 2nd Edition. Academic Press. 344
- 2.14 Selley R. C. (1998). Elements of Petroleum Geology. 2nd Edition. Academic Press. 356
- 3.1 Selley R. C. (1998). Elements of Petroleum Geology. 2nd Edition. Academic Press. 115
- 3.2 Bacon M., Simm R. and Redshaw T. (2003). 3-D Seismic Interpretation. Cambridge University Press. 175
- 3.3 <http://csegrecorder.com/>
- 3.4 <http://www.geoexpro.com/>
- 3.5 Emina R. et al. (2016). Evaluation and Prospect Identification in the Olive Field, Niger Delta Basin, Nigeria. J Pet Environ Biotechnol. 4
- 3.6 Emina R. et al. (2016). Evaluation and Prospect Identification in the Olive Field, Niger Delta Basin, Nigeria. J Pet Environ Biotechnol. 6
- 3.7 Conti B., Ferro S., Tomasini J., Gristo P. and De Santa Ana H. (2016). Geologic and Volumetric Evaluation of Prospects Offshore Uruguay. 12
- 3.8 Conti B., Ferro S., Tomasini J., Gristo P. and De Santa Ana H. (2016). Geologic and Volumetric Evaluation of Prospects Offshore Uruguay. 12
- 3.9 Conti B., Ferro S., Tomasini J., Gristo P. and De Santa Ana H. (2016). Geologic and Volumetric Evaluation of Prospects Offshore Uruguay. 12

- 3.10 Conti B., Ferro S., Tomasini J., Gristo P. and De Santa Ana H. (2016). Geologic and Volumetric Evaluation of Prospects Offshore Uruguay. 12
- 3.11 Endeavour Energy UK Limited. (2016). UK P1948, Blocks 29/07c, 29/12, 29/13 and 29/14 License Relinquishment Report. 14
- 3.12 Endeavour Energy UK Limited. (2016). UK P1948, Blocks 29/07c, 29/12, 29/13 and 29/14 License Relinquishment Report. 14
- 3.13 Hyne N. J. (2012). Nontechnical Guide to Petroleum Geology, Exploration, Drilling & Production. 3rd Edition. Pennwell Books. 297