



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
“ ΝΑΥΤΙΚΗ & ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ & ΕΠΙΣΤΗΜΗ ”

**<< Υποθαλάσσιοι ενεργειακοί πόροι , από τον
εντοπισμό στην εκμετάλλευση>>**

Περιπτώσεις:

α) Κόλπος του Μεξικού

β) Μεσόγειος Θάλασσα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

SAMAN SALARPOUR

Επιβλέπων Καθηγητής : Σπυρίδων Α. Μαυράκος

Αθήνα, Ιούλιος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
“ ΝΑΥΤΙΚΗ & ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ & ΕΠΙΣΤΗΜΗ ”

**<< Υποθαλάσσιοι ενεργειακοί πόροι , από τον
εντοπισμό στην εκμετάλλευση>>**

Περιπτώσεις:

α) Κόλπος του Μεξικού

β) Μεσόγειος Θάλασσα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

SAMAN SALARPOUR

Επιβλέπων Καθηγητής : Σπυρίδων Α. Μαυράκος

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την **Ιουλίου 2015**

Χρήστος Αναγνώστου
Διδάσκων ΕΜΠ

Σπυρίδων Α. Μαυράκος
Καθηγητής ΕΜΠ

Δημήτριος Β. Λυρίδης
Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2015

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται το ζήτημα των υποθαλάσσιων ενεργειακών πόρων από το χρονικό σημείο της δημιουργίας τους έως τις τεχνικές εντοπισμού και τις μεθόδους εκμετάλλευσής τους. Στα πρώτα κεφάλαια γίνεται μια ανασκόπηση στις ιδιότητες και την ταξινόμηση των υδρογονανθράκων καθώς και μια εισαγωγή στο σχηματισμό και την ταξινόμηση του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Στη συνέχεια καλύπτονται οι διαστάσεις των μεθόδων εντοπισμού των υποθαλάσσιων ενεργειακών πόρων με ιδιαίτερη βαρύτητα να δίνεται στο σχηματισμό των κοιτασμάτων και στην έρευνα για το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Ακολουθεί η εξέταση των μεθόδων εκμετάλλευσης των υποθαλάσσιων ενεργειακών πόρων ιδιαίτερα μέσα από την εξέταση των δοκιμαστικών γεωτρήσεων καθώς και των παραγωγικών. Τέλος, η εργασία αποτυπώνει δύο μελέτες περίπτωσης αναφορικά με την παρουσία και εκμετάλλευση των υποθαλάσσιων ενεργειακών πόρων, εκείνη του Κόλπου του Μεξικού και της Αν. Μεσογείου ενώ έμφαση δίνεται στην αξιοποίηση των εναλλακτικών πηγών ενέργειας.

Λέξεις – κλειδιά: υποθαλάσσιοι ενεργειακοί πόροι, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, γεωτρήσεις, υδρογονάνθρακες, Κόλπος του Μεξικού, Ανατολική Μεσόγειος, εναλλακτικές πηγές ενέργειας, εκτίμηση περιβαλλοντικού αντίκτυπου

ABSTRACT

The present paper deals with the issue of undersea energy resources since the moment of their creation until to methods of locating and exploiting them. In the first chapters we review the classification and the characteristics of hydrocarbons and an introduction to the formation and classification of gas and oil is also made. Continuing, this paper covers the dimensions of methods to locate underwater energy resources highlighting the formation of oil resources as well as the research for oil and gas. The following chapters examine the methods to exploit underwater energy resources, especially through exploratory as well as production drilling. The present paper continues by presenting two case studies, concerning the Gulf of Mexico and the Eastern Mediterranean. Finally, emphasis is given to the possibility of exploiting renewable energy resources.

Key words: underwater energy resources, oil, gas, drilling, hydrocarbons, Gulf of Mexico, Eastern Mediterranean, renewable energy resources, environmental impact assessment

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για τη συγγραφή της παρούσας εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Χρήστο Αναγνώστου και στον κ. Σπυρίδων Α. Μαυράκο που μου έδωσαν την ευκαιρία και την έμπνευση να καταπιαστώ με την παρούσα θεματική καθώς και για τη συμπαράστασή τους κατά τη διάρκεια της συγγραφής της.

Οφείλω επίσης να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, χωρίς την πολύτιμη στήριξη της οποίας δε θα είχα καταφέρει την ολοκλήρωσή της.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. Εισαγωγή.....	9
2. Δημιουργία των Υποθαλάσσιων Ενεργειακών Πόρων	10
2.1 Υδρογονάνθρακες.....	10
2.1.1 Ταξινόμηση Υδρογονανθράκων.....	11
2.1.2 Γενικές Ιδιότητες Υδρογονανθράκων	13
2.1.3 Χρήσιμοι Πίνακες Υδρογονανθράκων	15
2.2 Πετρέλαιο	17
2.2.1 Εισαγωγή – Ιστορικό.....	17
2.2.2 Σχηματισμός Πετρελαίου	20
2.2.3 Συμβατικό και μη-συμβατικό πετρέλαιο	23
2.2.4 Σύσταση του αργού πετρελαίου	23
2.2.5 Ταξινόμηση των πετρελαίων	26
2.3 Φυσικό Αέριο	27
2.3.1 Εισαγωγή.....	27
2.3.2 Σχηματισμός Φυσικού Αερίου	28
2.3.3 Ιδιότητες του φυσικού αερίου	29
3. Εντοπισμός των Υποθαλάσσιων Ενεργειακών Πόρων	32
3.1 Αργό Πετρέλαιο	32
3.1.1 Σχηματισμός Κοιτασμάτων	33
3.1.2 Μετανάστευση.....	34
3.1.3 Ταμειυτήρια Πετρώματα	35
3.1.4 Δομικές Παγίδες.....	36
3.1.5 Έρευνα για Πετρέλαιο	37
3.1.6 Γεωλογική Έρευνα	38
3.1.7 Γεωφυσική Έρευνα.....	38
3.1.8 Γεωχημική Έρευνα και Προσδιορισμός Ανθρακοποίησης Δειγμάτων	43
3.1.9 Έγπαρξη, Παραγωγή, Αποθέματα	44
3.2 Φυσικό Αέριο	49
3.2.1 Προέλευση και Σχηματισμός Αποθεμάτων.....	51
3.2.2 Έγπαρξη Κοιτασμάτων Φυσικού Αερίου	52

3.2.3	Γεωγραφική Κατανομή Αποθεμάτων.....	53
4.	Εκμετάλλευση των Υποθαλάσσιων Ενεργειακών Πόρων	53
4.1	Γεωτρήσεις	53
4.1.1	Εισαγωγή.....	53
4.1.2	Ιστορία.....	54
4.1.3	Περιστροφική Εξέδρα Γεώτρησης	55
4.1.4	Προστατευτική Σωλήνωση και Σκυροδέτηση.....	60
4.1.5	Δοκιμαστικές Γεωτρήσεις	61
4.2	Παραγωγή.....	63
4.2.1	Σκοπός	63
4.2.2	Μηχανική Παραγωγής.....	63
4.2.3	Παραγωγή Πετρελαίου.....	66
4.2.4	Παραγωγή Φυσικού Αερίου	72
4.2.5	Ανάκτηση από Υποθαλάσσια Κοιτάσματα	74
5.	Κόλπος του Μεξικού.....	76
5.1	Ανάπτυξη Υδρογονανθράκων στον κόλπο του Μεξικού.....	76
5.2	Συστήματα Υδρογονανθράκων	79
5.3	Μέθοδοι εντοπισμού Υδρογονανθράκων.....	81
5.3.1	Τηλεπισκόπηση επιφάνειας της θάλασσας.....	81
5.3.2	Διαρροές Υδρογονανθράκων στον πυθμένα	82
5.4	Κοιτάσματα εξαιρετικά βαθέων υδάτων στον κόλπο του Μεξικού.....	85
6.	Μεσόγειος Θάλασσα	86
6.1	Ιστορικό Ενεργειακών Ανακαλύψεων στην Α. Μεσόγειο	86
6.2	Συνοπτικό Χρονικό Πρόσφατων Εξελίξεων	87
6.3	Ενεργειακό Προφίλ της Α. Μεσογείου και των Παράκτιων Κρατών.....	87
6.3.1	Κύπρος.....	90
6.3.2	Ελλάδα.....	92
	Συμπερασματικές παρατηρήσεις.....	96
	Βιβλιογραφικές Αναφορές	101

1. Εισαγωγή

Ένα από τα πρωταρχικά προβλήματα που αντιμετώπισε ο άνθρωπος ήταν η εξεύρεση πηγών ενέργειας προκειμένου για την επιβίωσή του και στη συνέχεια την πολιτιστική εξέλιξη. Ξεκινώντας από την καύση του ξύλου, κατέληξε στην εκμετάλλευση του πετρελαίου, μια από τις πιο αξιοποιήσιμες και εύχρηστες πηγές ενέργειας. Τον 20^ο αιώνα όμως, η ζήτηση καυσίμων αυξήθηκε με πυρετώδεις ρυθμούς, κατόπιν και της αλματώδους ανάπτυξης της βιομηχανικής επανάστασης.

Η εξέλιξη αυτή είχε ως αποτέλεσμα την εξαντλητική κατανάλωση των ορυκτών πόρων, η οποία αναμένεται να οδηγήσει σε αφανισμό των ορυκτών καυσίμων, τη ρύπανση της ατμόσφαιρας και τη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου, διαστάσεις που καθιστούν αναγκαία την αξιοποίηση εναλλακτικών μορφών ενέργειας.

Σήμερα, οι παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες καλύπτονται πρωταρχικά από την εκμετάλλευση του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Η παρούσα εργασία έχει στόχο να εξετάσει τους υποθαλάσσιους ενεργειακούς πόρους από τη δημιουργία τους έως τον εντοπισμό και την εκμετάλλευσή τους. Εκκινώντας από μια ανασκόπηση των υδρογονανθράκων, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, εν συνεχεία επιχειρείται η παρουσίαση και ανάλυση των μεθόδων εντοπισμού των υποθαλάσσιων ενεργειακών πόρων και τέλος η περιγραφή και εξέταση των μεθόδων εκμετάλλευσής τους. (Grigg N. 1996)

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται επίσης δύο μελέτες περίπτωσης ως προς την παρουσία και εκμετάλλευση υποθαλάσσιων ενεργειακών πόρων, αυτή του Κόλπου του Μεξικού καθώς και της Ανατολικής Μεσογείου, όπου γίνεται ξεχωριστή ανασκόπηση για επιλεγμένα κράτη.

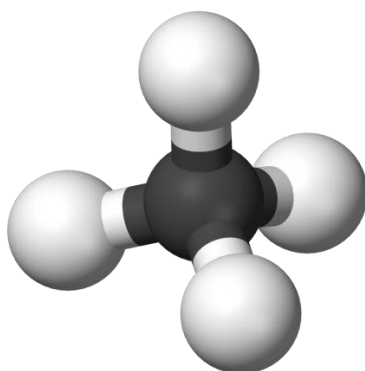
Τέλος, στην εργασία αποτυπώνεται η ανάγκη προσφυγής σε εναλλακτικές πηγές ενέργειας καθώς και στη συνεκτίμηση της περιβαλλοντικής διάστασης κατά τον εντοπισμό και την εκμετάλλευση υποθαλάσσιων ενεργειακών πόρων.

2. Δημιουργία των Υποθαλάσσιων Ενεργειακών Πόρων

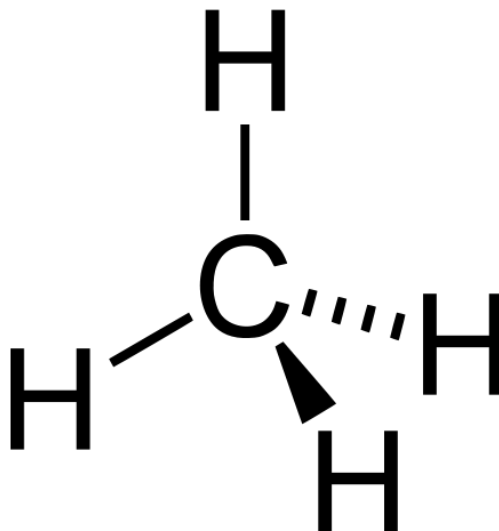
2.1 Υδρογονάνθρακες

«Υδρογονάνθρακες» ονομάζονται οι οργανικές ενώσεις, που περιέχουν μόνο υδρογόνο (H) και άνθρακα (C). Έχουν γενικό χημικό τύπο C_xH_y . Οι μονοσθενείς ρίζες, που προκύπτουν από ένα μόριο υδρογονάνθρακα αν του αφαιρέσουμε ένα άτομο υδρογόνου, έχουν γενικό τύπο C_xH_{y-1} και ονομάζονται «υδροκαρβύλια». Τα αλκάνια, τα αλκένια, τα αλκίνια, τα αλκαδιένια, τα κυκλοαλκάνια και οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες είναι μερικοί διαφορετικοί τύποι υδρογονανθράκων.

Η πλειονότητα των υδρογονανθράκων που χρησιμοποιείται, από τον άνθρωπο βρίσκεται στα φυσικά αποθέματα αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου, όπου περιέχεται ένα μίγμα διαφόρων υδρογονανθράκων (και όχι μόνο), που προέρχονται από την αποσύνθεση και ανασχηματισμό οργανικής ύλης που θάβεται στο υπέδαφος για χιλιετίες. Μόνο τα άτομα άνθρακα και υδρογόνου, με τις φαινομενικά απεριόριστες δυνατότητες σύνδεσής τους, αρκούν για να σχηματίσουν φαινομενικά επίσης απεριόριστες ενώσεις (Silberberg,2006).



Εικόνα 2.1 : Μοντέλο από σφαίρες και ράβδους του μορίου του μεθανίου, του απλούστερου υδρογονάνθρακα.



Εικόνα 2.2 : Χημική δομή του μεθανίου, του απλούστερου υδρογονάνθρακα.

2.1.1 Ταξινόμηση Υδρογονανθράκων

Οι υδρογονάνθρακες ταξινομούνται σε:

1. Αλκάνια ή κορεσμένους αλειφατικούς υδρογονάνθρακες με γενικό τύπο C_nH_{2n+2} με $n \geq 1$ και χωρίς κανέναν διπλό ή τριπλό δεσμό, ούτε δακτύλιο.
2. Ακόρεστους αλειφατικούς υδρογονάνθρακες. Περιέχουν τουλάχιστον ένα διπλό ή ένα τριπλό δεσμό και κανένα δακτύλιο. Αυτοί περιλαμβάνουν τις υποκατηγορίες:
 - 2.1. Αλκένια: με γενικό μοριακό τύπο C_nH_{2n} με $n \geq 2$ με 1 διπλό δεσμό και κανένα δακτύλιο.
 - 2.2. Αλκίνια: με γενικό μοριακό τύπο C_nH_{2n-2} με $n \geq 2$ με 1 τριπλό δεσμό και κανένα δακτύλιο. Διακρίνονται σε «εξωτερικά» και «εσωτερικά» αλκένια, ανάλογα με το αν ο τριπλός δεσμός βρίσκεται ή όχι, αντίστοιχα, στο άκρο της ανθρακικής αλυσίδας των μορίων τους.
 - 2.3. Αλκαδιένια: με γενικό μοριακό τύπο C_nH_{2n-2} με $n \geq 3$ με 2 διπλούς δεσμούς και κανένα δακτύλιο. Υπάρχουν δυο ενδιαφέρουσες υποκατηγορίες αλκαδιενίων: Α) Τα αλλένια, που έχουν διαδοχικούς τους δυο διπλούς δεσμούς τους. Αυτό προσθέτει το δομικό αξιοσημείωτο του ενδιάμεσου άνθρακα που μετέχει και στους δυο δεσμούς με sp υβριδισμό, ενώ όλα τα υπόλοιπα άτομα άνθρακα μετέχουν στους διπλούς δεσμούς με sp^2 υβριδισμό. Β) Τα συζυγή αλκαδιένια, που έχουν τους

δυο διπλούς δεσμούς τους τοποθετημένους εναλλάξ. Αυτά δίνουν την αξιοσημείωτη 1,4-προσθήκη.

2.4. Αλειφατικούς πολυακόρεστους υδρογονανθράκες με πολυπλοκότερους από τους παρά πάνω συνδυασμούς διπλών ή και τριπλών δεσμών και κανένα δακτύλιο.

3. Κυκλικούς υδρογονάνθρακες. Περιέχουν τουλάχιστον ένα δακτύλιο. Αυτοί περιλαμβάνουν τις υποκατηγορίες:

3.1. Κυκλοαλκάνια: με γενικό μοριακό τύπο C_nH_{2n} με $n \geq 3$, χωρίς κανέναν διπλό ή τριπλό δεσμό και ένα δακτύλιο. Αξιοσημείωτα είναι τα κυκλοαλκάνια με τριμελείς και τετραμελείς δακτύλιους, γιατί δίνουν αντιδράσεις κυκλοπροσθήκης.

3.2. Κυκλοαλκένια: με γενικό μοριακό τύπο C_nH_{2n-2} με $n \geq 3$, με 1 διπλό δεσμό και ένα δακτύλιο.

3.3. Κυκλοαλκίνια: με γενικό μοριακό τύπο C_nH_{2n-4} με $n \geq 3$, με 1 τριπλό δεσμό και ένα δακτύλιο. Σπάνια είναι σταθερά.

3.4. Κυκλοαλκαδιένια: με γενικό μοριακό τύπο C_nH_{2n-4} με $n \geq 4$, με 2 διπλούς δεσμούς και ένα δακτύλιο. Εμπεριέχουν το κυκλοβουταδιένιο, που είναι ο απλούστερος αντιαρωματικός υδρογονάνθρακας.

3.5. Μονοκυκλικούς πολυακόρεστους υδρογονανθράκες με πολυπλοκότερους από τους παρά πάνω συνδυασμούς διπλών ή και τριπλών δεσμών και ένα δακτύλιο.

3.6. Δικυκλοαλκάνια: με γενικό μοριακό τύπο C_nH_{2n-2} με $n \geq 4$, χωρίς κανέναν διπλό ή τριπλό δεσμό και δυο δακτύλιους. Περιέχουν δυο αξιοσημείωτες υποκατηγορίες: Α) Τα διαλκύλια, στα οποία οι δυο δακτύλιοι συνδέονται μεταξύ τους με ένα δεσμό. Β) Τα μονοσπειράνια, στα οποία οι δυο δακτύλιοι συνδέονται μεταξύ τους με ένα κοινό άτομο άνθρακα. Στα υπόλοιπα δικυκλοαλκάνια, που δεν ανήκουν στις δυο παραπάνω υποκατηγορίες, οι δυο δακτύλιοι συνδέονται μεταξύ τους με δύο συνδεδεμένα μεταξύ τους κοινά άτομα άνθρακα.

3.7. Πολυκυκλοαλκάνια χωρίς κανέναν διπλό ή τριπλό δεσμό και περισσότερους από 2 δακτύλιους.

3.8. Πολυκυκλικούς ακόρεστους υδρογονανθράκες με διπλούς ή και τριπλούς δεσμούς και τουλάχιστον δυο δακτύλιους.

4. Αρωματικοί υδρογονάνθρακες που περιέχουν ένα αρωματικό σύστημα. Τυπικά συμπεριλαμβάνονται και σε κάποιες από τις παραπάνω κατηγορίες απλών κυκλικών και ακόρεστων υδρογονανθράκων, αλλά οι επιπλέον ιδιότητες που

αποκαλούνται «αρωματικός χαρακτήρας» επιβάλλουν την ξεχωριστή κατάταξη και εξέτασή τους.

5. Αντιαρωματικοί υδρογονάνθρακες που περιέχουν ένα αντιαρωματικό σύστημα. Τυπικά συμπεριλαμβάνονται και σε κάποιες από τις παραπάνω κατηγορίες απλών κυκλικών και ακόρεστων υδρογονανθράκων, αλλά οι επιπλέον ιδιότητες που αποκαλούνται «αντιαρωματικός χαρακτήρας» επιβάλλουν την ξεχωριστή κατάταξη και εξέτασή τους (Clayden, J., Greeves, N., 2001).

2.1.2 Γενικές Ιδιότητες Υδρογονανθράκων

Εξαιτίας των διαφορών στη μοριακή τους δομή, ο εμπειρικός τύπος των υδρογονανθράκων παραμένει διαφορετικός ανάμεσά τους: Στους υδρογονάνθρακες «ευθείας αλυσίδας» ή «γραμμικούς», από τα αλκάνια, στα αλκένια, και στα αλκίνια ο σχετικός αριθμός των δεσμών με άτομα υδρογόνου μειώνεται, εξαιτίας των επιπλέον (διπλών ή τριπλών) δεσμών μεταξύ ατόμων άνθρακα.

Αυτή η ικανότητα των ατόμων άνθρακα να συνδέονται μεταξύ τους σε διάφορων ειδών ανθρακαλυσίδων, ικανότητα που αναφέρεται με τον όρο αλυσοποίηση, επιτρέπει το σχηματισμό και πολύπλοκων συστημάτων, όπως π.χ. του κυκλοεξανίου και του βενζολίου. Οι δεσμοί C-C είναι τελείως μη πολικοί και η δημιουργία τους δεν έχει ως συνέπεια το σχηματισμό ηλεκτρονιόφιλου ή πυρηνόφιλου κέντρου.

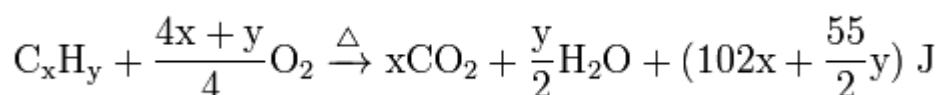
Με την αύξηση της αλυσοποίησης, επέρχεται μια σχετική απώλεια της συνολικής ποσότητας των συνδεδεμένων υδρογονανθράκων και μια σχετική αύξηση της ποσότητας της ενέργειας που χρειάζεται για τη διάσπαση των δεσμών, γιατί μειώνεται η τάση που ασκείται επάνω στο μόριο. Σε μόρια όπως του κυκλοπροπανίου, η τάση αυτή μετριέται ως «ενέργεια τάσης δεσμών», και συμβαίνει εξαιτίας της αποσταθεροποίησης της ιδανικής ηλεκτρονιακής διαμόρφωσης των ατόμων από το σχηματισμό δεσμών διαφορετικού μήκους ή γωνίας από τις κανονικές.

Στην απλή χημεία, σύμφωνα με τη θεωρία σθένους - δεσμού, τα άτομα άνθρακα πρέπει να ακολουθούν τον «κανόνα των τεσσάρων δεσμών», που αντιπροσωπεύει το μέγιστο αριθμό ατόμων που είναι διαθέσιμα για δεσμούς με κάθε άτομο άνθρακα και είναι ίσος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων της εξώτατης ηλεκτρονιακής στιβάδας του κάθε ατόμου άνθρακα, αφού του «λείπουν» άλλα 4 ηλεκτρόνια για να «αποκτήσει»

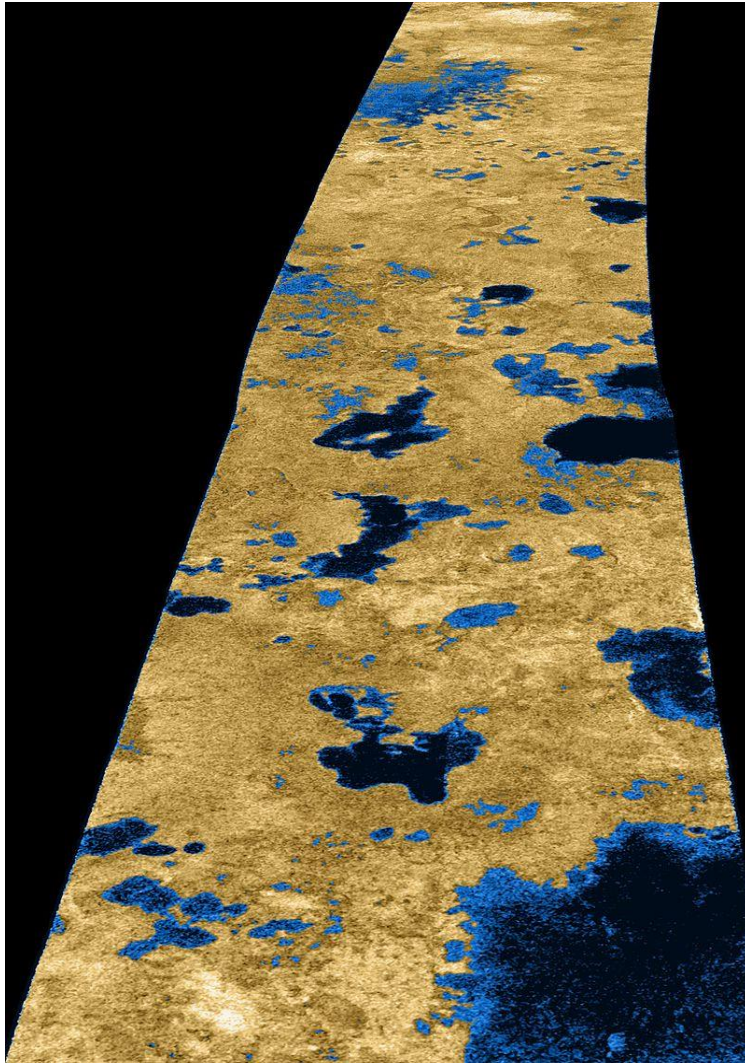
την ηλεκτρονιακή δομή ευγενούς αέριου (του νέου συγκεκριμένα). Έτσι, ο άνθρακας συνήθως σχηματίζει 4 ομοιοπολικούς δεσμούς.

Οι υδρογονάνθρακες είναι γενικά υδρόφοβοι σαν τα λιπίδια. Κάποιοι υδρογονάνθρακες είναι άφθονοι στο ηλιακό μας σύστημα. Λίμνες από υγρό μεθάνιο και αιθάνιο βρέθηκαν στον Τιτάνα, το μεγαλύτερο δορυφόρο του πλανήτη Κρόνου, όπως επιβεβαιώθηκε με την αποστολή Κασσίνι - Χόιχενς. Οι υδρογονάνθρακες είναι ακόμη άφθονοι σε νεφελώματα, όπου σχηματίζουν πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAH). Υπάρχουν αέριοι, υγροί και χαμηλού σημείου τήξης στερεοί υδρογονάνθρακες.

Οι μέθοδοι παρασκευής συγκεκριμένων υδρογονανθράκων, όπως και οι ιδιότητές τους ποικίλλουν, κυρίως ανάλογα με την παραπάνω ταξινόμησή τους. Η μόνη κοινή ιδιότητα όλων τους είναι η καύση:



Οι χρήσεις τους επίσης ποικίλλουν ανάλογα. Η πιο συνηθισμένη χρήση τους είναι ως καύσιμα για παραγωγή ενέργειας, αλλά υπάρχουν και άλλες: διαλυτικά, βερνίκια, λιπαντικά, κεριά, εντομοαπωθητικά, καθώς και η παραγωγή πολυμερών και άλλων πετροχημικών (Clayden, J., Greeves, N., 2001).



Εικόνα 2.3 : Λίμνες υγρών υδρογονανθράκων στον Τιτάνα

2.1.3 Χρήσιμοι Πίνακες Υδρογονανθράκων

Εμπειρικές ονομασίες υδρογονανθράκων που διατηρούνται		
Τύπος	Εμπειρική ονομασία	Ονομασία IUPAC
$(\text{CH}_3)_3\text{CH}$	ισοβουτάνιο	μεθυλοπροπάνιο
$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}_3$	ισοπεντάνιο	μεθυλοβουτάνιο
$(\text{CH}_3)_4\text{C}$	νεοπεντάνιο	διμεθυλοπροπάνιο
$(\text{CH}_3)_2\text{CH}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$	ισοεξάνιο	2-μεθυλοπεντάνιο
$(\text{CH}_3)_3\text{CCH}_2\text{CH}_3$	νεοεξάνιο	2,2-διμεθυλοβουτάνιο
$(\text{CH}_3)_3\text{CCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$	ισοκτάνιο	2,2,4-τριμεθυλοβουτάνιο
$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	αιθυλένιο	αιθένιο
$\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$	προπυλένιο	προπένιο
$\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{CH}_3$	α-βουτυλένιο	1-βουτένιο
$\text{CH}_3\text{CHCH}=\text{CHCH}_3$	β-βουτυλένιο	2-βουτένιο
$\text{CH}_3\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2$	γ-βουτυλένιο	μεθυλοπροπένιο
$\text{CH}_2=\text{CH}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$	α-αμυλένιο	1-πεντένιο
$\text{CH}_3\text{CHCH}=\text{CHCH}_2\text{CH}_3$	β-αμυλένιο	2-πεντένιο
$\text{HC}\equiv\text{CH}$	ακετυλένιο	αιθίνιο
$\text{CH}_2=\text{C}=\text{CH}_2$	αλλένιο	προπαδιένιο
$\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{CH}=\text{CH}_2$	ισοπρένιο	1,3-μεθυλοβουταδιένιο

Εικόνα 2.1 : Εμπειρικές ονομασίες υδρογονανθράκων

Υδρογονάνθρακες							
Αριθμός ατόμων C	Αλκάνια	Αλκένια	Κυκλοαλκάνια	Αλκίνια	Αλκαδιένια	Αρωματικοί υδρογονάνθρακες	Αντιαρωματικοί υδρογονάνθρακες
1	μεθάνιο	—	—	—	—	—	—
2	αιθάνιο	αιθένιο	—	αιθίνιο	—	—	—
3	προπάνιο	προπένιο	κυκλοπροπάνιο	προπίνιο	προπαδιένιο	—	—
4	βουτάνιο ισοβουτάνιο	1-βουτένιο 2-βουτένιο μεθυλοπροπένιο	κυκλοβουτάνιο μεθυλοκυκλοπροπάνιο	1-βουτίνιο 2-βουτίνιο-2	1,2-βουταδιένιο 1,3-βουταδιένιο	—	κυκλοβουταδιένιο
5	πεντάνιο ισοπεντάνιο νεοπεντάνιο	1-πεντένιο 2-πεντένιο 2-μεθυλο-1-βουτένιο 3-μεθυλο-1-βουτένιο μεθυλο-2-βουτένιο	κυκλοπεντάνιο μεθυλοκυκλοβουτάνιο αιθυλοκυκλοπροπάνιο 1,1-διμεθυλοκυκλοπροπάνιο 1,2-διμεθυλοκυκλοπροπάνιο	1-πεντίνιο 2-πεντίνιο μεθυλοβουτίνιο	1,2-πενταδιένιο 1,3-πενταδιένιο 1,4-πενταδιένιο 2,3-πενταδιένιο ισοπρένιο	—	—
6	εξάνιο ισοεξάνιο 3-μεθυλοπεντάνιο νεοεξάνιο 2,3-διμεθυλοβουτάνιο	1-εξένιο 2-εξένιο 3-εξένιο 2-μεθυλο-1-πεντένιο 3-μεθυλο-1-πεντένιο 4-μεθυλο-1-πεντένιο 2-μεθυλο-2-πεντένιο 3-μεθυλο-2-πεντένιο 4-μεθυλο-2-πεντένιο 2,3-διμεθυλο-1-βουτένιο 3,3-διμεθυλο-1-βουτένιο διμεθυλο-2-βουτένιο αιθυλοβουτένιο	κυκλοεξάνιο μεθυλοκυκλοπεντάνιο αιθυλοκυκλοβουτάνιο 1,1-διμεθυλοκυκλοβουτάνιο 1,2-διμεθυλοκυκλοβουτάνιο προπυλοκυκλοπροπάνιο ισοπροπυλοκυκλοπροπάνιο αιθυλο-1-μεθυλοκυκλοπροπάνιο αιθυλο-2-μεθυλοκυκλοπροπάνιο 1,1,2-τριμεθυλοκυκλοπροπάνιο 1,2,3-τριμεθυλοκυκλοπροπάνιο	1-εξίνιο 2-εξίνιο 3-εξίνιο 3-μεθυλο-1-πεντίνιο 4-μεθυλο-1-πεντίνιο μεθυλο-2-πεντίνιο διμεθυλοβουτίνιο	1,2-εξαδιένιο	βενζόλιο	βενζίνιο
7	επτάνιο	1-επτένιο	κυκλοεπτάνιο	1-επτίνιο	1,2-επταδιένιο	τολουόλιο	—
8	οκτάνιο	1-οκτένιο	κυκλοοκτάνιο	1-οκτίνιο	οκταδιένιο	στυρένιο	πενταλένιο

Εικόνα 2.2 : Υδρογονάνθρακες

2.2 Πετρέλαιο

2.2.1 Εισαγωγή – Ιστορικό

Το πετρέλαιο αποτελεί την κυριότερη πηγή ενέργειας στο σύγχρονο κόσμο, αλλά και την πρώτη ύλη για την παραγωγή πληθώρας χημικών και φαρμακευτικών προϊόντων. Το πετρέλαιο (αργό πετρέλαιο – crude oil) είναι ουσιαστικά ένα πολύπλοκο μίγμα αερίων, υγρών και στερεών υδρογονανθράκων (που περιέχουν όμως και μικρές ποσότητες οξυγόνου, θείου και αζώτου), το οποίο ανευρίσκεται σε πετρελαιοφόρα κοιτάσματα σε διάφορα μέρη του πλανήτη και κυρίως στην περιοχή της Μέσης

Ανατολής. Τα κοιτάσματα αυτά έγιναν διαθέσιμα στον κόσμο σε χαμηλό κόστος μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο και διαφοροποίησαν τον τρόπο που ζούμε σήμερα.

Η χρήση προϊόντων πετρελαίου πηγαίνει αρκετές χιλιετίες πίσω. Στην Μεσοποταμία υπήρχαν τουλάχιστον τριάντα περιοχές με επιφανειακές ενδείξεις και ροές πετρελαίου. Για τους Ασσύριους του 9ου αιώνα π.Χ. η εκροή των απελευθερούμενων αερίων από τα κοιτάσματα πετρελαίου ήταν «η φωνή των θεών που έβγαινε από τους βράχους». Στο εύφλεκτο πετρέλαιο δόθηκε από τους Βαβυλώνιους το όνομα «νάφθα», δηλ. το υλικό που καίγεται με έντονη φλόγα. Η χρησιμοποίηση της πίσσας για τη στεγανοποίηση πλοιαρίων και την αδιαβροχοποίηση στεγών, στην τοιχοποιία και για φαρμακευτικούς σκοπούς ανάγεται στο 3000 π.Χ. Η ασφάλτος απετέλεσε σημαντικό εμπορικό προϊόν της Μεσοποταμίας και αναφέρεται από τον Στράβωνα και τον Τάκιτο. Η νάφθα, σε συνδυασμό με ασβέστη και άλλες προσμίξεις, ήταν το κύριο υλικό που χρησιμοποιούσαν οι Βυζαντινοί του 7ου μ.Χ. αιώνα στο περίφημο «υγρό πυρ». Ο Αγρικόλας, τον 16ο αιώνα, περιγράφει στο *De Re Metallica* το διαχωρισμό της ασφάλτου από ασφαλτούχα πετρώματα με θέρμανση. Η πρώτη περιγραφή απόσταξης πετρελαίου καταγράφεται σε ένα φυλλάδιο που εκδόθηκε το 1625 στο Στρασβούργο. Κατά την προσεχτική απόσταξη αργού πετρελαίου, εκτός από τα βαριά κλάσματα που είναι κατάλληλα για φαρμακευτικές χρήσεις, λαμβάνονταν και κλάσματα που μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για λίπανση αξόνων, στη βαφική και ως φωτιστικό πετρέλαιο στις λάμπες.

Από το τέλος του 17ου αιώνα χρονολογείται ευρεσιτεχνία στην Αγγλία που περιγράφει την επεξεργασία πισσούχων σχιστόλιθων (κονιοποίηση και απόσταξη) στο Pitchford-on-Severn με προϊόντα το διαλύτη «νέφτι» και την πίσσα (pitch). Το 1712 ένας Έλληνας γιατρός στο Neuchâtel της Ελβετίας εφηύρε τα επικαλυπτικά υλικά που περιείχαν ασφάλτο και τριμμένα πετρώματα.

Η σύγχρονη βιομηχανία πετρελαίου δεν προήλθε πάντως από τις παραπάνω χρήσεις, αλλά από την ανάγκη για καλύτερο και αποδοτικότερο φωτισμό στη δεκαετία του 1850. Άλλωστε, η ίδια ανάγκη οδήγησε και στην τεχνολογία παραγωγής του φωταερίου από άνθρακα. Στην παραπάνω δεκαετία άρχισε να διατίθεται για φωτισμό το φωτιστικό πετρέλαιο ή παραφινέλαιο (paraffin-oil) στην Αγγλία (προερχόμενο από τους βιτουμενιούχους σχίστες της Σκωτίας), ενώ στην Αμερική το ίδιο υλικό, με το όνομα κηροζίνη, παραγόταν από την ασφάλτο του Τρινιντάντ. Το υλικό αυτό

αντικατέστησε το όλο και ακριβότερο λίπος των φαλαινών που χρησιμοποιούνταν ως τότε για φωτιστικό έλαιο.

Οι πρώτες σχετικά προηγμένες τεχνολογικά γεωτρήσεις (που είχαν δανειστεί αρκετές ιδέες από τους Κινέζους) έγιναν μετά το 1830 για την εύρεση νερού ή ορυκτών αλάτων. Δεν ήταν λίγες οι φορές όμως που έπεφταν επάνω σε φλέβες πετρελαίου. Αν και η πρώτη ηθελημένη προσπάθεια για ανόρυξη γεώτρησης πετρελαίου ξεκίνησε τον Απρίλιο του 1857 στο Αμβούργο (και την ίδια χρονιά ολοκληρώθηκαν δύο χειροποίητες γεωτρήσεις στο Πλοέστι της Ρουμανίας), συχνά αναφέρεται ως απαρχή της εποχής του πετρελαίου η ανόρυξη γεώτρησης στις 27 Αυγούστου του 1859 στο Titusville της Πενσυλβάνιας από τον Edwin L. Drake, κατόπιν παραγγελίας του βιομηχάνου G.H. Bissell. Το βάθος της επιτυχούς αυτής γεώτρησης ήταν μόλις 69½ ft (21 m). Μέσα σε 15 χρόνια η παραγωγή πετρελαίου στην Πενσυλβάνια έφτασε τα 10 εκατομμύρια βαρέλια ετησίως.

Αρχικά, για την απόσταξη του αργού πετρελαίου χρησιμοποιούνταν οριζόντιοι κυλινδρικοί αποστακτήρες που θερμαίνονταν με ατμό και παρήγαγαν τρία κύρια προϊόντα: (1) τη βενζίνη (το ελαφρύτερο κλάσμα, που αρχικά θεωρήθηκε επικίνδυνο και άχρηστο), (2) την κηροζίνη και (3) το βαρύ υπόλειμμα που πωλούνταν ως καύσιμο. Μέχρι το 1880 στην Αμερική η όλη διεργασία απόσταξης γινόταν σε παρτίδες (διαλείπουσα διεργασία), ενώ στην Ευρώπη είχε εισαχθεί η συνεχής διεργασία.

Η έλευση του ηλεκτρισμού στη δεκαετία του 1880 και η συνεχής γενίκευση του ηλεκτρικού φωτισμού άρχισε να κάνει δύσκολη τη χρήση της κηροζίνης και να πιέζει τις τιμές του πετρελαίου προς τα κάτω. Έπρεπε να βρεθούν νέες χρήσεις των προϊόντων πετρελαίου. Αρχικά, το 1878, παρουσιάστηκε η σόμπα πετρελαίου στην Διεθνή Έκθεση του Παρισιού. Μέσα σε ένα χρόνο πουλήθηκαν μισό εκατομμύριο σόμπες. Έπρεπε όμως να περάσουν άλλα 25 χρόνια για να αρχίσει να παίρνει επάνω της η βιομηχανία πετρελαίου με τη μαζική παραγωγή βενζινοκίνητων αυτοκινήτων. Η εφεύρεση του βενζινοκινητήρα από τους Daimler και Benz το 1885 έφερε τη μεγάλη επανάσταση στη χρησιμοποίηση των προϊόντων του πετρελαίου ως καύσιμα αυτοκινήτων. Η σημαντική αύξηση της κυκλοφορίας των βενζινοκίνητων αυτοκινήτων είχε ως συνέπεια να παρατηρηθεί έλλειψη σε βενζίνη με ταυτόχρονο πλεόνασμα σε κηροζίνη, λόγω της αυξανόμενης χρήσης των ηλεκτρικών λαμπτήρων.

Η αλλαγή των δεδομένων της αγοράς ήταν η κύρια αιτία για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών που θα παρήγαγαν επιπλέον βενζίνη χρησιμοποιώντας τα βαρέα κλάσματα (Williams, I., Derry, T., 1993).

2.2.2 Σχηματισμός Πετρελαίου

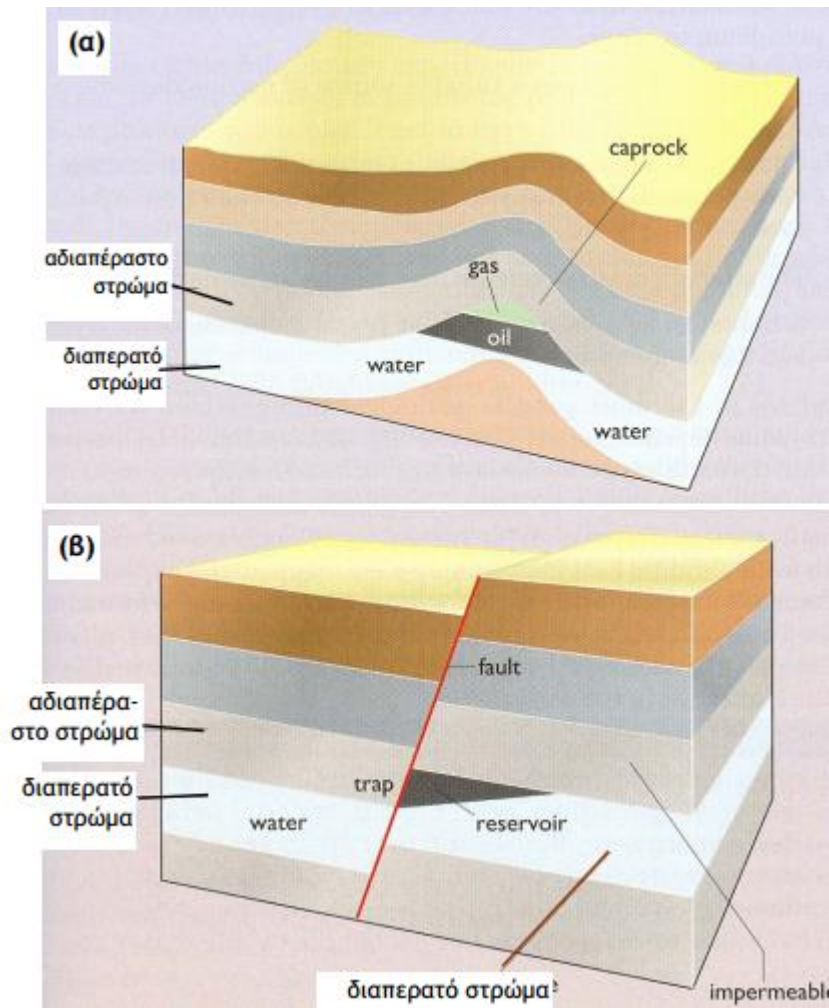
Αν και η προέλευση του πετρελαίου δεν έχει πλήρως διαλευκανθεί, κατά την επικρατέστερη θεωρία, πιστεύεται ότι το πετρέλαιο δημιουργήθηκε κατά την περίοδο πριν από 100-300 εκατομμύρια χρόνια, όταν θαλάσσιοι φυτικοί μικροοργανισμοί (μονοκύτταρα φυτά – φυτοπλαγκτόν) και μονοκύτταροι ζωικοί μικροοργανισμοί (ζωοπλαγκτόν) συσσωρεύτηκαν, εξαιτίας διαφόρων τοπικών συνθηκών, και εγκλωβίστηκαν με τα χρόνια σε υδάτινους ταμιευτήρες (λίμνες, ωκεανούς), σχηματίζοντας μια αναερόβια μαύρη λάσπη. Με το χρόνο το πάχος των θαλάσσιων οργανικών αποθέσεων μεγάλωσε, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης που επενεργούσε επάνω τους. Τα διάφορα στάδια δημιουργίας είναι:

1. **Ανώριμο στάδιο (διαγένεση).** Στο στάδιο αυτό σε σχετικά χαμηλή θερμοκρασία και πίεση και με τη βοήθεια βακτηριακής δράσης δημιουργήθηκε το κηρογόνο (kerogen) και το βιογενές μεθάνιο (biogenic methane), το οποίο συμμετέχει περίπου κατά 20% στα παγκόσμια αποθέματα μεθανίου. Το κηρογόνο συνίσταται από άνθρακα (69-80%), υδρογόνο (7-11%), άζωτο (1,25-2,5%), θείο (1-8%) και οξυγόνο (9-17%).
2. **Ωριμο στάδιο.** Σε μεγαλύτερα βάθη και υψηλότερες θερμοκρασίες και πιέσεις το κηρογόνο μετατράπηκε σε αργό πετρέλαιο και φυσικό αέριο, όταν από το κηρογόνο απομακρύνθηκαν το οξυγόνο και το άζωτο με κάποιο μηχανισμό. Το αρχικό υγρό ήταν μίγμα πετρελαίου και νερού, το οποίο με το χρόνο διαχωρίστηκε για να σχηματιστούν τα κοιτάσματα πετρελαίου.
3. **Μετα-ώριμο στάδιο.** Σε ιδιαίτερα υψηλή θερμοκρασία το αργό πετρέλαιο μετατράπηκε σε φυσικό αέριο πλούσιο σε μεθάνιο.

Επειδή το πετρέλαιο είναι ρευστό, μπορεί να «μεταναστεύσει» μέσα στο υπέδαφος καθώς σχηματίζεται. Απαραίτητη προϋπόθεση για το σχηματισμό μεγάλων και οικονομικά ανακτήσιμων αποθέματων πετρελαίου είναι η παρουσία συγκεκριμένων γεωλογικών σχηματισμών: (α) ενός ταμιευτήρα (ή «λίμνης»- oil pool, reservoir) πετρελαίου και (β) ένα πέτρωμα-κάλυμμα («παγίδα»-oil trap, cap rock) του πετρελαίου. Ένας ταμιευτήρας πετρελαίου χαρακτηρίζεται από υψηλό πορώδες (3-

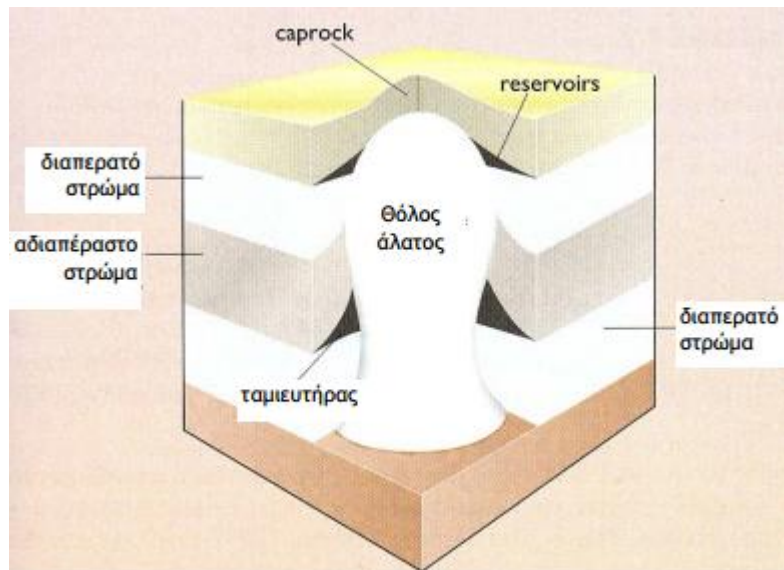
30%) και ικανή διαπερατότητα. Με άλλα λόγια ένας ταμιευτήρας πετρελαίου είναι μια συλλογή σταγόνων πετρελαίου σε ένα αμμώδες ή πορώδες πέτρωμα. Οι υδρογονάνθρακες συσσωρεύονται κυρίως σε πορώδη ψαμμιτικά ή ασβεστολιθικά πετρώματα. Από την άλλη μεριά, μια «παγίδα» πετρελαίου είναι ένα σχηματισμός μη πορώδους πετρώματος που συγκρατεί στη θέση του το πετρέλαιο του ταμιευτήρα. Είναι πράγματι φανερό ότι για να παραμείνουν στη θέση τους το πετρέλαιο και τα συνδεδεμένα αέρια, θα πρέπει να είναι παγιδευμένα έτσι ώστε να μη μεταναστεύσουν ούτε, κυρίως, προς στην επιφάνεια της γης, αλλά ούτε και πλευρικά. Τα πετρώματα-καλύμματα αποτελούνται συνήθως από σχιστόλιθους, αργίλους, ορυκτό αλάτι, γύψο. Τα πετρώματα αυτά θα πρέπει να διαθέτουν πλαστικότητα, έτσι ώστε όταν δέχονται πιέσεις να ρηγματώνονται.

Ταμιευτήρες πετρελαίου μπορούν να σχηματιστούν με διαφορετικούς τρόπους. Το απλούστερο παράδειγμα είναι όταν διαστρωματωμένα ιζηματογενή πετρώματα (layered sedimentary rocks), που περικλείουν και ένα πέτρωμα-κάλυμμα, αναδιπλώνονται σε ένα αντίκλινο (Εικόνα 2.4 α). Τα αντίκλινα θεωρήθηκαν από τους γεωλόγους ως οι καλύτερες περιοχές για αναζήτηση πετρελαίου για περισσότερα από 150 χρόνια, μια που σε τέτοιους γεωλογικούς σχηματισμούς βρίσκεται περίπου το 88% των πόρων πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η κάλυψη ενός πετρώματος που περιέχει πετρέλαιο από πέτρωμα-κάλυμμα μπορεί να γίνει και λόγω συνδυασμού ρηγματών (faults), όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.4 β. Άλλες περιπτώσεις που μπορούν να σχηματιστούν κυρτά ιζηματογενή στρώματα είναι η πτύχωση των ιζημάτων ως προς ένα υψηλό σημείο και ο σχηματισμός τοξωτής κλίνης από την κίνηση προς τα πάνω ενός θόλου άλατος (Εικόνα 2.5). Στον ταμιευτήρα με τα χρόνια τα διάφορα ρευστά κατανέμονται σε σχεδόν οριζόντιες ζώνες ανάλογα με την πυκνότητά τους. Έτσι, το φυσικό αέριο βρίσκεται στο ανώτερο τμήμα του ταμιευτήρα και το αλατούχο νερό (αλμόλοιπο-brine) στο κατώτερο :



Εικόνα 2.4 : Μηχανισμοί δημιουργίας παγίδων πετρελαίου

Τέλος, έχουν προταθεί και θεωρίες για τη μη βιολογική προέλευση των υδρογονανθράκων, θεωρίες που βασίζονται κυρίως στην παρουσία υδρογονανθράκων και σε άλλα σώματα στο κοσμικό μας σύστημα. Μία ένδειξη για τη θεωρία αυτή αποτελεί η ύπαρξη του ισοτόπου ^3He στο φυσικό αέριο και όχι του ^4He , το οποίο επικρατεί στην ατμόσφαιρα (Ανδρίτσος, 2010).



Εικόνα 2.5 : Γεωλογική παράσταση εγκλείσματος πετρελαίου με θόλο άλατος.

2.2.3 Συμβατικό και μη-συμβατικό πετρέλαιο

Το αργό πετρέλαιο βρίσκεται κυρίως εγκλωβισμένο σε πορώδεις ψαμμίτες οι οποίοι καλύπτονται από αδιαπέραστα πετρώματα, όπως παρουσιάζεται στις Εικόνες 2.4 και 2.5. Το αλάτι αποτελεί άριστο αδιαπέραστο στρώμα (μικρό πορώδες, μικροί κόκκοι) και προέρχεται από την εξάτμιση θαλασσινού νερού. Το πετρέλαιο που μπορεί να ανακτηθεί με την πρωτογενή και τη δευτερογενή ανάκτηση ανέρχεται σε ποσοστό 20-40% του συνολικού πετρελαίου που βρίσκεται σε έναν ταμιευτήρα και καλείται «συμβατικό» πετρέλαιο (conventional oil). Το υπόλοιπο ποσοστό που μπορεί εν μέρει να ανακτηθεί με εξειδικευμένες και δαπανηρές μεθόδους καλείται «μη-συμβατικό πετρέλαιο». Στην δεύτερη κατηγορία κατατάσσεται και το πετρέλαιο που μπορεί να ανακτηθεί από τους βιτουμενιούχους σχίστες (shale oil, κοιτάσματα στις δυτικές Η.Π.Α.), από πισσούχους άμμους (tar sands, βρίσκονται στον Καναδά) και από το βαρύ πετρέλαιο. Οι τύποι μη-συμβατικού πετρελαίου σχηματίζονται κατά την μετακίνηση του αργού πετρελαίου προς την επιφάνεια της γης και την απώλεια των ελαφρύτερων και πτητικότερων συστατικών του. (Aggour, M., Abdel – Aal, H.K., Fahim, M.A., 2003)

2.2.4 Σύσταση του αργού πετρελαίου

Το αργό πετρέλαιο είναι ένα ανομοιογενές υγρό που αποτελείται από πληθώρα υδρογονανθράκων. Περισσότερες από 3000 ενώσεις έχουν ταυτοποιηθεί στο αργό πετρέλαιο και περιλαμβάνουν από αέρια, όπως το μεθάνιο, μέχρι και βαριές ασφατικές ενώσεις που δεν αποστάζουν. Η σύστασή του κατά βάρος είναι κατά 80-

87% από άνθρακα (ενώσεις με αριθμό ατόμων C από 5 μέχρι και 100) και κατά 11-16% από υδρογόνο (πολύ μεγαλύτερο ποσοστό από ότι τους άνθρακες), ενώ βρίσκονται σε μικρότερες ποσότητες οξυγόνο (<3%), θείο (<4%) και αζώτο (<1%). Επίσης απαντώνται και πολύ μικρές συγκεντρώσεις (μέχρι 0,1%) μετάλλων, όπως σίδηρος, νικέλιο, χρώμιο, βανάδιο κτλ. Σημειώνεται ότι παρά τις μικρές ποσότητες του θείου και του αζώτου, η παρουσία τους προκαλεί τα γνωστά περιβαλλοντικά προβλήματα με τις εκπομπές οξειδίων θείου και αζώτου. Το αργό πετρέλαιο παρουσιάζει μεγάλες διαφορές σε όλες τις φυσικές ιδιότητές του, εξαιτίας της έντονης διαφοροποίησης της σύστασής του. Το χρώμα του μπορεί να είναι μαύρο, πράσινο ή φαιοκίτρινο. Επίσης η πυκνότητά του και το ιξώδες ποικίλλουν αρκετά. Το σημείο ζέσεως των διαφόρων συστατικών του πετρελαίου κυμαίνεται από -160°C μέχρι 540°C. Οι κυριότερες οργανικές ενώσεις στο αργό πετρέλαιο ανήκουν στις παραφινικές, τις ολεφινικές, τις ναφθενικές και τις αρωματικές σειρές υδρογονανθράκων και περιέχουν συνήθως από πέντε μέχρι είκοσι άτομα άνθρακα. Οι παραφίνες συγκεντρώνονται κυρίως στα χαμηλού σημείου ζέσεως κλάσματα, οι ναφθενικές και οι μονοαρωματικές ενώσεις στα μέσου σημείου ζέσεως κλάσματα, ενώ τα πολυαρωματικά μόνο στα βαριά κλάσματα. Η σύσταση του αργού και, συνεπώς, οι ιδιότητές του εξαρτώνται σημαντικά από την περιοχή από την οποία προέρχεται το κοίτασμα. Τα πετρέλαια που είναι πλούσια σε θείο παρουσιάζουν ιδιαίτερα προβλήματα κατά την επεξεργασία και την αξιοποίησή τους, όπως είναι η διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών, οι οσμές, η χαμηλή απόδοση και οι εκπομπές οξειδίων του θείου.

Οι φυσικές διεργασίες της διύλισης πετρελαίου (κλασματική απόσταξη, απορρόφηση και ψύξη) επηρεάζονται σημαντικά από τις ιδιότητες των υδρογονανθράκων, ενώ οι χημικές διεργασίες (π.χ. αποθείωση, πυρόλυση) επηρεάζονται από την παρουσία του θείου, του αζώτου και του οξυγόνου και από το είδος των υδρογονανθράκων.

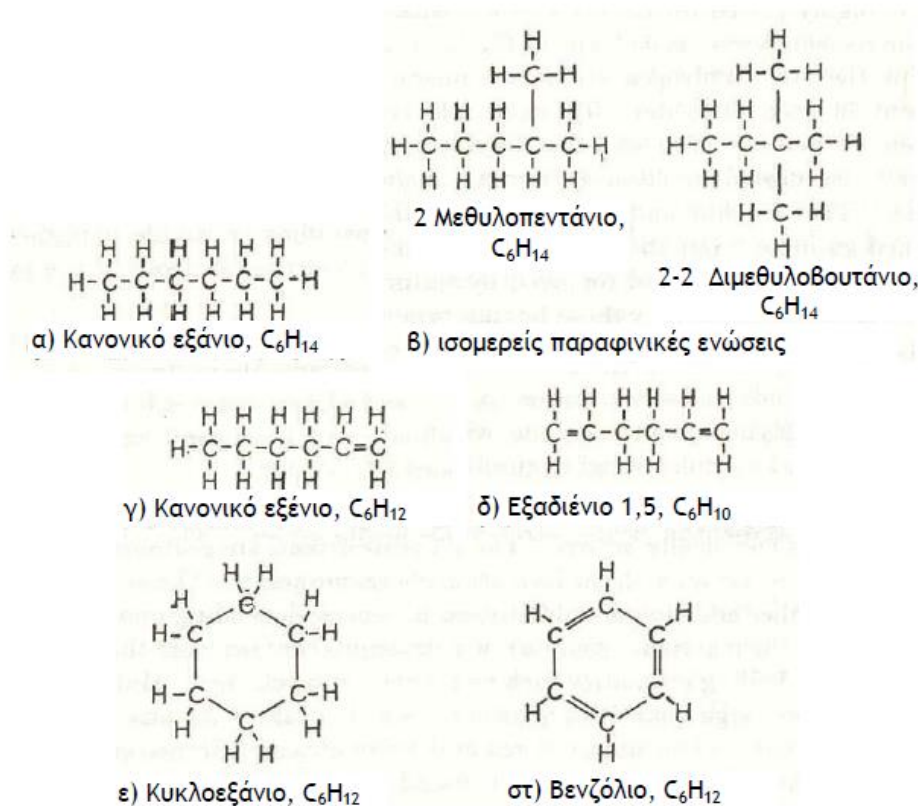
Οι παραφίνες ή αλκάνια είναι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες με χημικό τύπο C_nH_{2n+2} και χαρακτηρίζονται από σταθερότητα. Το όνομα κάθε μέλους της ομάδας αυτής των υδρογονανθράκων έχει κατάληξη -ανιο, όπως το αιθάνιο και το εξάνιο (Εικόνα 2.6 α). Υπάρχουν κανονικές και διακλαδισμένες παραφίνες, όπως το 2-2 διμέθυλοβουτάνιο που παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.6 β. Οι παραφίνες με $n < 5$ βρίσκονται σε αέρια κατάσταση σε συνθήκες περιβάλλοντος, ενώ οι παραφίνες με $n > 15$ είναι ιξώδη (κηρώδη) υγρά. Παραφίνες υπάρχουν σε κάθε αργό πετρέλαιο, αν

και έχει αναφερθεί αργό πετρέλαιο από το Οχάιο (Η.Π.Α.) που δεν περιέχει καθόλου παραφινικά συστατικά. Οι ολεφίνες ή αλκένια (χημικός τύπος C_nH_{2n}) αποτελούν ακόρεστους υδρογονάνθρακες που μπορούν να ενωθούν με άλλα στοιχεία ή ομάδες (Cl, Br, κ.α.). Το όνομα κάθε μέλους της ομάδας αυτής καταλήγει -ένιο, όπως αιθυλένιο και εξένιο (Εικόνα 2.6 γ και δ). Οι ολεφίνες αντιδρούν και διαλύονται στο θειικό οξύ και έτσι μπορούν να απομακρυνθούν από άλλους υδρογονάνθρακες. Οι ελαφρότερες ολεφίνες δεν απαντώνται στο πετρέλαιο, αλλά βρίσκονται στα προϊόντα πυρόλυσης.

Οι ναφθενικές ενώσεις (χημικός τύπος C_nH_{2n}), αν και έχουν τον ίδιο χημικό τύπο με τις ολεφίνες, είναι κυκλικές, κορεσμένες ενώσεις (Εικόνα 2.6 ε). Στην ονομασία προηγείται το πρόθεμα κύκλο- (κυκλοβουτάνιο, κυκλοπεντάνιο, κυκλοεξάνιο). Τα ναφθένια βρίσκονται σχεδόν σε όλα τα είδη πετρελαίου.

Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες (χημικός τύπος C_nH_{2n-6}) είναι ακόρεστοι κυκλικοί υδρογονάνθρακες που αποτελούνται από έναν ή περισσότερους βενζολικούς δακτυλίους (Εικόνα 2.6 στ), και τυπικά αποτελούν παράγωγα του

βενζολίου, . Έχουν χαρακτηριστικό άρωμα και πολλές από αυτές τις ενώσεις έχουν χαρακτηριστεί καρκινογόνες. Οι υδρογονάνθρακες αυτοί είναι ιδιαίτερα επιδεκτικοί στην οξείδωση και παραγωγή οργανικών οξέων. Μερικά πετρέλαια, όπως της Σουμάτρας, είναι πλούσια σε αρωματικά συστατικά (Ανδρίτσος, 2010).



Εικόνα 2.6 : Χημικοί τύποι υδρογονανθράκων.

2.2.5 Ταξινόμηση των πετρελαίων

Το αργό πετρέλαιο ταξινομείται με διάφορους τρόπους. Ο πλέον συνήθης τρόπος αφορά στην ταξινόμησή του σε σχέση με την πυκνότητά του σε μια ορισμένη θερμοκρασία στην κλίμακα $^{\circ}API$, η οποία ορίζεται ως :

$$^{\circ}API = 141,5/\rho - 131,5$$

όπου ρ είναι το ειδικό βάρος του πετρελαίου στους $15,6^{\circ}C$. Έτσι, $^{\circ}API=10$ αντιστοιχεί σε $\rho=1$, όπως παρουσιάζεται και στον Πίνακα 2.3 Τα περισσότερα πετρέλαια ανήκουν στην κατηγορία των ελαφρών και των ενδιάμεσων αργών πετρελαίων. Βαρύτερα πετρέλαια χαρακτηρίζονται ως μη συμβατικά. Ένα ελαφρύ αργό πετρέλαιο παράγει κατά τη διύλισή του πολύ περισσότερα ελαφρά προϊόντα (βενζίνη) και λιγότερα βαριά από ό,τι παράγει ένα βαρύ αργό πετρέλαιο.

	°API	ρ (στους 15,6°C)
Ελαφρύ	>40 ° API	<0,825
Μέσο	30 - 40 ° API	0,825-0,875
Βαρύ	< 30 ° API	0,825- 0,875
Πολύ Βαρύ	< 10 ° API	> 1

Πίνακας 2.3 : Ταξινόμηση του πετρελαίου σε σχέση με την πυκνότητά του.

2.3 Φυσικό Αέριο

2.3.1 Εισαγωγή

Εξ ορισμού, το φυσικό αέριο είναι ένα μίγμα υδρογονανθράκων (και μη καύσιμων αερίων) σε αέρια κατάσταση, το οποίο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο. Συνήθως βρίσκεται σε ξεχωριστούς ταμιευτήρες στο φλοιό της γης ή εν διαλύσει στο πετρέλαιο. Η σύσταση του φυσικού αερίου στην έξοδο της γεώτρησης ποικίλλει σημαντικά τόσο ως προς τα συστατικά, όσο και ως προς τη συγκέντρωση αυτών των συστατικών και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του κάθε ταμιευτήρα.

Το φυσικό αέριο ήταν γνωστό από την αρχαιότητα και αρκετοί αρχαίοι ναοί, κυρίως στη Μέση Ανατολή, κτίστηκαν κοντά σε εκροές φυσικού αερίου. Ακόμη και για τους Δελφούς έχει διατυπωθεί η θεωρία ότι από την Κασταλία πηγή αναδύοταν μεθάνιο. Είναι πιθανόν ότι οι αναφορές του Πλούταρχου (100-125 μΧ) στις «αιώνιες φωτιές» στην περιοχή του σύγχρονου Ιράν να αφορούν στη φυσική διαρροή από το έδαφος και καύση φυσικού αερίου. Υποτυπώδεις γεωτρήσεις φυσικού αερίου είχαν ανορυχθεί στην Ιαπωνία πριν από το 615 μ.Χ., ενώ το 900 μ.Χ. οι Κινέζοι μετέφεραν φυσικό αέριο με σωλήνες από μπαμπού σε μικρές αποστάσεις για να το χρησιμοποιήσουν στην εξάτμιση αλατούχου νερού. Πρακτικά, η σύγχρονη χρήση του φυσικού αερίου ξεκίνησε το 1821 στη Fredonia της Νέας Υόρκης, όπου ανοίχθηκε η πρώτη γεώτρηση φυσικού αερίου, το οποίο χρησιμοποιούνταν για το φωτισμό παρακείμενων οικιών. Η πρώτη βιομηχανική χρήση του φυσικού αερίου έγινε σε χαλυβουργία και υαλουργία στο Πίτσμπουργκ των Η.Π.Α. το 1883. Το 1885 ο

Robert Bunsen εφηύρε ένα σύστημα όπου αναμιγνυόταν φυσικό αέριο και αέρας. Ο «λύχνος Bunsen» κατέδειξε πως μπορεί να παραχθεί αποδοτικά θερμότητα από το φυσικό αέριο (Derry, T. K., Williams, Trevor I. 1993).

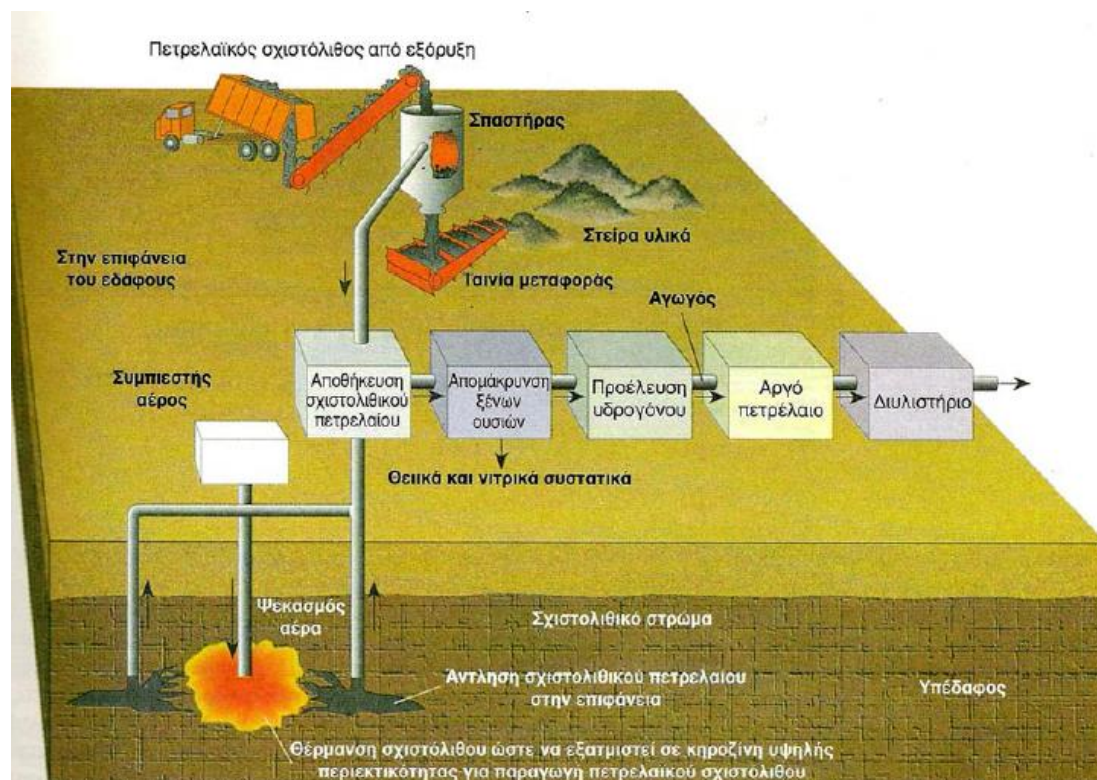
2.3.2 Σχηματισμός Φυσικού Αερίου

Διάφορες διεργασίες οδηγούν στο σχηματισμό του μεθανίου. Γενικά, μεθάνιο σχηματίζεται κατά τη βακτηριακή αποσύνθεση της οργανικής ύλης, όπως συμβαίνει στους σύγχρονους χώρους υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων. Η κυριότερη διεργασία σχηματισμού του είναι ο διαχωρισμός του από το πετρέλαιο. Καθώς το πετρέλαιο θερμάνθηκε σε υψηλές θερμοκρασίες μέσα στο φλοιό της γης, μερικά από τα μακρομόρια του διασπάστηκαν, δημιουργώντας μεθάνιο και άλλους ελαφρούς υδρογονάνθρακες («θερμογενές μεθάνιο»). Όσο βαθύτερα βρισκόταν το πετρέλαιο, τόσο μεγαλύτερος ήταν ο ρυθμός διάσπασης (και παραγωγής μεθανίου) λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών. Στη ουσία, σε εξαιρετικά μεγάλα βάθη όλοι οι υδρογονάνθρακες έχουν διασπαστεί σε αέρια και εκεί βρίσκουμε βασικά μόνο φυσικό αέριο. Τα μεγαλύτερα και πιο εμπορεύσιμα κοιτάσματα φυσικού αερίου έχουν σχηματιστεί με αυτό τον τρόπο.

Κατά τη διάρκεια του σχηματισμού των γαιανθράκων, η αυξανόμενη συμπύκνωση δακτυλίων ατόμων άνθρακα σε μεγαλύτερα συστήματα δακτυλίων μπορεί να συνοδευτεί με την απόσπαση μεμονωμένων ατόμων άνθρακα με τη μορφή του μεθανίου. Υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για το εγκλωβισμένο μεθάνιο σε κοιτάσματα άνθρακα ως μια νέα πηγή μεθανίου. Το φυσικό αυτό αέριο ονομάζεται μεθάνιο από κλίνες άνθρακα (coalbed methane). Η εκμετάλλευση τέτοιων κοιτασμάτων είναι σημαντική διότι παρέχει μια νέα πηγή μεθανίου και μειώνει τον κίνδυνο συγκέντρωσης μεθανίου στις υπόγειες στοές άνθρακα. Το μεθάνιο είναι εξαιρετικά εύφλεκτο και τυχαία ανάφλεξη του μεθανίου μπορεί να έχει πολύ θλιβερά αποτελέσματα.

Φυσικό αέριο βρίσκεται μέσα στο φλοιό τη γης μαζί με το πετρέλαιο, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.7. Το μεθάνιο αυτό αναφέρεται ως συνδεδεμένο μεθάνιο (associated gas). Σε πολύ υψηλές πιέσεις, το φυσικό αέριο μπορεί να διαλυθεί μέσα στο πετρέλαιο, οπότε αυτό αναφέρεται ως διαλυμένο φυσικό αέριο (dissolved gas). Το αέριο αυτό ελευθερώνεται καθώς το πετρέλαιο έρχεται στην επιφάνεια. Είναι επίσης πιθανόν ένας θύλακας φυσικού αερίου να βρίσκεται ως μια

γιγαντιαία φυσαλίδα πάνω από έναν ταμιευτήρα πετρελαίου. Σε αυτήν την περίπτωση καλείται φυσικό αέριο από θύλακα αερίου (gas cap gas).



Εικόνα 2.7 : Υπόγειες και επιφανειακές μέθοδοι παραγωγής συνθετικού πετρελαίου από αποθέματα πρισούχου σχίστη (Tyler-Miller, 1999).

Το φυσικό αέριο μπορεί ακόμα να μεταναστεύσει μακριά από το πετρέλαιο και να παγιδευτεί μόνο του κάτω από ένα αδιαπέραστο πέτρωμα σε ένα άλλο ανεξάρτητο θύλακα. Σε αυτή την περίπτωση ονομάζεται μη-συνδεδεμένο αέριο (non-associated gas). Περίπου το 65% του φυσικού αερίου που ανακτάται στις Η.Π.Α. ανήκει σε αυτήν την κατηγορία.

2.3.3 Ιδιότητες του φυσικού αερίου

Το φυσικό αέριο κυρίως αποτελείται από μεθάνιο CH_4 , ένα άχρωμο και άοσμο, μη τοξικό αέριο. Συνήθως περιέχει και μικρές ποσότητες από άλλους ελαφρούς υδρογονάνθρακες (αιθάνιο, προπάνιο και βουτάνιο) και, σπάνια, σε ακόμη μικρότερες συγκεντρώσεις πεντάνιο και εξάνιο. Σε κανονικές θερμοκρασίες οι δύο τελευταίοι υδρογονάνθρακες είναι υγροί με χαμηλό σημείο ζέσεως. Όμως σε στις υψηλές θερμοκρασίες που απαντούν μέσα στη γη, είναι σε αέρια κατάσταση και αποτελούν τμήμα του φυσικού αερίου. Εκτός από υδρογονάνθρακες, τα φυσικό αέριο

μπορεί να περιέχει διάφορα ανόργανα συστατικά, όπως άζωτο, αργό, ήλιο, διοξείδιο του άνθρακα και υδρόθειο. Η σημαντική πρόοδος στις αναλυτικές συσκευές έχει κάνει δυνατή την ανίχνευση πολλών άλλων συστατικών σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Έχουν ανιχνευθεί υδράργυρος και ενώσεις αρσενικού σε επίπεδα συγκέντρωσης ppb.

Το φυσικό αέριο συχνά χαρακτηρίζεται από την παρουσία ή απουσία συγκεκριμένων συστατικών. Έτσι έχουμε τους χαρακτηρισμούς:

- 1. Υγρό αέριο (wet)** : συνήθως το μη επεξεργασμένο αέριο που περιέχει συμυκνώσιμους υδρογονάνθρακες (προπάνιο, βουτάνιο). Το φυσικό αέριο γίνεται περισσότερο «υγρό», καθώς αυξάνει το βάθος από το οποίο προέρχεται.
- 2. Ξηρό αέριο (dry)** : όταν δεν περιέχει συμυκνώσιμους υδρογονάνθρακες και έχει απομακρυνθεί το νερό.
- 3. Οξινό αέριο (sour)** : όταν περιέχει CO_2 (σε ποσοστό >2%), υδρόθειο και άλλες ενώσεις θείου, σε συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν συγκεκριμένα όρια.
- 4. Γλυκό αέριο (sweet)** : όταν περιέχει CO_2 σε μικρές συγκεντρώσεις (<2%), ενώ οι συγκεντρώσεις του υδροθείου και άλλων ενώσεων θείου είναι μικρότερες από κάποια όρια.

Είναι προφανές και επιθυμητό ένα φυσικό αέριο να είναι ισχνό, ξηρό και γλυκό. Εάν δεν έχει αυτές τις ιδιότητες το φυσικό αέριο, τότε υφίσταται επεξεργασία ώστε να αποκτήσει αυτές τις ιδιότητες πριν οδηγηθεί στην κατανάλωση. Τυπικές συστάσεις και χαρακτηρισμός φυσικού αερίου δίδονται στον Πίνακα 2.4 , ενώ στον Πίνακα 2.5 παρουσιάζονται οι τυπικές αναλύσεις φυσικού αερίου από Αλγερία και Ρωσία, χώρες από τις οποίες η χώρα μας προμηθεύεται το φυσικό αέριο.

Το ποσοστό κάθε συστατικού στο φυσικό αέριο μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη λειτουργία μίας διεργασίας επεξεργασίας του φυσικού αερίου, τη μέτρηση της παροχής (και επομένως το κόστος αγοράς του καυσίμου), και, πάνω από όλα, τον καταναλωτή. Για το λόγο αυτόν καθορίζονται συνήθως προδιαγραφές της σύστασης του φυσικού αερίου. Αν και δεν υπάρχουν διεθνώς αποδεκτές προδιαγραφές του φυσικού αερίου που διατίθενται την αγορά, προδιαγραφές που ισχύουν στις Η.Π.Α. για ορισμένα συστατικά παρατίθενται στον Πίνακα 2.6 . Εκτός από αυτές τις προδιαγραφές, υπάρχουν και μερικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν τη

συμπεριφορά καύσης του φυσικού αερίου, όπως είναι ο δείκτης της κίτρινης φλόγας και ο αριθμός ή δείκτης Wobbe (Ανδρίτσος, 2010).

	Rio Arriba, N. Mexico, Η.Π.Α.	Terrel County, Τέξας, Η.Π.Α.	Stanton County, Kansas, Η.Π.Α.	San Juan, N. Mexico, Η.Π.Α.	Olds Field, Alberta, Καναδάς
Συστατικό, mol%					
CH ₄	96,91	46,64	67,56	77,28	52,34
C ₂ H ₆	1,33	0,21	6,23	11,18	0,41
C ₃ H ₈	0,19	-	3,18	5,83	0,14
C ₄ H ₁₀	0,05	-	1,42	2,34	0,16
≥C ₅ H ₁₂	0,02	-	0,40	1,18	0,41
CO ₂	0,82	53,93	0,07	0,80	8,22
H ₂ S	-	0,01	-	-	35,79
N ₂	0,68	0,21	21,14	1,39	2,53
Χαρακτηρισμός					
υγρό			✓	✓	
ξηρό	✓	✓			✓
γλυκό	✓		✓	✓	
όξινο		✓			✓
Θερμογόνος δύναμη, MJ/m ³	37,6	17,3	34,9	46,8	30,0
Σχετική πυκνότητα	0,574	1,077	0,733	0,741	0,882

Πίνακας 2.4 : Συστάσεις φυσικού αερίου από την Βόρειο Αμερική (Πηγή: Kirk & Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Vol. 12, 1997).

Συστατικό, mol %	Ρωσία	Αλγερία
CH ₄	98,0	91,2
C ₂ H ₆	0,6	6,5
C ₃ H ₈	0,2	1,1
C ₄ H ₁₀	0,2	0,2
C ₅ H ₁₂	0,1	-
N ₂	0,8	1,0
H ₂ S	-	-
CO ₂	0,1	-

Πίνακας 2.5 : Συστάσεις φυσικού αερίου από τη Ρωσική Δημοκρατία και την Αλγερία (Πηγή: ΔΕΠΑ, 1997).

Χαρακτηριστικό	Προδιαγραφή
Περιεκτικότητα σε νερό, mg/m ³	64-112
Υδρόθειο, mg/m ³	5,7
Μέση θερμογόνος δύναμη, MJ/m ³	35,4
Σημείο δρόσου υδρογονανθράκων σε πίεση 5,5 MPa, K	264,9
Μερκαπτάνες, mg/m ³	4,6
Ολικό θείο, mg/m ³	23-114
Διοξείδιο του άνθρακα, mol %	1-3
Οξυγόνο, mol %	0-0,4

Πίνακας 2.6 : Προδιαγραφές φυσικού αερίου σε αγωγούς διανομής στις Η.Π.Α.
(Πηγή: Kirk & Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Vol. 12, 1997).

3. Εντοπισμός των Υποθαλάσσιων Ενεργειακών Πόρων

3.1 Αργό Πετρέλαιο

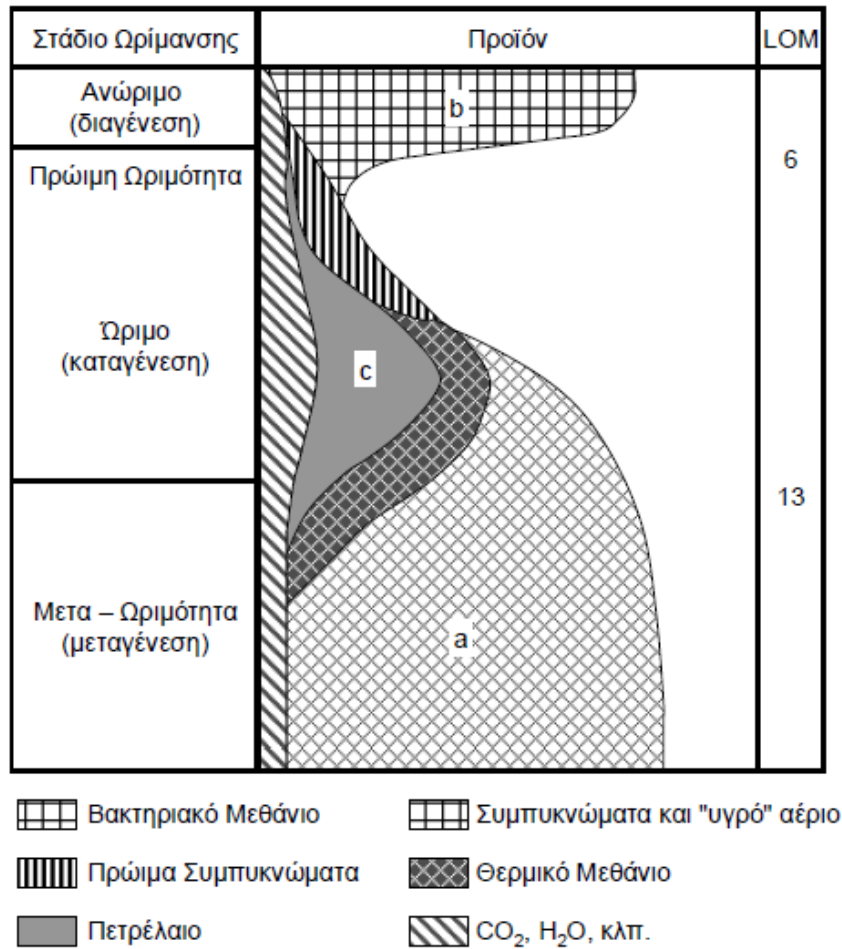
Αργό πετρέλαιο είναι το όνομα που έχει δοθεί σε όλα τα οργανικά συστατικά που είναι σε υγρή μορφή στις συνθήκες του κοιτάσματος. Μπορούν να στερεοποιηθούν εν μέρει στην επιφάνεια λόγω εκτόνωσης και ψύξης. Το πετρέλαιο είναι ένα μίγμα υδρογονανθράκων σε κυμαινόμενες αναλογίες που συνοδεύονται από συστατικά που περιέχουν ετεροάτομα όπως θείο, οξυγόνο, άζωτο και φωσφόρος. Συστατικά σε μικρότερες αναλογίες είναι πορφυρίνες, μεταλλικά συστατικά που δημιουργούν τέφρα (συνήθως σουλφίδια βαναδίου, νικελίου, χαλκού, κοβαλτίου μολυβδαινίου, μολύβδου, χρωμίου και αρσενικού), καθώς και ανόργανα άλατα, υδρόθειο και – ως τυπικό συστατικό του αργού πετρελαίου – νερό σε διάφορα ποσοστά. Οι διαφέρουσες αναλογίες ανάμιξης των συστατικών έχουν ως αποτέλεσμα διαφοροποιήσεις στις φυσικές και χημικές ιδιότητες. Τα βασικά συστατικά του πετρελαίου είναι παραφίνες, ναφθένια και αρωματικά. Σε μερικές περιπτώσεις υπάρχουν και προϊόντα οξείδωσης όπως τερπένια, ναφθενικά οξέα και φαινόλες. Ανάλογα με το πιο είναι το κύριο συστατικό γίνεται διάκριση μεταξύ αργών πετρελαίων παραφινικής βάσης και αργών πετρελαίων ναφθενικής ή ασφαλτούχου βάσης. Εάν σε ένα αργό πετρέλαιο περιέχονται και οι δύο τύποι υδρογονανθράκων σε υπολογίσιμες αναλογίες, τότε

ονομάζεται αργό πετρέλαιο μικτής βάσης. Η αναλογία των αργών πετρελαίων σε παγκόσμια βάση περιλαμβάνει πάνω από 30% παραφίνες, τουλάχιστον 40% ναφθένια, και περίπου 25% αρωματικά. Τα ναφθενικής βάσης πετρέλαια – που περιέχουν ρητινούχα και ασφαλτικά συστατικά – βρίσκονται συχνά στα ανώτερα στρώματα του φλοιού της Γης, τα μικτής βάσης στα μεσαία στρώματα, ενώ τα παραφινικής βάσης πετρέλαια στα βαθύτερα στρώματα.

Για δεκαετίες, το αργό πετρέλαιο χρησιμοποιείται κυρίως ως πρώτη ύλη για την παραγωγή καυσίμων κινητήρων, λιπαντικών, και καυσίμων θερμικών εγκαταστάσεων. Η χημική βιομηχανία χρησιμοποιεί επίσης το πετρέλαιο ως πρώτη ύλη για την παραγωγή διαφόρων προϊόντων (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).

3.1.1 Σχηματισμός Κοιτασμάτων

Ο σχηματισμός κοιτασμάτων είναι η συγκέντρωση άπειρου αριθμού σταγονιδίων πετρελαίου που σχηματίζονται στα μητρικά πετρώματα και στη συνέχεια απομακρύνονται από αυτά σε οικονομικά αξιοποιήσιμες συσσωρεύσεις. Ο σχηματισμός κοιτασμάτων είναι το αποτέλεσμα της μετανάστευσης του πετρελαίου. Τα σωματίδια του πετρελαίου μεταναστεύουν από τα αργιλικά μητρικά πετρώματα σε πορώδη ταμιευτήρια πετρώματα που βρίσκονται συνήθως σε υψηλότερο επίπεδο (χαμηλότερο βάθος). Κατά τη διάρκεια αυτής της μετανάστευσης πραγματοποιείται σημαντική κλασμάτωση του αργού πετρελαίου ως αποτέλεσμα εκλεκτικής διήθησης, προσρόφησης και συμπύκνωσης (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).



Εικόνα 3.1 : Γενικό σχήμα σχηματισμού υδρογονανθράκων (LOM = επίπεδο οργανικού μετασχηματισμού a) Όλοι οι τύποι κηρογόνου, b) Βακτηριακό μεθάνιο, κυρίως κηρογόνο τύπου III, c) Κυρίως κηρογόνο τύπων I + II.

3.1.2 Μετανάστευση

Σε πολλές περιπτώσεις η πραγματική συγκέντρωση του σχηματισμού του αποθέματος συμβαίνει μόνο μέσω μετανάστευσης στα στρώματα ή οριζόντιας δευτερογενούς μετανάστευσης, π.χ. μέσω διακίνησης και συσσώρευσης εντός του διαπερατού ορίζοντα του ταμιευτήρα. Κατά τη διάρκεια της μετανάστευσης, το πετρέλαιο υπόκειται σε ιδιαίτερη άνωση σε σχέση με το νερό του ταμιευτήρα, λόγω της χαμηλότερης πυκνότητάς τους. Το πετρέλαιο επομένως συγκεντρώνεται στις υψηλότερες ζώνες του ταμιευτήρα, οι οποίες στεγανοποιούνται από υπερκείμενα στρώματα άμμου και άλατος. Με δεδομένο ότι ο βαρυτικός διαχωρισμός δεν παρεμποδίζεται από τις τριχοειδείς δυνάμεις λόγω της μικρής διαμέτρου των πόρων,

το μέτωπο του νερού περιορίζει τη στήλη του πετρελαίου προς το κάτω μέρος του ταμιευτήρα (επαφή νερού – πετρελαίου).

Πιθανά ταμιευτήρια πετρώματα είναι διαπερατοί και πορώδεις αμμόλιθοι και ασβεστόλιθοι. Η ποιότητα των ταμιευτήριων πετρωμάτων προσδιορίζεται εκτός από το πορώδες τους και από τη διαπερατότητα, η οποία είναι αποφασιστικής σημασίας για την παραγωγική δυναμικότητα των πετρωμάτων.

Τα κοιτάσματα πετρελαίου μπορούν να υπάρχουν σε όλους τους γεωλογικούς σχηματισμούς από το Κάμβριο και μετά, υπό την προϋπόθεση ότι είναι διαθέσιμα ταμιευτήρια πετρώματα, σε γειτονία ή υποκείμενα μητρικά πετρώματα κατάλληλης ωριμότητας. Επίσης τα ταμιευτήρια πετρώματα πρέπει να έχουν δομικές παγίδες από τα υπερκείμενα στεγανοποιητικά στρώματα όπως πηλός και στρώμα άλατος. Είναι επίσης σημαντικό οι δομικές παγίδες να υπήρχαν στο χώρο κατά τη διάρκεια του σχηματισμού και να έχουν παραμείνει κατά τη διάρκεια εξέλιξης των γεωλογικών περιόδων (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).

3.1.3 Ταμιευτήρια Πετρώματα

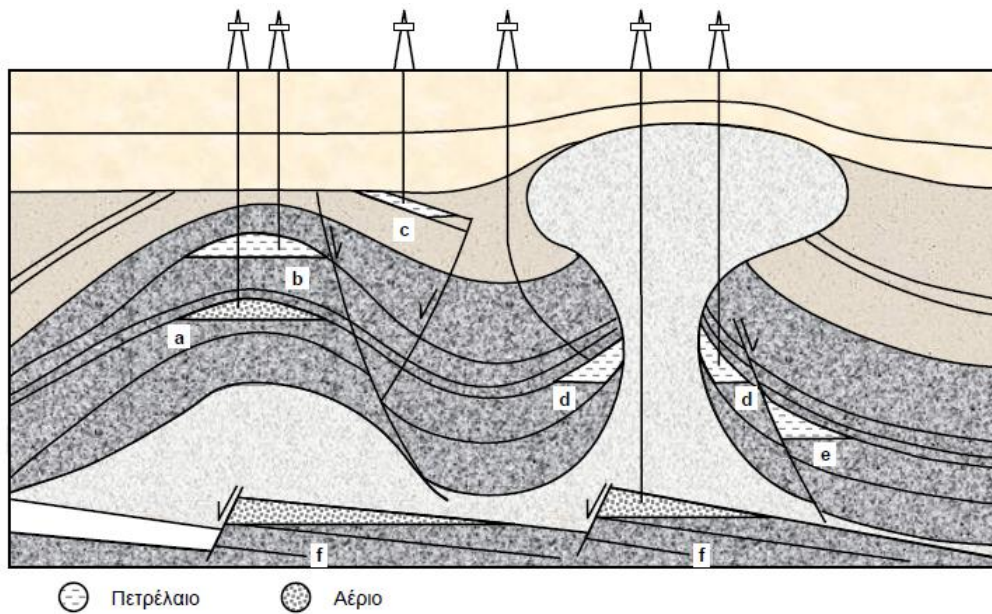
Η ποιότητα των αποθεμάτων επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των ταμιευτήριων πετρωμάτων. Τα καλά ταμιευτήρια πετρώματα έχουν υψηλό πορώδες, άρα μπορούν να χωρέσουν σημαντική ποσότητα υδρογονανθράκων. Τέτοιου είδους πετρώματα είναι κυρίως αμμώδη πετρώματα όπως ξηρή άμμος (wind-blown sand), ποταμίσια άμμος (fluvial sands) προσχωματικές αποθέσεις (alluvial fans), άμμοι θαλάσσης (beach and barrier sands) άμμοι πυθμένα θαλασσών (marine platform sands), και άμμοι βαθιάς θάλασσας (deep-water sands).

Τα ανθρακικά ταμιευτήρια στρώματα μπορεί να είναι πολύ διαφορετικής ποιότητας. Έτσι ύφαλοι (reefs) ή ασβεστολιθικοί ύφαλοι (reef limestone debris) μπορούν να έχουν άριστες ταμιευτήριες ιδιότητες, αλλά κυρίως είναι μειωμένης έκτασης και μεταβλητής ποιότητας. Οι σχηματισμοί κιμωλίας (chalk) έχουν μέτρια ποιότητα ως ταμιευτήρια πετρώματα. Λόγω της χαμηλής τους διαπερατότητας, αυτά τα κοιτάσματα μπορεί να είναι οικονομικά αξιοποιήσιμα μόνο σε συνδυασμό με πολύ λεπτές ρηγματώσεις (Aggour, M., Abdel – Aal, H.K., Fahim, M.A., 2003).

3.1.4 Δομικές Παγίδες

Ο τύπος των δομικών παγίδων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις τεκτονικές μεταβολές του φλοιού της Γης τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι μετακινήσεις στα όρια των τεκτονικών πλακών οδηγούν σε μια ποικιλία σχημάτων παραμόρφωσης με μια ποικιλία δομικών φαινομένων ως αποτέλεσμα των δυνάμεων σύνθλιψης και εκτόνωσης. Επομένως οι δομές μπορεί να είναι διαφόρων διαστάσεων και σχημάτων. Οι βασικές δομικές παγίδες μπορούν επίσης να συνυπάρχουν.

Οι τύποι των δομικών παγίδων που μπορούν να παγιδεύσουν πετρέλαιο και φυσικό αέριο μπορεί να είναι πολύ διαφορετικής προέλευσης (Εικόνα 3.2). Υπάρχουν αντίκλινα (a), κλίσεις, ρήγματα (d), έμβολα άλατος, και παράταιρες επικαλύψεις και μερικές φορές διαφοροποιήσεις σε συν-ιζηματικές που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της εναπόθεσης των στρωμάτων. Παρεμποδιστές της διαπερατότητας, που προκύπτουν ως αποτέλεσμα δευτερογενούς ανακρυστάλλωσης ή σχηματισμού νέων ορυκτών στους πόρους, οριζόντια φραγή του ταμιευτήρα σε με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργηθεί μια ειδική επιφάνεια ταμιευτήρα. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί συχνά σε συνδυασμό με ρήγματα. Οι πιο σημαντικές τεκτονικές παγίδες είναι τα αυχενικού σχήματος αντίκλινα και επίπεδες, ωοειδείς δομές, καθώς επίσης και μονόκλινα που προκύπτουν από αντίθετα ρήγματα. Οι ταμιευτήρες σε συνδυασμό με γεωλογικές παγίδες έχουν συνήθως τοξοειδή δομή στη μετωπική ζώνη και είναι μερικές φορές διατεταγμένοι, οπότε είναι γνωστοί ως ανεστραμμένες δομές. Οι πρώτοι ταμιευτήρες που ανακαλύφθηκαν ήταν συνδυασμένοι με θόλους άλατος (d), όπου είναι πιθανοί διάφοροι τύποι δομικών παγίδων στα άκρα και στο επάνω μέρος του θόλου. Στην περίπτωση των ασύμφωνων ταμιευτήρων (c), οι πορώδεις οριζόντες φράσσονται έπειτα από την κλίση και μερική απομάκρυνση των νεότερων αποθέσεων. Άλλες τυπικές εκφράσεις ταμιευτήρων είναι οι ύφαλοι (b), που είναι κυρίως κοραλλιογενείς, καθώς επίσης και παγίδες που έχουν προκύψει π.χ. από την αργιλίωση του αμμόλιθου με χαρακτηριστικά ταμιευτήρα. Επιπρόσθετα, υπάρχει μια ομάδα ειδικών μορφών και συνδυασμένων τύπων ταμιευτήρων. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, είναι κοινό οι πορώδεις οριζόντες του ταμιευτήρα να καλύπτονται και να φράσσονται από αργιλούχα πετρώματα και στρώματα άλατος (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).



Εικόνα 3.2 : Σημαντικότεροι τύποι ταμιευτήρων και δομικές παγίδες α) Κάτω και άνω δομή (αντίκλινο), b) κοραλλιογενής ύφαλος, c) Κάτω από υπερκείμενο στρώμα (ασύμφωνος), d) Σε θόλο άλατος, e) Σε σύμμορφο κατωφερές ρήγμα, f) Σ ανάστροφο κατωφερές ρήγμα.

3.1.5 Έρευνα για Πετρέλαιο

Οι πιθανότητες ύπαρξης πετρελαίου ή φυσικού αερίου σε μια ιζηματογενή λεκάνη πρέπει να επιβεβαιωθούν με ερευνητικά φρέατα. Το κόστος των φρεάτων – που αυξάνει εκθετικά με το βάθος, τις ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες και τα συνεχώς αυξανόμενα κόστη εξοπλισμού και προσωπικού – απαιτούν πριν τη διάνοιξη έντονη και δαπανηρή επιστημονική εξερεύνηση. Η εξερεύνηση απαιτεί ειδικότητες όπως γεωλόγους, γεωφυσικούς και γεωχημικούς. Μετά τον υπολογισμό του επενδυτικού ρίσκου πρέπει να γίνουν υπολογισμοί ως προς τη συνολική βιωσιμότητα του κοιτάσματος και τις πιθανότητες αποπληρωμής του έργου. Παρά την όλη προετοιμασία, η πιθανότητα διάνοιξης ξηρού φρέατος παραμένει υψηλή. Ο λόγος των παραγωγικών προς τα ξηρά φρέατα κυμαίνεται από 1:8 έως 1:6, και δεν έχει βελτιωθεί σημαντικά από τη δεκαετία του '50. Είναι επομένως απαραίτητο να ανακατασκευαστούν οι συνθήκες σχηματισμού των υδρογονανθράκων σε χρονολογικό και γεωγραφικό πλαίσιο, και να ελεγχθεί κατά πόσο τα ταμιευτήρια

πετρώματα είναι σε θέση να παγιδεύσουν πετρέλαιο ή αέριο. Η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης είναι το κύριο στοιχείο της σύγχρονης εξερεύνησης και κρίσιμο σχεδόν για κάθε φρέαρ. Αυτή η μέθοδος είναι σε συνεχή χρήση και ανάπτυξη για πάνω από τέσσερις δεκαετίες. Σε μια ήδη γνωστή περιοχή – πέρα από μελέτες για τις γεωλογικές δομές και το πάχος της ακολουθίας πετρωμάτων – η έρευνα ξεκινά με μετρήσεις σεισμικής ανάκλασης. Σε αντίθεση, σε περιοχές με μικρή γεωλογική εξερεύνηση, ή με λεκάνες μεγάλου βάθους, οι μετρήσεις αυτές αποτελούν το τέλος της γεωφυσικής προετοιμασίας (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).

3.1.6 Γεωλογική Έρευνα

Σε περιοχές με χαμηλή εξερεύνηση, και κυρίως στην ξηρά, η επιφανειακή γεωλογική έρευνα χρησιμοποιείται για την πρώτη αξιολόγηση και πιθανή οριοθέτηση προσδόκιμων ή μη προσδόκιμων. Η προϋπόθεση είναι εν μέρει η στρατιγραφική ακολουθία να εξέχει εν μέρει τουλάχιστον στην επιφάνεια και να είναι προσπελάσιμη. Στη δεκαετία του '80 ο αριθμός των προσδόκιμων ιζηματογενών λεκανών ήταν 700 περίπου. Από αυτές οι 350 είναι τουλάχιστον εν μέρει εξερευνημένες. Στις υπόλοιπες ιζηματογενείς λεκάνες, έχουν γίνει προκαταρκτικές γεωλογικές έρευνες, οι οποίες επιτρέπουν την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς τη φύση και το πάχος των ιζημάτων. Με τη χρήση δορυφορικών φωτογραφιών υπάρχουν ακριβείς χάρτες για όλα τα μέρη του πλανήτη, στους οποίους οι γεωλόγοι εισάγουν τα ευρήματά τους. Όταν τα στοιχεία συμπληρωθούν από γεωλογικές μελέτες πεδίου, χρησιμοποιούνται για τη διατύπωση πιο αξιόπιστων απόψεων ως προς το πάχος, τη μορφή και την ηλικία των πετρωμάτων. Εάν τα αποτελέσματα των ερευνών πεδίου δείξουν ότι υπάρχουν τα κριτήρια για προσδόκιμο κοίτασμα πετρελαίου, είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν ειδικές εξετάσεις δειγμάτων πετρώματος σε συνδυασμό με στρατιγραφική διερεύνηση ώστε να εντοπίσουν τα μητρικά και τα ταμιευτήρια πετρώματα, και να συλλέξουν στοιχεία για ύπαρξη πηλού ή άλλων συστατικών απαραίτητων για τη φραγή του ταμιευτήρα. Η ύπαρξη πετρελαίου ή αερίου καθώς και ιχνών ασφάλτου στα πετρώματα δεν επαρκούν για να προβλέψουν την ύπαρξη κοιτασμάτων πετρελαίου. Τα ίχνη ασφάλτου μπορούν να θεωρηθούν ένδειξη σχηματισμού και μετανάστευσης πετρελαίου (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).

3.1.7 Γεωφυσική Έρευνα

3.1.7.1 Μη Σεισμικές Μέθοδοι

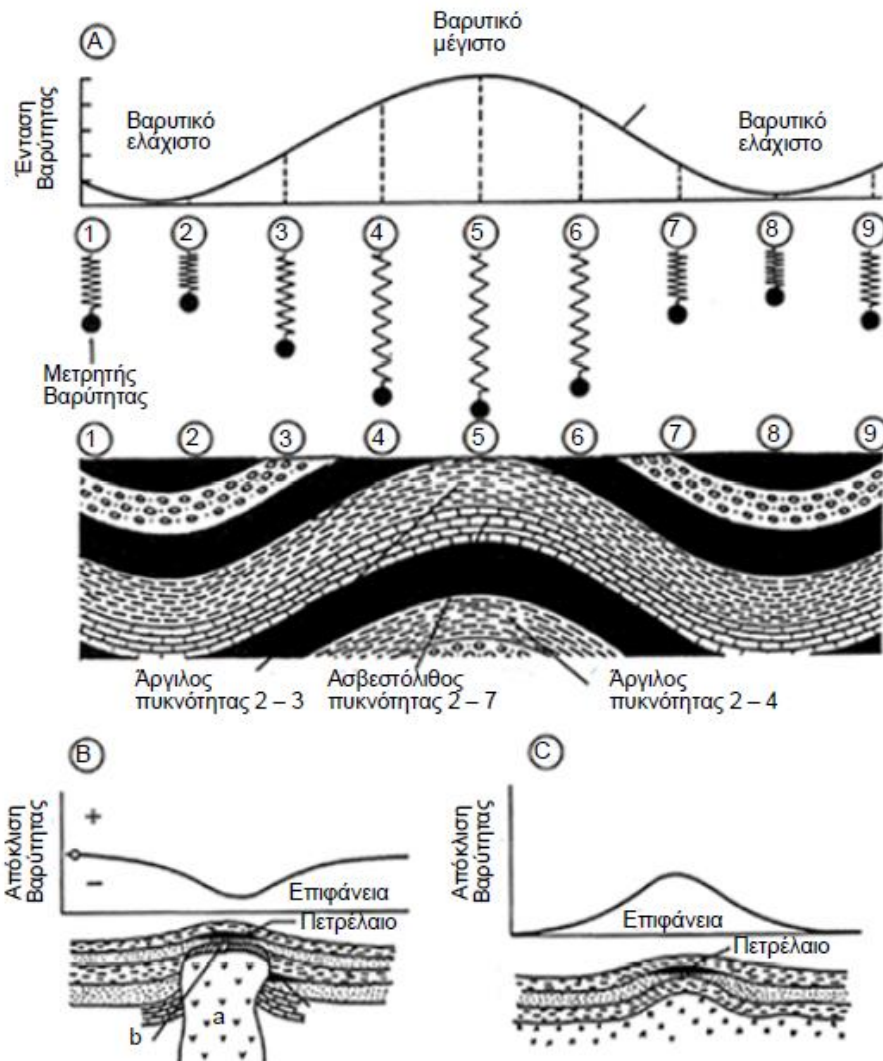
Οι μη σεισμικές γεωφυσικές μέθοδοι περιλαμβάνουν ηλεκτρικές, μαγνητικές και βαρυτικές μεθόδους. Χρησιμοποιούνται είτε από μόνες, είτε σε συνδυασμό, για την πρώτη εξερεύνηση των ιζηματογενών λεκανών. Επειδή οι βαρυτικές και οι μαγνητικές μετρήσεις μπορούν να γίνουν από αεροπλάνο, αποτελούν γρήγορες και φθηνές μεθόδους εξερεύνησης.

Μαγνητικές Μετρήσεις. Οι μετρήσεις αυτές βασίζονται στη διαφορετική μαγνητική διαπερατότητα των πετρωμάτων, η οποία εξαρτάται από την περιεκτικότητά τους σε μαγνητικά υλικά (αιματίτης, ιλμενίτης). Η κρυσταλλική βάση δεν προκαλεί καμία ανωμαλία λόγω της ομοιόμορφης κατανομής των μαγνητικών υλικών μέσα σε αυτήν. Από την άλλη πλευρά, τα ιζήματα διαφέρουν ως προς τη μαγνητική διαπερατότητα ανάλογα με την αναλογία αυτών των μεταλλευμάτων στα στρώματα. Οι αλλαγές στο μαγνητικό πεδίο της Γης καταγράφονται με τη βοήθεια μαγνητομέτρων και δίνουν ενδείξεις για το σχήμα και το βάθος των κρυσταλλικών βάσεων ή ηφαιστειακών ή μαγματικών ενδογενών πετρωμάτων. Στη βασική τους έκδοση τα όργανα μέτρησης είναι πηνία μέσω των οποίων περνά ρεύμα. Το εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο επηρεάζεται από το γήινο μαγνητικό πεδίο, και όποια ανωμαλία προκύψει καταγράφεται.

Βαρυτικές Μετρήσεις. Οι βαρυτικές μετρήσεις χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν μεταβολές στο πεδίο βαρύτητας της Γης. Λόγω της διαφορετικής πυκνότητας των πετρωμάτων, στρώματα χαμηλής πυκνότητας όπως αλατούχα πετρώματα αποκλίνουν προς τα κάτω, ενώ στρώματα υψηλής πυκνότητας όπως ηφαιστειογενή ή χαλαζίες αποκλίνουν προς τα πάνω. Ως αποτέλεσμα μπορούν να ανιχνευθούν μεγάλοι σχηματισμοί ομοειδών πετρωμάτων που έχουν εκτοπιστεί τεκτονικά λόγω ρηγμάτων. Το τυπικό όργανο μέτρησης είναι ένα ελατήριο ισορροπίας, η αλλαγή μήκους του οποίου είναι ανάλογη της πυκνότητας των πετρωμάτων (Εικόνα 3.3). Η αλλαγή μήκους καταγράφεται και αντιστοιχείται σε μεταβολή βαρύτητας. Η από αέρα βαρυτική σε συνδυασμό με μαγνητική έρευνα είναι μια γρήγορη και φθηνή μέθοδος αναγνωριστικής έρευνας για εξερεύνηση πετρελαίου πάνω από μεγάλες επιφάνειες.

Οι βαρυτικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων προβλημάτων. Η χρήση μοντέλων υπολογιστών έχει επιτρέψει σημαντικά βελτιωμένα αποτελέσματα. Οι βαρυτικές μέθοδοι είναι ένας σημαντικός

τρόπος ανίχνευσης ταμιευτήρων πετρελαίου στα πλάγια θόλων άλατος, για τον καθορισμό του προγράμματος γεωτρήσεων, καθώς και για την ερμηνεία δεδομένων σεισμικής έρευνας κοντά σε θόλους άλατος, όπου οι ανακλάσεις διαταράσσονται από το αλάτι για τον σωστό καθορισμό των ορίων του άλατος (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).

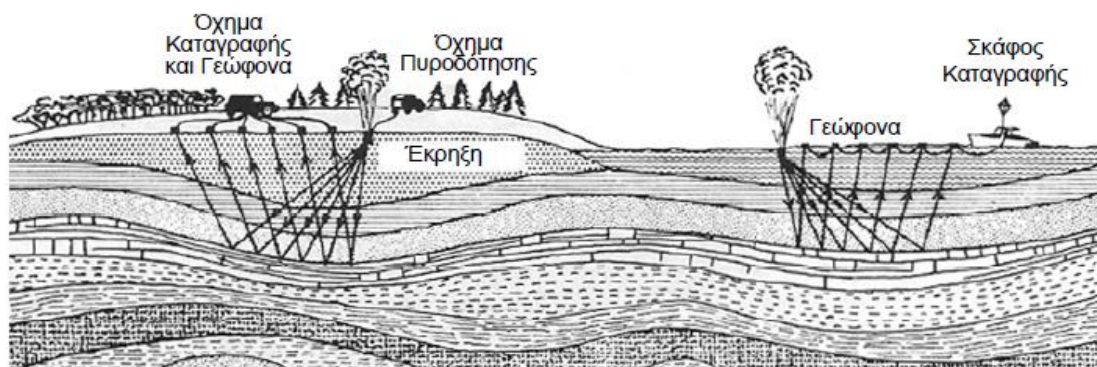


Εικόνα 3.3 : Α) Αρχές βαρυντικής αποτύπωσης. Τα σημεία 1 – 9 αναπαριστούν σταθμούς παρατήρησης όπου έχουν εγκατασταθεί μετρητές βαρύτητας. Β) Αρνητική απόκλιση βαρύτητας πάνω από θόλο άλατος σε συνδυασμό με συγκέντρωση πετρελαίου α) Θόλος άλατος, β) Καλυπτήριο πέτρωμα. C) Θετική Απόκλιση βαρύτητας επάνω από ηφαιστειογενή ανύψωση σε συνδυασμό με συγκέντρωση πετρελαίου στο υπερκείμενο ίζημα.

Γεωηλεκτρικές Μετρήσεις. Οι γεωηλεκτρικές μετρήσεις των φυσικών ρευμάτων της Γης δεν έχουν ανταποκριθεί στις προσδοκίες που είχαν βασιστεί πάνω τους. Οι πολλές παρεμβολές στις βιομηχανικές χώρες όπως τα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και στα σιδηροδρομικά δίκτυα είναι ανεπιθύμητες για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Γι' αυτούς τους λόγους οι γεωηλεκτρικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται σπάνια.

3.1.7.2 Σεισμικές Μέθοδοι

Από τη δεκαετία του '70, οι σεισμικές μέθοδοι έχουν γίνει οι πιο ακριβείς και συχνότερα χρησιμοποιούμενες μέθοδοι εξερεύνησης. Αυτό οφείλεται κυρίως στις δυνατότητες ψηφιακής καταγραφής και τα πολλά διαθέσιμα προγράμματα επεξεργασίας και ερμηνείας των δεδομένων. Οι σεισμικές μέθοδοι επιτρέπουν την εξαγωγή πολύ ακριβών συμπερασμάτων για την ακολουθία των στρωμάτων και τα βάθη των σχηματισμών. Αυτές οι μέθοδοι μετρούν το χρόνο διάδοσης τεχνικά προκληθέντων ελαστικών κυμάτων. Τα κύματα δημιουργούνται συνήθως από εκρηκτικά που έχουν τοποθετηθεί σε κατάλληλα σημεία (Εικόνα 3.4). Σήμερα, χρησιμοποιούνται και άλλες πηγές ενέργειας. Η μέθοδος δόνησης χρησιμοποιεί μια χαλύβδινη πλάκα κάτω από ένα φορτηγό, η οποία πιέζεται στο έδαφος από το βάρος του φορτηγού. Έτσι παράγονται δονήσεις συγκεκριμένης συχνότητας και διαδίδονται στο υπέδαφος. Η μέθοδος είναι επίσης γρηγορότερη και φθηνότερη της αντίστοιχης με χρήση εκρηκτικών (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).



Εικόνα 3.4 : Τεχνική ανάκλασης σεισμικών κυμάτων (χερσαία και υποθαλάσσια έρευνα)

Τα ελαστικά κύματα διαδίδονται σε όλες τις κατευθύνσεις και στα όρια μεταξύ στρωμάτων, π.χ. αργίλου – άμμου, άμμου – ανθρακικών. Εν μέρει διαθλώνονται και εν μέρει ανακλώνται πίσω προς την επιφάνεια. Η ταχύτητα αυτών των σεισμικών

κυμάτων μέσω των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών είναι ένδειξη του τύπου των πετρωμάτων κι εξαρτάται από την ελαστικότητα και την πυκνότητα των πετρωμάτων (περίπου 1000 – 2000 m/s σε χαλαρά πετρώματα και έως 6000 m/s σε συμπαγή πετρώματα). Με όσο μεγαλύτερη ακρίβεια είναι γνωστή η ταχύτητα σε κάθε στρώμα, με τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια μπορεί να υπολογιστεί το βάθος της ζώνης ανάκλασης. Οι υπολογισμοί διευκολύνονται με τη χρήση υπολογιστή. Υπάρχουν δύο διαφορετικές μέθοδοι: μέθοδος ανάκλασης και μέθοδος διάθλασης, η οποία ήταν σχεδόν η μοναδική που χρησιμοποιούνταν ως τη δεκαετία του '30. Η μέθοδος διάθλασης χρησιμοποιείται σήμερα μόνο για έρευνα σε μεγάλες επιφάνειες και πολύ βαθείς ορίζοντες, καθώς και για τον προσδιορισμό ηχητικών ταχυτήτων μέσα στα πετρώματα και για την επίλυση ειδικών προβλημάτων.

Μέθοδος Σεισμικής Διάθλασης. Στη μέθοδο σεισμικής διάθλασης ένα μέρος των κυμάτων διαθλάται στον ορίζοντα διάθλασης, αντίστοιχα με τη διάθλαση του φωτός στη διεπιφάνεια νερού – αέρα. Μερικά από τα διαθλώμενα κύματα συνεχίζουν να διέρχονται από τα όρια των στρωμάτων και να δημιουργούν κατά τη δίοδο άλλα κύματα που διαθλώνται προς την επιφάνεια. Μετράται ο χρόνος διέλευσης των κυμάτων από τη στιγμή που δημιουργούνται, μέχρι να ανιχνευτούν από τα γεώφωνα που τοποθετούνται στην επιφάνεια σε απόσταση ανά 25 km περίπου. Η μέθοδος σεισμικής διάθλασης, απαιτεί μεγάλες ποσότητες εκρηκτικών με τα γεώφωνα τοποθετημένα σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις και επιτρέπει σχετικά μεγάλα βάθη ανίχνευσης.

Μέθοδος Σεισμικής Ανάκλασης. Στη μέθοδο σεισμικής ανάκλασης τα κύματα επιστρέφουν πίσω από τους ορίζοντες ανάκλασης. Ανάλογα με το βάθος των οριζόντων ανάκλασης τα κύματα επιστρέφουν στην επιφάνεια της Γης σε αύξοντα χρονικά διαστήματα και καταγράφονται από γεώφωνα που είναι διατεταγμένα στο έδαφος. Στη συνέχεια μετατρέπονται σε ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς και καταγράφονται σε μαγνητικές ταινίες σε ειδικά ψηφιακά συστήματα καταγραφής. Η καταγραφή των σεισμικών σημάτων σε μαγνητικά μέσα επιτρέπει διορθώσεις στα πρωτογενή δεδομένα καθώς και απομάκρυνση θορύβου στα κέντρα επεξεργασίας των δεδομένων. Από τους χρόνους διέλευσης για τα εκπεμπόμενα και τα ανακλώμενα κύματα προσδιορίζεται το βάθος του ανακλαστικού ορίζοντα, με δεδομένη την ταχύτητα διέλευσης μέσω των πετρωμάτων. Οι ενδείξεις για την ταχύτητα των σεισμικών κυμάτων προέρχονται από λεπτομερείς υπολογισμούς των μεθόδων

ανάκλασης και διάθλασης από καταγραφή δεδομένων σε φρέατα με γεώφωνα που είναι τοποθετημένα σε συγκεκριμένα βάθη.

Σεισμικές Μετρήσεις σε Υποθαλάσσιες Περιοχές. Οι μετρήσεις ανάκλασης σεισμικών κυμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για μετρήσεις στη θάλασσα. Η χρήση εκρηκτικών έχει σταματήσει λόγω της σοβαρής περιβαλλοντικής ζημιάς που προκαλούσε και έχει αντικατασταθεί από δημιουργία κυμάτων με κανόνια πεπιεσμένου αέρα. Ο στόλος των ηχοβολιστικών πλοίων είναι πλέον πολύ μεγάλος και πραγματοποιεί μετρήσεις σε όλα σχεδόν τα μήκη και πλάτη της Γης.

Τρισδιάστατη (3 D) Μέθοδος. Μέχρι πρότινος, η σεισμική μέθοδος που χρησιμοποιούνταν ήταν η γραμμική. Τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να γίνεται πιο έντονα χρήση της τρισδιάστατης απεικόνισης και στο στάδιο της έρευνας. Οι ομάδες των διατάξεων των γεωφώνων τοποθετούνται σε αποστάσεις των 25 m και η δημιουργία των κυμάτων γίνεται από διάφορες θέσεις. Τα σήματα συγκεντρώνονται και επεξεργάζονται, όπως και στη γραμμική μέθοδο και μεταδίδονται στους σταθμούς εργασίας. Λόγω των μικρών αποστάσεων μεταξύ των διατάξεων των γεωφώνων και της δυνατότητας τοποθέτησης κατά τρόπον ώστε να καλύψουν οποιοδήποτε σχήμα (ακόμη και μια τυχαία γραμμή), η ερμηνεία των οριζόντων ανάκλασης μπορεί να δώσει δεδομένα πολύ μεγάλης ευκρίνειας και ακρίβειας. Λόγω του πολύ υψηλού κόστους εξοπλισμού – απαιτούνται αρκετές χιλιάδες γεώφωνα – και του μεγάλου αριθμού απαιτούμενου προσωπικού – έως 350 άτομα – η μέθοδος είναι πολύ ακριβή. Παρόλα αυτά, αποπληρώνει γρήγορα το κόστος, ιδίως κατά την ανάπτυξη μιας παραγωγικής περιοχής, αφού λόγω της ακρίβειας των δεδομένων αποφεύγονται οι μη παραγωγικές γεωτρήσεις (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).

3.1.8 Γεωχημική Έρευνα και Προσδιορισμός Ανθρακοποίησης Δειγμάτων

Οι γεωχημικές έρευνες και ο προσδιορισμός της ανθρακοποίησης έχουν γίνει πολύ σημαντικές παράμετροι. Χρησιμοποιούνται ως ενδείξεις ωριμότητας και προσδοκιμότητας για πιθανά μητρικά πετρώματα και για την απάντηση ερωτήσεων σχετικά με την προέλευση και τους δρόμους μετανάστευσης του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Αυτοί οι προσδιορισμοί διενεργούνται εν μέρει σε δείγματα από γεωλογικές έρευνες πεδίου και εν μέρει σε δείγματα από δοκιμαστικές οπές ("καρότα"). Οι μετρήσεις ανθρακοποίησης χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό

της ωριμότητας ενός μητρικού πετρώματος. Εάν φανεί ότι τα πετρώματα είναι ανώριμα, τότε εγκαταλείπονται όλες οι δραστηριότητες. Οι μελέτες ανθρακοποίησης, είναι κατά προτίμηση φωτομετρικές μετρήσει ανάκλασης. Τα συμπεράσματα ως προς την ωριμότητα δειγμάτων μητρικών πετρωμάτων που προκύπτουν από χημική έρευνα δεν μπορούν να είναι πολύ αξιόπιστα. Χρησιμοποιούνται επίσης και οπτικές παράμετροι. Εδώ μετριέται η μεταβολή χρώματος του διασκορπισμένου οργανικού υλικού στο ίζημα λόγω θέρμανσης. Οι οπτικές μελέτες είναι μικρής σημασίας και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο μαζί με δεδομένα χημικής έρευνας ή πυρόλυσης. Η πυρόλυση που πραγματοποιείται σε μεγάλο αριθμό δειγμάτων πετρώματος είναι πολύ σημαντική για την ανάλυση του κηρογόνου. Η δοκιμή πυρόλυσης Rock – Eval παρέχει έναν γρήγορο προσδιορισμό του τύπου και του βαθμού ωριμότητας του κηρογόνου, σε συνδυασμό με άμεσο προσδιορισμό του δυναμικού σε υδρογονάνθρακες. Η σύγκριση των δεδομένων από αρκετές δοκιμαστικές οπές παρέχει πολύ σημαντικές χημικές/γεωχημικές συσχετίσεις για μια περιοχή.

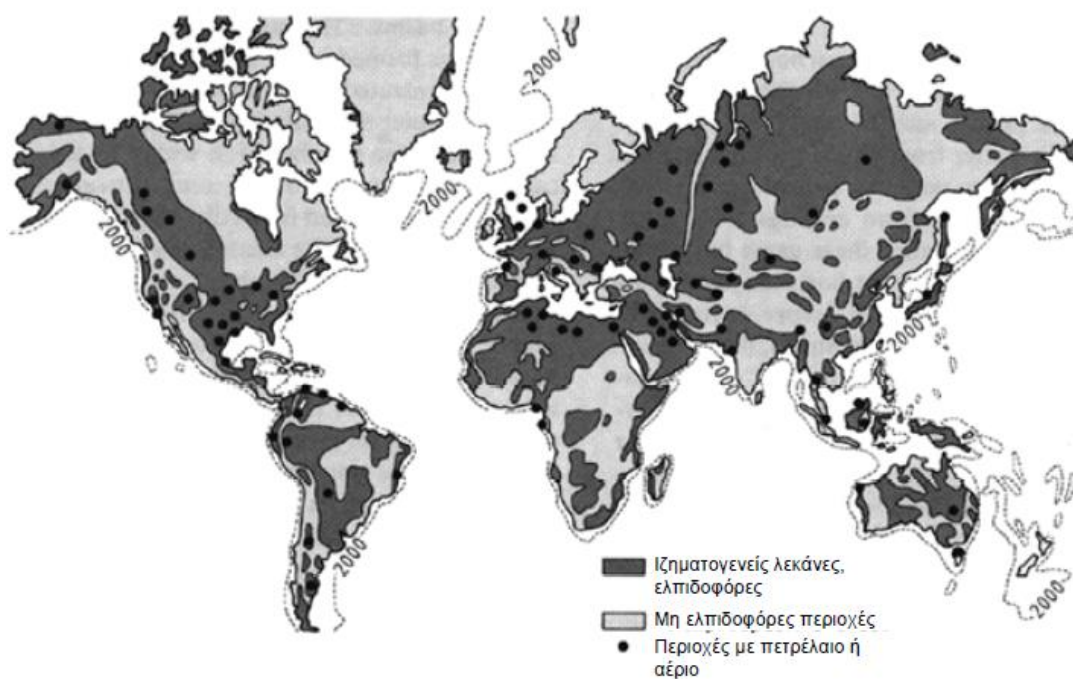
Η ανάλυση ισοτόπων άνθρακα στα συστατικά του φυσικού αερίου είναι πολύ συνηθισμένη στην έρευνα για κοιτάσματα υδρογονανθράκων. Βασίζεται στην αναλογία των ισοτόπων και στο μεθάνιο και στην ωριμότητα της οργανικής ύλης από την οποία προήλθε το μεθάνιο. Η ανάλυση μπορεί να δείξει εάν τα αέρια από τις δοκιμαστικές οπές σχηματίστηκαν εκεί ή έχουν μετακομίσει προς τα πάνω από βαθύτερα στρώματα. Οι λόγοι των ισοτόπων άνθρακα επιτρέπουν την εξαγωγή αξιόπιστων εκτιμήσεων για τη στρατιγραφική διαστρωμάτωση και τα αντίστοιχα μητρικά πετρώματα (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).

3.1.9 Ύπαρξη, Παραγωγή, Αποθέματα

Η ύπαρξη πετρελαίου είναι συνδυασμένη με τις ιζηματογενείς λεκάνες της Γης. Η κατανομή τους δεν ακολουθεί καμία στατιστική. Ακόμη και η τεκτονική τους κατάταξη είναι πολύ διαφορετική και δείχνει ότι ο σχηματισμός ιζημάτων δε σχετίζεται με ειδικούς τύπους λεκανών μόνο. Οι μεγαλύτερες ποσότητες πετρελαίου βρίσκονται σε λεκάνες που έχουν υποστεί καταβύθιση, ως αποτέλεσμα κίνησης τεκτονικών πλακών – από το Ιουρασικό έως το Μέσο Τριαδικό – όπου λόγω της έλλειψης επαφής με πλούσια σε οξυγόνο νερά και υπό την επίδραση κατάλληλης (σχετικά υψηλής) θερμοκρασίας και ύπαρξης αναγωγικών συνθηκών υπήρξε μετασχηματισμός της οργανικής ύλης. Τα κοιτάσματα σε παλαιότερους γεωλογικούς σχηματισμούς είναι σχετικά μικρά, μάλλον λόγω της χαμηλής ποσότητας οργανικής

ύλης που ήταν διαθέσιμη εκείνες τις εποχές. Αλλά τα μικρότερα κοιτάσματα σε σχηματισμούς παλαιότερους από αυτούς του Μεσοζωικού αιώνα, μπορεί να είναι το αποτέλεσμα θερμικής εξέλιξης (μετατροπή του πετρελαίου σε αέριο), της καταστροφής των ταμιευτήρων ή της έμφραξής τους από τεκτονικές κινήσεις ή διάβρωση. Οι προσοδοφόρες ιζηματογενείς λεκάνες είναι κατανεμημένες τόσο στην ξηρά όσο και στη θάλασσα (Εικόνα 3.5). Οι μέθοδοι έρευνας και ανάπτυξης είναι οι ίδιες, με τη μεγάλη διαφορά να βρίσκεται στο κόστος διάνοιξης του φρέατος και τοποθέτησης της εγκατάστασης εκμετάλλευσης στην περίπτωση των υποθαλάσσιων κοιτασμάτων.

Πέρα από τα κλασσικά υποθαλάσσια πεδία όπως του Maracaibo (Βενεζουέλα) και του Baku (Κασπία Θάλασσα) που ήταν ήδη γνωστά και υπό εκμετάλλευση με τροποποιημένες χερσαίες εγκαταστάσεις από τη δεκαετία του '30, η υποθαλάσσια έρευνα και εκμετάλλευση απέκτησε αυξημένη σημασία από τη δεκαετία του '60 και μετά. Τότε έγινε τεχνικά δυνατή η αξιοποίηση κοιτασμάτων σε βάθη θαλασσών μεγαλύτερα από 1000 m. Σε τέτοια βάθη υπάρχουν δυσκολίες στην παραγωγή και ο εξοπλισμός θα πρέπει να τοποθετηθεί στην επιφάνεια του βυθού και να συντηρείται από δύτες. Το βαθύτερο παραγωγικό πεδίο είναι το Jolliet στον Κόλπο του Μεξικού, με εξέδρα εξόρυξης πάνω από βυθό βάθους 535 m. Το 1992 εγκαταστάθηκε πλωτή εξέδρα στο πεδίο Snorre της Νορβηγικής Βορείου Θάλασσας σε βάθος βυθού 350 m. Τα μεγαλύτερα βάθη στα οποία γίνεται εγκατάσταση πλωτής εξέδρας είναι στα 1000 m περίπου (πεδία Auger και Marlin). Λόγω του μεγάλου κόστους επένδυσης, η συστηματική εκμετάλλευση των υποθαλάσσιων κοιτασμάτων σε βαθιά νερά εξαρτάται από τη διαμόρφωση των τιμών του αργού πετρελαίου στην αγορά (Aggour, M., Abdel – Aal, H.K., Fahim, M.A., 2003).



Εικόνα 3.5 : Οι ιζηματογενείς λεκάνες της Γης με τις πιο σημαντικές παραγωγικές περιοχές.

3.1.9.1 Παραγωγή και Αποθέματα

Οι τιμές του αργού πετρελαίου παρουσίασαν σημαντική μείωση στο δεύτερο μισό της δεκαετίας του '80. Οι χώρες του ΟΠΕΚ σαν μέσο σταθεροποίησης των τιμών χρησιμοποίησαν σταθερές αναλογίες παραγωγής, χωρίς όμως ουσιαστική επιτυχία. Ο έλεγχος της παραγωγής από πλευράς ΟΠΕΚ και οι οικονομικές των εκτός ΟΠΕΚ πετρελαιοπαραγωγών κρατών επηρεάζουν τόσο πολύ την εικόνα ώστε δε μπορεί να υπάρξει καθαρή εικόνα της παραγωγικότητας κάθε χώρας. Η παραγωγή (Πίνακας 3.1) δίνει μόνο μια ένδειξη της συνολικής γεωλογικής και τεχνικά εφικτής δυναμικότητας. Η παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου το 2005 ήταν 3.895×10^9 t. Σε 20 χρόνια αυξήθηκε κατά 40% περίπου. Η κατάταξη των πετρελαιοπαραγωγών κρατών για το 1989 δείχνει ότι τα πρωτεία κατέχουν τα κράτη της Μέσης Ανατολής (Σαουδική Αραβία, Ιράν, Ιράκ, Κουβέιτ, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα) με παραγωγή 1208×10^6 t, ακολουθούμενα από τις χώρες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης με 577×10^6 t, και τις ΗΠΑ με τον Καναδά να ακολουθούν στους 455×10^6 t από κοινού. Σε απόσταση ακολουθούσαν η Νότιος και Κεντρική Αμερική (350×10^6 t), η Ασία –

Ωκεανία (382×10^6 t), η Αφρική (467×10^6 t), και η Ευρώπη (268×10^6 t). Το βεβαιωμένα αποθέματα πετρελαίου ανήλθαν στους 163.6×10^9 t κυρίως λόγω ανάπτυξης υποθαλάσσιων πεδίων. Υπάρχει αύξηση πάνω από 80% σε σχέση με τα αποθέματα που ήταν γνωστά τη δεκαετία του '70 (92.40×10^9 t). Σε σχέση με την παραγωγή του 2005 των περίπου 3.9×10^9 t, ο προκύπτων λόγος είναι 34:1, λίγο πάνω του 30:1 που ίσχυε για δεκαετίες. Με τα βεβαιωμένα μόνο αποθέματα, ο προκύπτων λόγος είναι περίπου 50:1 (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011). Τα βεβαιωμένα αποθέματα πετρελαίου καταγράφονται στον Πίνακα 3.1.

	Συνολική Παραγωγή 10 ⁶ t	Αποθέματα	
		Βεβαιωμένα και Πιθανά, 10 ⁶ t	Προσδόκιμα, 10 ⁶ t
Καναδάς	4262	2314	7950
Ηνωμένες Πολιτείες	30652	3617	7280
Βόρειος Αμερική	34914	5931	15230
Αργεντινή	1386	317	475
Βραζιλία	1259	1617	1625
Κολομβία	942	200	930
Ισημερινός	561	711	415
Μεξικό	5315	1876	3975
Τρινιδάντ – Τομπάγκο	485	116	160
Βενεζουέλα	9091	11488	4130
Λοιποί	574	374	750
Νότιος – Κεντρ. Αμερική	14385	14780	12460
Ιράν	8851	18886	3020
Ιράκ	4455	15520	5560
Κουβέιτ	5302	13981	320
Ομάν	1158	756	150
Κατάρ	1186	1996	
Σαουδική Αραβία	16312	36293	7950
Συρία	638	409	
Ην. Αραβικά Εμιράτα	3758	12954	800
Λοιποί	1351	2950	320
Μέση Ανατολή	24 469	101167	18120
Αλγερία	2549	1537	250
Αγκόλα	813	1219	250
Αίγυπτος	1417	524	300
Γκαμπόν	467	302	200
Λιβύη	3715	5095	950
Νιγηρία	3748	4842	1120
Λοιποί	589	1683	1830
Αφρική	13298	15202	4900
Αυστραλία	951	515	325
Κίνα	4744	2191	5100
Ινδία	1010	786	400
Μαλαισία	1216	550	700
Ινδονησία	3323	595	1250
Λοιποί	684	767	975
Ασία – Ωκεανία	11928	5404	8750
Νορβηγία	2767	1296	1065
Μεγάλη Βρετανία	3269	533	1175
Λοιποί Δυτ. Ευρώπης	983	285	300
Ανατολική Ευρώπη	2472	185	270
Ευρώπη	6725	2299	2900
τ. Σοβιετική Ένωση	23674	16834	14625
Σύνολο	145936	163568	76985

Πίνακας 3.1 : Σημαντικότερες πετρελαιοπαραγωγές χώρες, παραγωγή και αποθέματα
(31/12/2005)

Πέρα από τα κοιτάσματα συμβατικού πετρελαίου θα πρέπει να αναφερθούν και οι περίπου 100×10^9 t αποθεμάτων βαρέος πετρελαίου και πετρελαιοάμμων (tar sands). Τα αποθέματα βαρέος πετρελαίου βρίσκονται κυρίως (87%) στον Καναδά, τις χώρες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης και τη Βενεζουέλα. Αντιστοιχούν σε μελλοντικά αποθέματα, τα οποία θα είναι περισσότερο ανακτήσιμα όταν εξελιχθούν περαιτέρω οι μέθοδοι τριτογενούς ανάκτησης, για να απομακρύνουν το πετρέλαιο από τα πετρώματα, και σε τιμές αργού πετρελαίου πάνω από τα 50 \$/bbl (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).

3.2 Φυσικό Αέριο

Το φυσικό αέριο έχει αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία τις τελευταίες δεκαετίες. Τα μεγάλα κοιτάσματα φυσικού αερίου σε Σιβηρία, Μέση Ανατολή, Αλγερία και Ευρώπη, που οδηγούνται μέσω δικτύων αγωγών στις καταναλώτριες χώρες συμβάλλουν σημαντικά στην ομαλή παροχή ενέργειας. Και στη Βόρειο Αμερική, τα κοιτάσματα φυσικού αερίου αποτελούν σημαντική πηγή ενέργειας για τον οικιακό και βιομηχανικό τομέα λόγω της ευκολίας χρήσης και της καθαρότητάς του ως καύσιμο. Τα κοιτάσματα φυσικού αερίου σε απομακρυσμένες περιοχές είναι αξιοποιήσιμα μόνο εάν η τιμή αγοράς κάνει βιώσιμη τη διαδικασία υγροποίησης του φυσικού αερίου και μεταφοράς του με τα ειδικά πλοία στις χώρες κατανάλωσης. Το φυσικό αέριο υπάρχει ως "ξηρό", δηλαδή καθαρό μεθάνιο, και "υγρό" μεθάνιο δηλαδή με κυμαινόμενες αναλογίες βαρύτερων υδρογονανθράκων. Τα κοιτάσματα του φυσικού αερίου βρίσκονται συνήθως σε επαφή με στρώματα γύψου ή ανυδριτών, οπότε η παρουσία υδροθείου αποδίδεται στη βακτηριακή αναγωγή του θεικού ασβεστίου. Τα κοιτάσματα φυσικού αερίου με αξιόλογη αναλογία βαρύτερων υδρογονανθράκων είναι γνωστά και ως κοιτάσματα συμπυκνωμάτων. Ενώ το υγρό φυσικό αέριο και τα συμπυκνώματα βρίσκονται κοντά ή σε συνδυασμό με κοιτάσματα πετρελαίου, το ξηρό φυσικό αέριο βρίσκεται συνήθως σε ανεξάρτητα κοιτάσματα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η πλειονότητα των ξηρών φυσικών αερίων προέρχεται από κηρογόνο τύπου III που προέρχεται από χερσαία φυτά. Άλλα ξηρά φυσικά αέρια σχηματίζονται σε μέρη βαθέων λεκανών, όπου η πίεση και η θερμοκρασία έχουν υπερβεί τις τιμές που οδηγούν στο σχηματισμό πετρελαίου. Υπάρχει επίσης και η διάκριση μεταξύ συνδυασμένου αερίου (associated gas), που σχετίζεται με αργό πετρέλαιο, και μη συνδυασμένου ή φυσικού αερίου

(nonassociated or natural gas), το οποίο δημιουργείται ανεξάρτητα, κυρίως από κηρογόνο τύπου III. Το συνδυασμένο αέριο που είναι διαλυμένο στο αργό πετρέλαιο, απελευθερώνεται κατά την παραγωγή λόγω της εκτόνωσης της πίεσης. Εάν το αργό πετρέλαιο είναι υπέρκορο, τότε μέρος του αερίου μεταναστεύει προς τα επάνω και σχηματίζει ένα σκούφο αερίου, το οποίο υπό συγκεκριμένες συνθήκες μπορεί να εκμεταλλευτεί ανεξάρτητα.

Τα κοιτάσματα μη συνδυασμένου αερίου προέρχονται από κηρογόνο τύπου III. Είναι σχεδόν αδιαμφισβήτητο ότι αυτό το αέριο (καθαρό μεθάνιο CH_4) προέρχεται από ανθρακοφόρα στρώματα που βρίσκονται κατωτέρω, ή από υπολείμματα φυτικής ύλης διεσπαρμένα σε ιζήματα στο κάτω μέρος του ανώτερου ανθρακοφόρου στρώματος. Το "αέριο πετρελαίου", είναι ένα παραπροϊόν της παραγωγής πετρελαίου, με περιορισμένο ρόλο στο ενεργειακό ισοζύγιο. Μεγάλες ποσότητες αυτού του αερίου χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις παραγωγής, ή συνήθως μετά από ανασυμπίεση, τροφοδοτούνται σε τοπικά δίκτυα φυσικού αερίου. Σε κοιτάσματα χαμηλής πίεσης, το αέριο αυτό επιστρέφει στο κοιτάσμα για να αυξήσει την πίεση και να μειώσει το κόστος παραγωγής, αυξάνοντας τη διάρκεια της πρωτογενούς ανάκτησης. Σε πολλές πετρελαιοπαραγωγές χώρες, όπως στη Μέση Ανατολή και τη Βόρειο Αφρική, τεράστιες ποσότητες αερίου καίγονται σε πυρσούς (flares), χωρίς να αξιοποιούνται αλλά για να μην προκαλέσουν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα.

Από τη δεκαετία του '80, έχει αναθερμάνει το ενδιαφέρον η θεωρία της ανόργανης προέλευσης των υδρογονανθράκων στο έδαφος. Υποστηρίζεται ότι οι μεγάλες ποσότητες δεσμευμένου (οξειδωμένου) άνθρακα, π.χ. ανθρακικών, δε μπορεί να προέρχονται από την ατμόσφαιρα, αλλά έχουν διαφύγει από το μανδύα της Γης. Η παρουσία ηλίου, που προέρχεται από τη ραδιενεργό διάσπαση συγκεκριμένων μεταλλευμάτων, θεωρείται επίσης ως στοιχείο, όπως η ύπαρξη μεθανίου σε κοιτάσματα διαμαντιών και κιμπερλίτη. Η θεωρία βασίζεται στην ύπαρξη μεθανίου στην ατμόσφαιρα των εξωτερικών γιγάντιων πλανητών και κάποιων από τους δορυφόρους τους.

Όπως και με τη θεωρία της ανόργανης προέλευσης των υδρογονανθράκων από το μανδύα της Γης, έτσι και το ερώτημα της προέλευσης του αζώτου στα κοιτάσματα φυσικού αερίου από τον ατμοσφαιρικό αέρα, παραμένει υπό συζήτηση. Οι πιο πιθανές θεωρίες αναφέρουν τη διαδικασία διαφορικού εμπλουτισμού σε άζωτο κατά

τη μετανάστευση του αερίου, τη δημιουργία του από τη δράση αναερόβιων βακτηρίων κατά το σχηματισμό του πετρελαίου στο μητρικό πέτρωμα και την απελευθέρωσή του από την οργανική ύλη κατά τη διαδικασία της ανθρακοποίησης (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).

3.2.1 Προέλευση και Σχηματισμός Αποθεμάτων

Τα βασικά συστατικά του φυσικού αερίου σχετίζονται συχνά με κοιτάσματα αργού πετρελαίου, ιδίως ως προς το σχηματισμό τους. Το πετρέλαιο και το αέριο βρίσκονται συχνά στα ίδια γεωλογικά στρώματα μιας περιοχής. Από την άλλη, η συνύπαρξη πετρελαίου και άνθρακα στα ίδια στρώματα μιας περιοχής είναι αδύνατη. Το ξηρό φυσικό αέριο που είναι κυρίως προϊόν της ανθρακοποίησης, μπορεί να βρεθεί δίπλα και σε κοιτάσματα πετρελαίου. Η πλειονότητα των κοιτασμάτων φυσικού αερίου ανά τον κόσμο συνδέεται με κοιτάσματα πετρελαίου. Επικρατούν τα κοιτάσματα συνδυασμένου φυσικού αερίου, συχνά δίπλα σε μη σημαντικά από οικονομικής πλευράς κοιτάσματα πετρελαίου. Τα κοιτάσματα ξηρού φυσικού αερίου μπορεί να είναι αποτέλεσμα διαδικασιών εκλεκτικής μετανάστευσης.

Ο σχηματισμός αερίου στα μητρικά πετρώματα γίνεται με διαφορετικό τρόπο από το σχηματισμό πετρελαίου. Στη φάση της διαγένεσης, που συμβαίνει σε ανώριμα μητρικά πετρώματα, δημιουργείται μεθάνιο από βακτηριακή δράση σε κηρογόνο τύπου III. Σε θερμοκρασίες πάνω από 60 °C, ξεκινά η διαδικασία παραγωγής υγρού φυσικού αερίου από κηρογόνο τύπου I και II – σε συνδυασμό με το σχηματισμό πετρελαίου – που συνεχίζεται μέχρι θερμοκρασία 150 °C. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες αυξάνει ο ρυθμός σχηματισμού ξηρού φυσικού αερίου. Όσον αφορά την παραγωγή φυσικού αερίου από ανθρακοφόρα στρώματα, η αρχική διαδικασία ανθρακοποίησης έχει χαμηλή απόδοση (έως 30%) και παράγει κι ένα ποσοστό ελαφρών υδρογονανθράκων (πτητικά) που παραμένουν μέσα στο κοίτασμα. Ως αποτέλεσμα της περαιτέρω καταβύθισης των ανθρακοφόρων στρωμάτων ήταν η εκ νέου αύξηση της θερμοκρασίας που οδήγησε σε επιπλέον ανθρακοποίηση και περαιτέρω έκλυση μεθανίου.

Θεωρητικά, μια άλλη αιτία δημιουργίας φυσικού αερίου είναι οι δημιουργία του από πετρελαιοσχιστόλιθους (oil shales). Η διαδικασία φυσικής πυρόλυσης πισσοσχιστόλιθων σε θερμοκρασίες αρκετά πάνω από τους 200 °C μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό φυσικού αερίου (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).

3.2.2 Ύπαρξη Κοιτασμάτων Φυσικού Αερίου

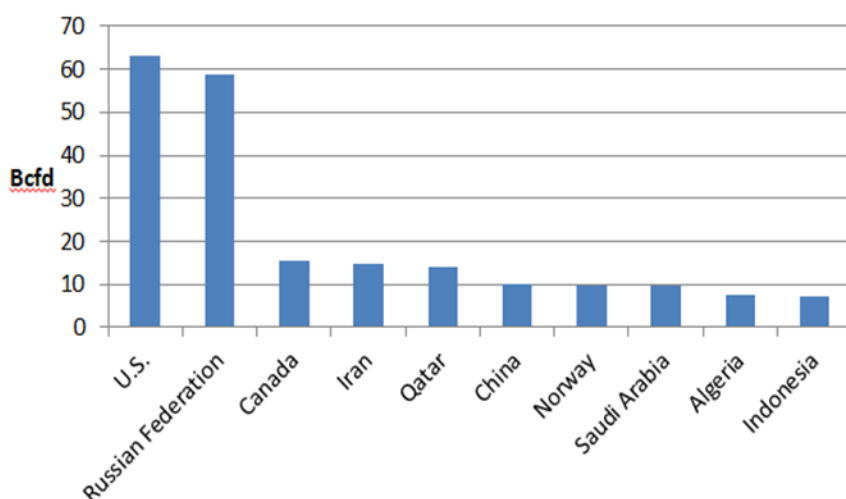
Η σημασία των παραγωγών χωρών φυσικού αερίου εξαρτάται από τα διαθέσιμα αποθέματά τους. Οι ετήσια παραγόμενες ποσότητες έχουν αυξηθεί ως αποτέλεσμα της ανάπτυξης των δικτύων αγωγών φυσικού αερίου. Επιπρόσθετα, η χρήση φυσικού αερίου έχει τραβήξει το ενδιαφέρον πολλών καταναλωτών λόγω της ευκολίας χρήσης και της καθαρότητάς του ως καύσιμο. Τα μεγάλα κοιτάσματα κάνουν πιο ελκυστική οικονομικά την επένδυση για τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας και μεταφοράς του φυσικού αερίου. Η παραγωγή φυσικού αερίου δε σχετίζεται μόνο με τα διαθέσιμα αποθέματα. Για παράδειγμα, η παραγωγή φυσικού αερίου το 2005 στις ΗΠΑ ήταν $526 \times 10^9 \text{ m}^3$, ενώ στις χώρες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης $760 \times 10^9 \text{ m}^3$. Την 1/1/2006 τα βεβαιωμένα και πιθανά αποθέματα φυσικού αερίου των ΗΠΑ ήταν περίπου $5.45 \times 10^{12} \text{ m}^3$, ενώ αυτά των χωρών της πρώην Σοβιετικής Ένωσης περίπου $58.3 \times 10^{12} \text{ m}^3$. Αυτή η διαφοροποίηση μεταξύ παραγωγής και αποθεμάτων οφείλεται στη διαφορετική ανάπτυξη των δικτύων μεταφοράς και διανομής. Άλλες χώρες μεγάλοι παραγωγοί φυσικού αερίου είναι ο Καναδάς, η Ολλανδία, το Ιράν, η Βενεζουέλα, η Μεγάλη Βρετανία, η Ρουμανία, το Μεξικό, η Κίνα και η Γερμανία. Τα μεγάλα κοιτάσματα φυσικού αερίου στις χώρες του Περσικού Κόλπου τη Νιγηρία και την Ινδονησία αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της απόστασης από τις καταναλώτριες χώρες, οπότε απαιτείται η υγροποίηση του φυσικού αερίου για τη μεταφορά του. Λόγω της σχετικά μικρής χωρητικότητας των δεξαμενοπλοίων μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου και των μεγάλων αποστάσεων που πρέπει να διανυθούν, η χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου δεν είναι πάντα συμφέρουσα από οικονομική πλευρά.

Τα βεβαιωμένα παγκόσμια αποθέματα φυσικού αερίου την 1/1/2006, ανέρχονταν σε $179.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$. Την πρώτη θέση κατέχουν οι χώρες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης, με τα μεγαλύτερα κοιτάσματα να βρίσκονται στη Δυτική Σιβηρία, ενώ έπονται οι χώρες της Μέσης Ανατολής. Η αύξηση των βεβαιωμένων αποθεμάτων σε αυτές τις δύο μεγάλες περιοχές οφείλεται σε ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων αλλά και σε επαναξιολόγηση των ήδη γνωστών. Ενώ τα αποθέματα της Αφρικής και της Βορείου Αμερικής παρουσιάζουν μείωση, τα αποθέματα της Δυτικής Ευρώπης έχουν αυξηθεί σημαντικά λόγω της ανάπτυξης νέων κοιτασμάτων στη Βόρειο Θάλασσα (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).

3.2.3 Γεωγραφική Κατανομή Αποθεμάτων

Η κατανομή των αποθεμάτων φυσικού αερίου και η αντίστοιχη παραγωγή δίνονται στον Πίνακα 3.2.

Top Natural Gas Producing Countries, 2011



Source: BP Statistical Review of World Energy June 2012

Πίνακας 3.2 : Παραγωγή και αποθέματα φυσικού αερίου τη

4. Εκμετάλλευση των Υποθαλάσσιων Ενεργειακών Πόρων

4.1 Γεωτρήσεις

4.1.1 Εισαγωγή

Για την έρευνα και παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου, απαιτείται η διάνοιξη γεωτρήσεων σε μεγάλα βάθη. Οι διανοίξεις για τον εντοπισμό και την εξερεύνηση των κοιτασμάτων είναι γνωστές ως ερευνητικά φρέατα (exploratory wells), ενώ οι διανοίξεις που χρησιμοποιούνται για παραγωγή από τα κοιτάσματα είναι γνωστές ως

παραγωγικά φρέατα (production wells). Τα επιτυχημένα ερευνητικά φρέατα μετατρέπονται σε παραγωγικά με την προσθήκη του κατάλληλου εξοπλισμού.

Τα ερευνητικά φρέατα πρέπει να διανοιχτούν με τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχουν ακριβείς πληροφορίες για το πέτρωμα και το προς εξερεύνηση κοιτάσμα. Αυτό γίνεται με δειγματοληψία πετρωμάτων, π.χ. με τη μορφή καρότων, δειγματοληψία υλικών που βρίσκονται στο πέτρωμα (π.χ., νερό, πετρέλαιο, αέριο), συλλογή δεδομένων από μεγάλο αριθμό γεωφυσικών μετρήσεων, διεξαγωγή δοκιμών παραγωγικότητα και μέτρηση της προκύπτουσας συμπεριφοράς του κοιτάσματος.

Τα παραγωγικά φρέατα πρέπει να διανοίγονται και να ολοκληρώνονται με τέτοιο τρόπο ώστε το κόστος της προκύπτουσας παραγωγής να είναι το ελάχιστο δυνατό, να μπορεί να παραχθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ποσότητα από τα αποθέματα με οικονομικό τρόπο, να γίνει βέλτιστη χρήση της παραγωγικής δυναμικότητας, να απαιτηθεί η διάνοιξη του ελάχιστου αριθμού φρεάτων για την ανάπτυξη του κοιτάσματος, και να επιτευχθεί παραγωγή χωρίς προβλήματα καθόλη τη διάρκεια ζωής του κοιτάσματος (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).

4.1.2 Ιστορία

Οι γεωτρήσεις σε μεγάλα βάθη δεν αποτελούν κάτι το νέο στην εξέλιξη της τεχνολογίας. Έχει αναφερθεί από τον Κομφούκιο η διάνοιξη φρεάτων σε αλατωρυχεία βάθους 500 m το 600 π.Χ. Η έρευνα για πρώτες ύλες (ποτάσα, σιδηρομετάλλευμα, άνθρακας) στα πλαίσια της βιομηχανοποίησης το 19^ο αιώνα, έδωσε ώθηση στην εξέλιξη της μηχανικής γεωτρήσεων. Σε αυτό το διάστημα, το βάθος των γεωτρήσεων έφτασε τα 2000 m.

Στην Ευρώπη κατά το δεύτερο μισό του 19ου αιώνα και το ξεκίνημα του 20^{ου} αιώνα πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη έρευνα για πρώτες ύλες. Στο διάστημα αυτό αναπτύχθηκε η τεχνική της περιστροφικής γεώτρησης με ανακυκλοφορία γεωτρητικής ιλύος. Με αυτόν τον τρόπο έγινε δυνατή η διάνοιξη οπών σε μεγαλύτερα βάθη για την παραγωγή άνθρακα, ποτάσας και ορυκτού αλατιού. Η χρήση της μεθόδου της περιστροφικής γεώτρησης αναπτύχθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες στο τέλος του 19ου αιώνα για την έρευνα και ανάπτυξη κοιτασμάτων πετρελαίου ήταν ένα σημαντικό βήμα προς τα εμπρός. Από τότε, η τεχνική έχει βελτιωθεί σημαντικά και παραμένει μέχρι και σήμερα η κυρίαρχη μέθοδος γεώτρησης, σε βάθη που έχουν φτάσει μέχρι τα 9000 m. Η βαθύτερη γεώτρηση έχει πραγματοποιηθεί στο φρέαρ

Kola SG 3 της πρώην Σοβιετικής Ένωσης, που έχει φτάσει σε βάθος 12261 m (Derry, T. K., Williams, Trevor I. 1993).

4.1.3 Περιστροφική Εξέδρα Γεώτρησης

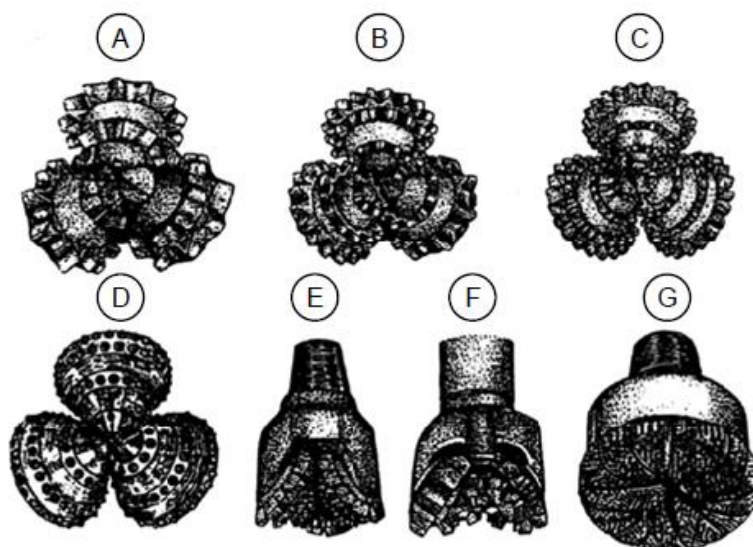
Τα κύρια χαρακτηριστικά της περιστροφικής γεώτρησης είναι η ανακυκλοφορούσα θιξοτροπική γεωτρητική ιλύς και χρήση ισχυρών κεφαλών γεωτρυπάνων. Αυτά, σε συνδυασμό με άλλα τυπικά χαρακτηριστικά λειτουργίας έχουν συμβάλει στην καθιέρωση της μεθόδου ως της σημαντικότερης για την εξερεύνηση και ανάπτυξη βαθέων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων. Οι απότομες εκτονώσεις και οι πίδακες που κάποτε ήταν πολυάριθμες, σήμερα αποτελούν σπανιότατο γεγονός.

Τα βασικά μέρη και η λειτουργία μιας περιστροφικής εξέδρας γεώτρησης δίνονται στην Εικόνα 4.1.

τη ροπή στην κεφαλή (drilling bit), η ισχύς πρόσκρουσης του οποίου στο πέτρωμα εξαρτάται από το βάρος του γεωτρύπανου και των γεωτρητικών σωλήνων (drill collar) (μεγάλου πάχους σωλήνες τοποθετημένοι πάνω από την κεφαλή), που δεν αναλαμβάνεται από το άγκιστρο.

Η περιστρεφόμενη τράπεζα, η οποία είναι ένας "οδηγός επιφανείας", μπορεί να αντικατασταθεί από έναν υδραυλικό κινητήρα γεώτρησης ακριβώς πάνω από την κεφαλή του γεωτρύπανου. Αυτός ο μηχανισμός που μπορεί να είναι μηχανή θετικής εκτόπισης βασισμένη στην αρχή του Moineau ή μια πολυβάθμια τουρμπίνα, εγκαθίσταται στον αγωγό γεώτρησης και παίρνει κίνηση από τη γεωτρητική ιλύ.

Κεφαλές Γεώτρησης. Η κεφαλή της γεώτρησης, είναι το μέρος του γεωτρύπανου μέσω του οποίου γίνεται η προσβολή του βράχου και η διάνοιξη της οπής του φρέατος. Αυτό μπορεί να γίνει με μηχανική διάνοιξη (κοπτική κεφαλή), θρυμματισμό (κωνική κυλινδρική κεφαλή Εικόνα 4.2, A – E), ή αποξεστική διάτρηση (διαμαντένια κεφαλή, Εικόνα 4.2, G).



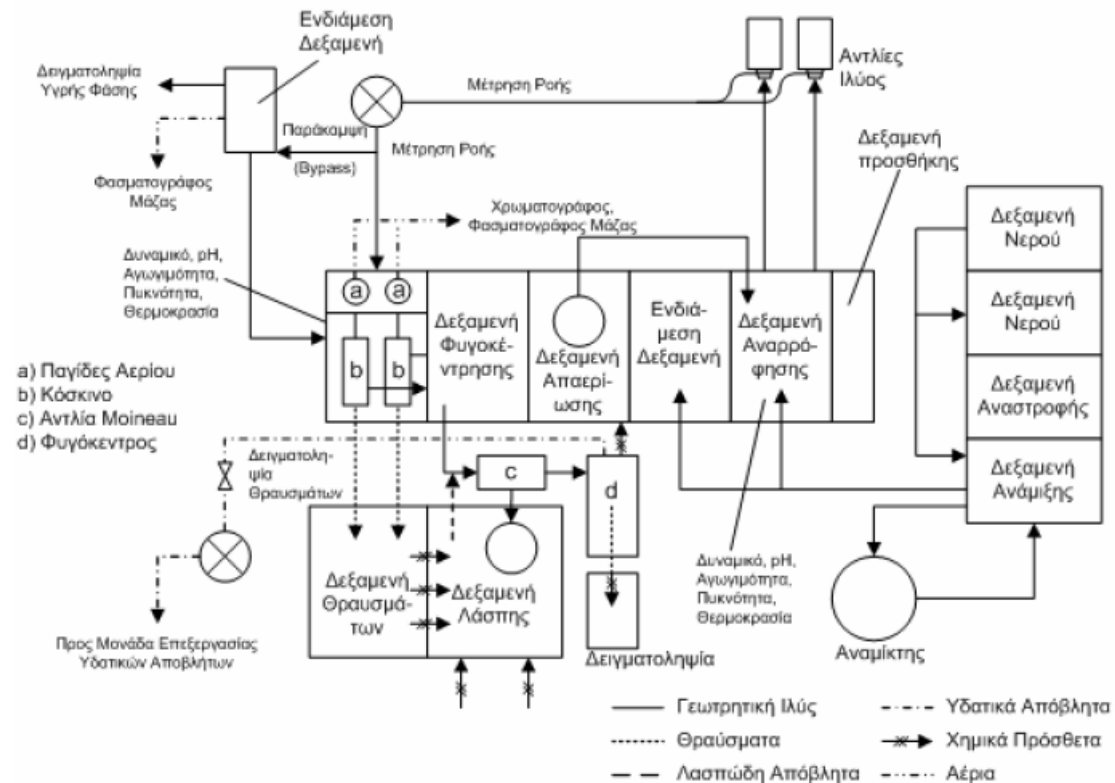
Εικόνα 4.2 : Διάφοροι τύποι κεφαλών γεωτρυπάνων

A) Περιστροφική κεφαλή με τραχεία οδόντωση (για μαλακά πετρώματα), B) Περιστροφική κεφαλή (για μέτριας σκληρότητας), C) Περιστροφική κεφαλή με λεπτή οδόντωση (για σκληρά πετρώματα), D) Περιστροφική κεφαλή με ένθετα σκληρού μετάλλου (για πολύ σκληρά πετρώματα), E) Κωνική κυλινδρική κεφαλή, F) Κεφαλή με πίδακα, G) Διαμαντένια κεφαλή.

Γεωτρητική Ιλύς. Τα θραύσματα από τη γεώτρηση μεταφέρονται στο δακτύλιο μεταξύ του τοιχώματος του φρέατος και του γεωτρύπανου από την ιλύ. Ως γεωτρητική ιλύς χρησιμοποιείται ένα θιξοτροπικό ρευστό που περιέχει μπεντονίτη και κυτταρίνη για παράδειγμα. Οι λειτουργίες της ιλύος περιλαμβάνουν την ψύξη και λίπανση του γεωτρύπανου, τον καθαρισμό του πυθμένα του φρέατος, την απομάκρυνση των θραυσμάτων, και την υποστήριξη των τοιχωμάτων της γεώτρησης (υδραυλική επίχριση). Η ιλύς αντλείται με εμβολοφόρες αντλίες μέσω των γεωτρητικών σωλήνων προς την κεφαλή του γεωτρύπανου, μέσω της οποίας εξέρχεται με μεγάλη ταχύτητα για να εξασφαλίσει τη μέγιστη δυνατή απομάκρυνση των θραυσμάτων. Τα θραύσματα και τα μικρά κομμάτια στερεών απομακρύνονται από την ιλύ στην επιφάνεια (μέσω των δονούμενων κόσκινων, φυγοκέντρων και υδροκυκλώνων) και η ιλύς άνακυκλοφορεί προς την οπή μέσω της αντλίας (Εικόνα 4.3).

Οι παράμετροι της ιλύος (π.χ., ρεολογικές ιδιότητες, μηχανική και θερμική κατάσταση του κολλοειδούς συστήματος) ρυθμίζονται ανάλογα με την ταχύτητα γεώτρησης, την ισχύ της αντλίας, τον τύπο κεφαλής του γεωτρύπανου, τη διάμετρο γεώτρησης, την πίεση στους πόρους του πετρώματος, τη θερμοκρασία, τη φύση του διανοιγμένου πετρώματος (περιοχές απώλειας ιλύος στους διανοιγμένους γεωλογικούς σχηματισμούς), τις εισροές στην οπή της γεώτρησης, και την περιεκτικότητα σε στερεά.

Πυκνότητα της ιλύος κυμαινόμενη μεταξύ 1.10 και 1.40 g/cm^3 είναι συνήθως αποτελεσματική για να ανταποκριθεί στην πίεση του κοιτάσματος, και σε οριακές καταστάσεις όπως η επίδραση του εμβολισμού και οι αδρανειακές δυνάμεις κατά την έλξη της συστοιχίας των σωλήνων της γεώτρησης. Σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να απαιτηθεί πυκνότητα χαμηλότερη από 1 g/cm^3 ή πάνω από 2.5 g/cm^3 .



Εικόνα 4.3 : Σχηματικό διάγραμμα επεξεργασίας γεωτρητικής ιλύος

Η διήθηση του νερού από την ιλύ στα πορώδη πετρώματα, προς σχηματισμό διηθητού πλακούντα εξελίσσεται σύμφωνα με το νόμο διήθησης του Darcy. Η ποσότητα του διηθήματος είναι ανάλογη της διαπερατότητας του πλακούντα, της εφαρμοζόμενης διαφοράς πίεσης και της ενεργού επιφάνειας διήθησης, και αντιστρόφως ανάλογη του ιξώδους του διηθήματος και του πάχους του πλακούντα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα της ιλύος, το pH και η περιεκτικότητα σε χλωριόντα, θειικά, ασβέστιο και όξινα ανθρακικά είναι παράμετροι που βρίσκονται υπό συνεχή παρακολούθηση. Τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία του κολλοειδούς συστήματος της ιλύος είναι:

1. Αργιούχα υλικά (π.χ., μπεντονίτης)
2. Βαρέα υλικά (π.χ., βαρίτης, αιματίτης)
3. Συστατικά μείωσης ιξώδους, διασπαρτικά, υλικά διατήρησης του κολλοειδούς
4. Γαλακτωματοποιητές, λιπαντικά (π.χ., λάδι, για να μειώσει την εσωτερική τριβή)
5. Παρεμποδιστές

Υπάρχουν γεωτρητικές ιλύες υδατικής ή ελαιώδους βάσης.

Η οπή της γεώτρησης χωρίζεται σε τμήματα από την κορυφή προς τον πυθμένα. Καθένα από αυτά τα τμήματα σταθεροποιείται με τη βοήθεια κατάλληλου υποστηρίγματος που στερεώνεται στα τοιχώματα με ειδικό σκυρόδεμα (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).

4.1.4 Προστατευτική Σωλήνωση και Σκυροδέτηση

Η προστατευτική σωλήνωση της οπής αποτελείται από πολλά ομόκεντρα τμήματα, τα οποία τοποθετούνται ανάλογα με τις γεωλογικές – μηχανικές απαιτήσεις σε διάφορα βάθη (Εικόνα 4.1). Με αυτόν τον τρόπο προστατεύονται τα τοιχώματα της γεώτρησης από αποθέσεις και απότομες εκτονώσεις, σφραγίζονται τα διαπερατά στρώματα για να προληφθούν ανεπιθύμητες εισροές ή εκροές, και να αποφεύγεται ο σχηματισμός τελμάτων εντός στο φρέαρ. Η σωλήνωση υποστήριξη τοποθετείται εν μέρει κατά τη διάρκεια της διάνοιξης της γεώτρησης, για να προστατευτούν τα προβληματικά τμήματα του φρέατος. Αντιστοιχεί σε σημαντικό μέρος του όλου κόστους του φρέατος.

Η προστατευτική σωλήνωση δέχεται διάφορες φορτίσεις, οι οποίες οφείλονται συνήθως σε συνδυασμό:

1. Διαφορική πίεση μεταξύ της εξωτερικής και της εσωτερικής πλευράς λόγω της υδροστατικής πίεσης και της πίεσης των ρευστών στο πορώδες πέτρωμα.
2. Ακτινική συνιστώσα της πίεσης σχηματισμού.
3. Ελαστική τάση από το βάρος των τμημάτων της υποστήριξης, ιδίως κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης.
4. Καμπτική τάση στις οπές με αλλαγή διεύθυνσης, ιδίως στις οριζόντιες οπές.
5. Θερμικές τάσεις

Από τη στιγμή που οι διάφορες τάσεις υπερθέτονται η μία στην άλλη, είναι απαραίτητη η σωστή αξιολόγησή τους και η σωστή τοποθέτηση των απαιτούμενων τμημάτων. Υπάρχει διαθέσιμη πλήρης σειρά τυποποιημένων υλικών και συνδέσμων, που καλύπτουν όλες τις απαιτήσεις.

Σωλήνωση Παραγωγής. Η σωλήνωση παραγωγής μεταφέρει το παραγόμενο ρευστό στην επιφάνεια. Η σωλήνωση στερεώνεται στην επιφάνεια του φρέατος, και αγκυρώνεται εάν απαιτείται και στον πυθμένα. Ο δακτύλιος μεταξύ της υποστήριξης και της σωλήνωσης παραγωγής μπορεί να σφραγιστεί με κατάλληλο σκέπασμα, εάν

το απαιτούν οι συνθήκες του φρέατος. Τα σκεπάσματα είναι συνήθως ελαστικά παραμορφώσιμα υλικά, που συνδυάζονται με περιφερειακά ολισθαίνουσες αρπάγες με τέτοιο τόπο, ώστε κατά τις προς τα πάνω ή κάτω κινήσεις οι αρπάγες σφίγγουν, η φραγή παραμορφώνεται, και σφραγίζεται ο δακτύλιος μεταξύ σωλήνωσης υποστήριξης και σωλήνωσης παραγωγής. Η σωλήνωση κατασκευάζεται από τυποποιημένα υλικά συγκεκριμένων διαστάσεων.

Σκυροδέτηση. Η σκυροδέτηση της σωλήνωσης υποστήριξης εξυπηρετεί τους εξής σκοπούς:

1. Εκτεταμένη συγκόλληση της σωλήνωσης υποστήριξης και του σχηματισμού, ώστε να διευθετήσει τις δυνάμεις που προκύπτουν από το βάρος της σωλήνωσης υποστήριξης στο σχηματισμό, π.χ. απορρόφηση των αξονικών και ακτινικών τάσεων που επιβάλλονται στη σωλήνωση υποστήριξης.
2. Απομόνωση των διαπερατών σχηματισμών, για να αποφευχθεί η ροή μεταξύ διαφορετικών στρωμάτων, και συγκεκριμένα η ρύπανση υπογείων υδάτων.
3. Αντιδιαβρωτική προστασία της σωλήνωσης υποστήριξης.

Το τσιμέντο αναμιγνύεται με νερό, ώστε να σχηματίσει τον τσιμεντοπολτό στον οποίο προστίθενται διάφορα πρόσφατα ελέγχου των ρεολογικών ιδιοτήτων, του χρόνου πήξης, της τελικής αντοχής, κλπ. Ο πολτός εγχύεται με αντλίες υψηλής πίεσης στο δακτύλιο μεταξύ της σωλήνωσης υποστήριξης και του σχηματισμού. Τα τσιμέντα που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία πετρελαίου είναι τυποποιημένα κατά API. Πέρα από την ποιότητα του τσιμέντου, η σωστή εκτέλεση της σκυροδέτησης έχει πολύ μεγάλη σημασία για την ποιότητα του τσιμεντένιου περιβλήματος (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).

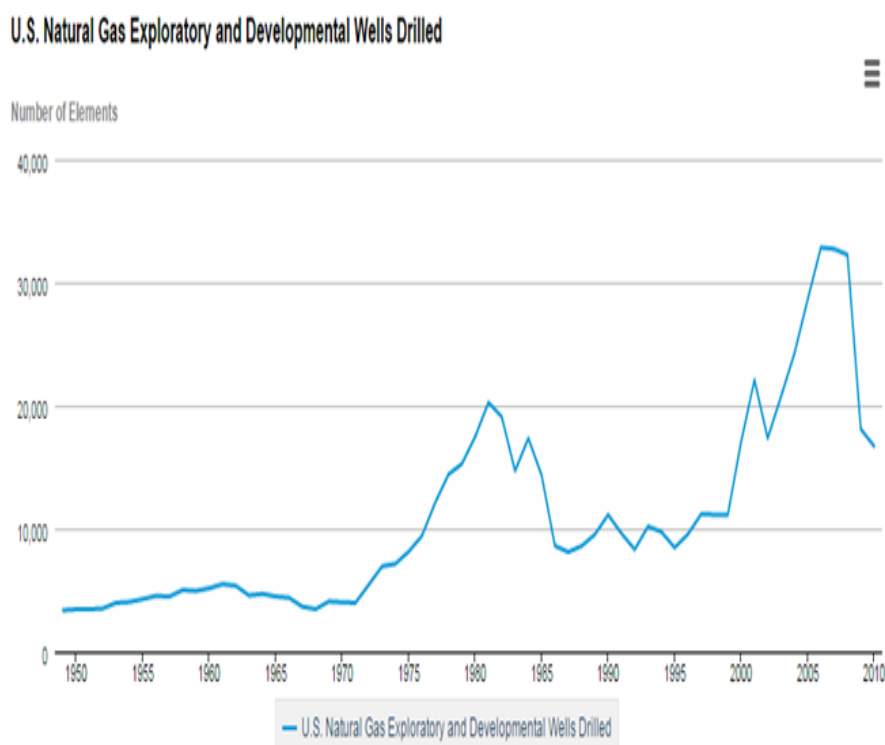
4.1.5 Δοκιμαστικές Γεωτρήσεις

Οι δοκιμαστικές γεωτρήσεις έχουν στόχο την αξιολόγηση της ποιότητας των περιεχομένων του εδάφους σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός βιομηχανιών οι οποίες κάνουν χρήση των δοκιμαστικών γεωτρήσεων πολλές φορές μέσω εταιρειών που παρέχουν τις σχετικές υπηρεσίες. Κατά τη διάρκεια των δοκιμαστικών γεωτρήσεων, η αρμόδια εταιρεία θα πρέπει να καθορίσει το κατά πόσο η εκμετάλλευση της τοποθεσίας θα οδηγήσει σε οφέλη που υπερσκελίζουν το κόστος της γεώτρησης. Βασικό λόγο πραγματοποίησης δοκιμαστικών γεωτρήσεων αποτελεί τόσο η έρευνα μεταλλευμάτων αλλά και η έρευνα για πετρέλαιο. Οι βιομηχανίες

πετρελαίου αναλύουν τα δείγματα της γεώτρησης προκειμένου να εκτιμήσουν την ποιότητα του αργού πετρελαίου, ενώ οι γεωλόγοι εστιάζουν στην εκτίμηση της ποσότητας του πετρελαίου που ενδεχομένως να είναι διαθέσιμο στην περιοχή.

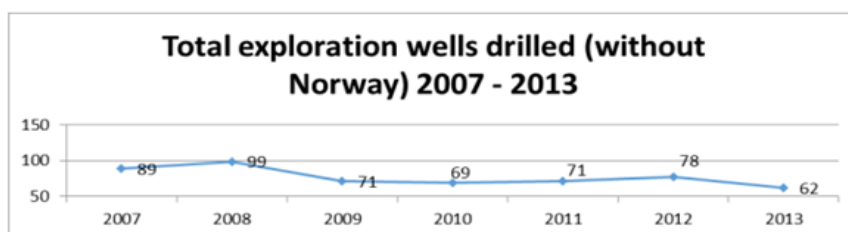
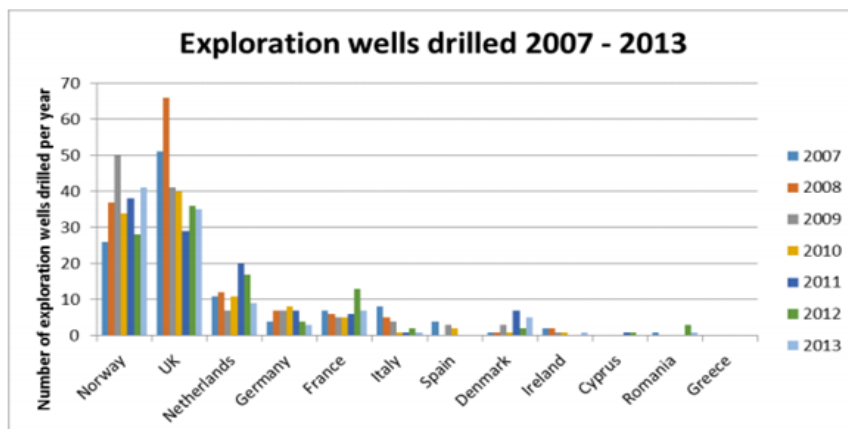
Τα δεδομένα που συλλέγονται από τη γεωλογική και γεωφυσική έρευνα χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ύπαρξη πετρελαίου ή φυσικού αερίου στην περιοχή. Η όσο το δυνατόν πιο ακριβής απάντηση για την ποσότητα αυτών, δίνεται μέσα από τις δοκιμαστικές γεωτρήσεις (Petroleum and Gas Field Processing, H.K. Abdel-Aal, Mohamed Aggour, M.A. Fahim).

Παρακάτω απεικονίζεται το πλήθος των δοκιμαστικών γεωτρήσεων στις ΗΠΑ και στην Ευρώπη.



Εικόνα 4.4: Δοκιμαστικές γεωτρήσεις φυσικού αερίου σε ΗΠΑ

(πηγή: US Energy Information Administration)



Εικόνα 4.5: Δοκιμαστικές γεωτρήσεις σε Ευρώπη

(πηγή: International Association of Oil and Gas Producers)

4.2 Παραγωγή

4.2.1 Σκοπός

Ο σκοπός του προγράμματος εκμετάλλευσης και παραγωγής των κοιτασμάτων υδρογονανθράκων είναι η παραγωγή βέλτιστων ποσοτήτων εμπορεύσιμων προϊόντων στο ελάχιστο κόστος και με στενή παρακολούθηση όλων των παραμέτρων που αφορούν στην ασφάλεια και στην προστασία του περιβάλλοντος. Οι παράμετροι ασφαλείας και προστασίας περιβάλλοντος είναι πρωταρχικής σημασίας. Στο δεύτερο μισό του 19ου αιώνα, η εμφάνιση πίδακα πετρελαίου ήταν απόδειξη της ύπαρξης πετρελαίου που σε ένα κοίτασμα, και ήταν αφορμή για πανηγυρισμούς. Λόγω της συνεχούς βελτίωσης του τεχνικού εξοπλισμού και της εκπαίδευσης του προσωπικού, οι πίδακες έχουν γίνει σπάνιοι, αλλά δε μπορεί να αποφευχθούν εντελώς λόγω ανθρωπίνων σφαλμάτων (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).

4.2.2 Μηχανική Παραγωγής

Ο όρος *μηχανική παραγωγής* (production engineering) περιγράφει πλήρωση, έναρξη της παραγωγής, διάτρηση, χειρισμό του φρέατος και του κοιτάσματος, τεχνική

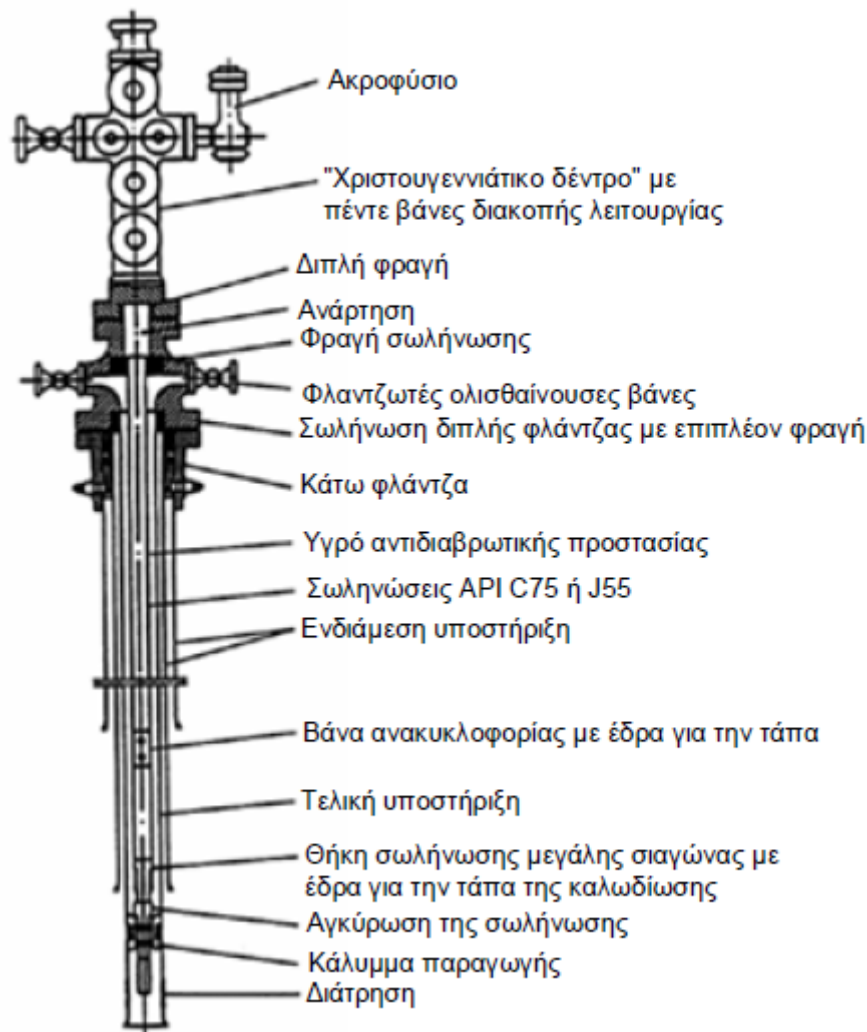
θραύσεων, προεργασία, σχέση εισροής – απόδοσης, μονοφασική και διφασική ροή μέσω των σωληνώσεων και των αγωγών, μηχανική ασφαλείας, προστασία περιβάλλοντος, και τέλος κλείσιμο και εγκατάλειψη των φρεάτων.

4.2.2.1 Ολοκλήρωση

Εάν μετά τις απαραίτητες μετρήσεις και δοκιμές, ένα φρέαρ θεωρηθεί ως αξιόλογο για παραγωγή, τότε ολοκληρώνεται, δηλαδή εγκαθίσταται όλος ο απαραίτητος για την παραγωγή εξοπλισμός (Εικόνα 4.4). Τα απαραίτητα μέρη για τη συμπλήρωση είναι η κεφαλή, με τις απαιτούμενες φλάντζες, η σωλήνωση υποστήριξης, η

σκυροδέτηση, η τοποθέτηση των σωληνώσεων παραγωγής, και η “συμπλήρωση της οπής πυθμένα”. Η τελευταία παράμετρος περιλαμβάνει τον ειδικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται στη ζώνη του κοιτάσματος, π.χ. ευθυγραμμιστές, στηρίγματα ευθυγραμμιστών, αμμόφιλτρα, πληρωτικά και όλον τον "καλωδιωμένο εξοπλισμό", ο οποίος μπορεί να λειτουργηθεί μέσω καλωδίωσης.

Ολοκλήρωση Οπής Πυθμένα. Υπάρχουν δύο τύποι ολοκλήρωσης φρέατος στη ζώνη παραγωγής, ανοιχτής οπής και διάτρητης σωλήνωσης υποστήριξης. Η ολοκλήρωση ανοιχτής οπής, στην οποία δεν ενισχύεται ο παραγωγικός σχηματισμός, χρησιμοποιείται σπάνια. Σε περιπτώσεις σχηματισμών με αρκετό πάχος, μικρή συγκέντρωση και υψηλούς ρυθμούς παραγωγής προκύπτουν προβλήματα από τη διείσδυση άμμου από το σχηματισμό στο φρέαρ. Γι’ αυτό το λόγο η σωλήνωση υποστήριξης τοποθετείται είτε επάνω είτε κάτω από τον παραγωγικό σχηματισμό και σκυροδετείται. Για να τρέξει το προς παραγωγή ρευστό μέσα στο φρέαρ, τρυπιούνται η σωλήνωση υποστήριξης και η σκυροδέτηση στη ζώνη του ταμιευτήριου πετρώματος.



Εικόνα 4.4 : Μηχανισμός παραγωγής για ένα τυπικό φρέαρ

4.2.2.2 Διάτρηση

Με τη διάτρηση της σωλήνωσης υποστήριξης και της σκυροδέτησης, το φρέαρ συνδέεται υδραυλικά με το κοίτασμα, ώστε το ρευστό να μπορεί να εισέλθει στο φρέαρ με τη μικρότερη δυνατή πτώση πίεσης. Για τη διάτρηση χρησιμοποιούνται εκρηκτικά τοποθετημένα σε κατάλληλες θέσεις, ώστε να δώσουν το επιθυμητό σχήμα. Εισάγονται στην οπή του φρέατος με καλώδιο, και πυροδοτούνται όταν φτάσουν στο επιθυμητό σημείο. Ο αριθμός των διατρήσεων, η διάταξή τους και το μέγεθος των οπών τους εξαρτάται από τη σκληρότητα του πετρώματος και της συνθήκες του φρέατος.

Το βάθος διείσδυσης στο βράχο λόγω της έκρηξης διάτρησης είναι από 10 έως 40 cm, ανάλογα με την αντοχή του πετρώματος.

4.2.2.3 Επεξεργασίες Φρέατος και Κοιτάσματος

Η επεξεργασία του φρέατος και του κοιτάσματος πραγματοποιούνται για την αύξηση της παραγωγικότητας του φρέατος. Η μείωση της παραγωγικότητας μπορεί να οφείλεται στη διεργασία της γεώτρησης ή να επέλθει κατά τη διάρκεια της παραγωγής. Η επεξεργασία του φρέατος προορίζεται για να επαναφέρει την αρχική κατάσταση, ή με άλλα λόγια, να επαναφέρει μια εισροή προς το φρέαρ χωρίς περιορισμούς. Η επεξεργασία του κοιτάσματος αποσκοπεί στην αδιάλειπτη αύξηση της ροής μέσω του ταμιευτήριου πετρώματος (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).

4.2.3 Παραγωγή Πετρελαίου

Η παραγωγή πετρελαίου, ανάλογα με τον τρόπο που χρησιμοποιείται για την άφιξη του πετρελαίου στην επιφάνεια της γης, υποδιαιρείται σε τρία στάδια ανάκτησης: πρωτογενή, δευτερογενή και τριτογενή.

Πρωτογενής Ανάκτηση. Στο στάδιο της πρωτογενούς ανάκτησης, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο παράγονται με την πίεση του κοιτάσματος ως κινητήριο δύναμη για να ωθήσει το υλικό στην επιφάνεια. Τα φρέατα συχνά "υποβοηθούνται" μέσω έγχυσης ρευστών, τα οποία σπάζουν τους δεσμούς υδρογονανθράκων – φέροντος σχηματισμού για να βελτιώσουν τη ροή του πετρελαίου και του φυσικού αερίου από το κοίτασμα προς το φρέαρ. Όταν η πίεση του κοιτάσματος μειωθεί, χρησιμοποιούνται άλλες τεχνικές, όπως άντληση και υποβοήθηση μέσω ανερχόμενου αερίου. Με την πρωτογενή ανάκτηση ανακτάται 10 – 15% του συνολικού πετρελαίου που υπάρχει στο κοίτασμα.

Δευτερογενής Ανάκτηση. Η δευτερογενής ανάκτηση χρησιμοποιεί άλλους μηχανισμούς - όπως επανέγχυση αερίου και πλημμύριση με νερό για να παράγει πετρέλαιο και φυσικό αέριο που παραμένουν στο κοίτασμα μετά από την αρχική φάση ανάκτησης. Με τη δευτερογενή ανάκτηση ανακτάται 10 – 20% του συνολικού πετρελαίου που υπάρχει στο κοίτασμα.

Τριτογενής Ανάκτηση. Η τριτογενής αποκατάσταση περιλαμβάνει την έγχυση αερίων (όπως διοξείδιο του άνθρακα), ή χρήση θερμότητας (ατμός ή θερμό νερό) για να υποβοηθηθεί η ροή πετρελαίου και φυσικού αερίου για να παραχθούν επιπλέον

ποσότητες ρευστών που δεν εξήχθησαν κατά τη διάρκεια των φάσεων πρωτογενούς ή δευτερογενούς ανάκτησης. Με την τριτογενή ανάκτηση ανακτάται 30 – 50% του συνολικού πετρελαίου που υπάρχει στο κοίτασμα.

Με τη διάνοιξη και την ανάπτυξη του κοιτάσματος προσδιορίζονται οι πιο βασικές ιδιότητές του: πίεση κοιτάσματος, διαπερατότητα πετρωμάτων, ιξώδες παραγόμενου ρευστού, παρουσία και χαρακτηριστικά νερού ως μηχανισμός προώθησης. Αυτές οι παράμετροι είναι θεμελιώδεις για τον προγραμματισμό των μεθόδων και του ρυθμού παραγωγής καθώς και του απαιτούμενου εξοπλισμού.

Κατά κύριο λόγο είναι διαθέσιμες οι ακόλουθες μέθοδοι παραγωγής:

1. Παραγωγή με ροή.
2. Ανύψωση με αέριο.
3. Φυγοκεντρικές αντλίες.
4. Εμβολοφόρες ή υδραυλικές αντλίες.

Με αυτές τις μεθόδους παράγονται περίπου $3.25 \times 10^9 \text{ m}^3$ αργού πετρελαίου ανά έτος, από βάθη έως τα 6000 m.

Παραγωγή με Ροή. Ως αποτέλεσμα της παραγωγής, εμφανίζεται μια πτώση στην πίεση που επεκτείνεται, σε σχήμα χοάνης, γύρω από την οπή. Κάτω από την επίδραση αυτής της βαθμίδας πίεσης, το ρευστό του ταμιευτήρα ρέει προς την οπή, εισέρχεται μέσω των οπών της διάτρησης, ανέρχεται μέσω της σωλήνωσης προς την επιφάνεια, και ρέει στην επιφάνεια μέσω αγωγών στον αγωγό συλλογής προς την κεντρική εγκατάσταση. Στην κεντρική εγκατάσταση συλλέγεται η παραγωγή από όλα τα πεδία, εξυδατώνεται, και μεταφέρεται προς τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας (δυλιστήρια). Η πίεση ροής στο βάθος του κοιτάσματος είναι επαρκής για να υπερνικήσει την υδροστατική πίεση της στήλης παραγωγής και τις απώλειες τριβής στην ακολουθία σωληνώσεων και τους αγωγούς επιφάνειας.

Ο ρυθμός παραγωγής με ροή υπολογίζεται ως συνάρτηση της πίεσης ροής στον πυθμένα, της διαμέτρου σωληνώσεων, και της πίεσης στην επιφάνεια σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τις εμπειρικές παραμέτρους που καθορίζουν τη διφασική ροή.

Η διάρκεια αυτής της οικονομικά συμφέρουσας φάσης παραγωγής μπορεί να επεκταθεί με καλή ρύθμιση του ρυθμού παραγωγής ως προς τη διατομή του αγωγού παραγωγής.

Παραγωγή λόγω Ανύψωσης με Αέριο. Στη μέθοδο ανύψωσης με αέριο, το αέριο εγχέεται στη σωλήνωση σε ένα σημείο ή – για να ελαχιστοποιήσει την αρχική πίεση – σε διάφορα διαδοχικά σημεία και κατ' αυτό τον τρόπο έχει ξεκινήσει η ροή φυσαλίδων ή η εμβολική ροή, όπως ισχύει για αυτήν του είδους την εκρηκτική παραγωγή. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συνεχώς ή περιοδικά, ανάλογα με το ρυθμό ροής, το ρυθμό παραγωγής, και τη διαθεσιμότητα αερίου.

Η φάση εκρηκτικής παραγωγής συχνά υποστηρίζεται με τον ανύψωση λόγω αερίου ή μεταπηδά στον ανύψωση λόγω αερίου όταν μειώνεται η κλίση πίεσης μεταξύ της γεώτρησης και του ταμιευτήρα. Η δυνατότητα εφαρμογής αυτής της ευέλικτης μεθόδου παραγωγής περιορίζεται όταν υπάρχει έλλειψη αερίου ή το κόστος συμπίεσης αερίου είναι πάρα πολύ υψηλό. Όπου είναι διαθέσιμη ικανοποιητική ποσότητα αερίου, το πεδίο εφαρμογής είναι ευρύ λόγω της ευελιξίας αυτής της μεθόδου όσον αφορά το ρυθμό παραγωγής και το βάθος. Σε γεωτρήσεις με μεγάλη κλίση και εάν παράγονται από κοινού και αποξεστικά υλικά, η μέθοδος ανύψωσης με αέριο συνήθως πλεονεκτεί όλων των άλλων μεθόδων παραγωγής (κανένα κινούμενο μέρος).

Οι βάνες ανύψωσης αερίου που ελέγχονται από την πίεση έγχυσης προσαρμόζονται στη σωλήνωση, στην οποία εγχέουν το αέριο ανύψωσης. Η πίεση στη βάνα ελέγχεται μέσω ενός μηχανισμού πίεσης (pressure bellow) που λειτουργεί με ή χωρίς υποστήριξη ελατηρίου (ανάλογα με τον τύπο). Ο μηχανισμός πίεσης ρυθμίζεται σε ορισμένη πίεση ανοίγματος και κλεισίματος στην επιφάνεια πριν την εγκατάστασή του.

Δεδομένου ότι στο ξεκίνημα της λειτουργίας ενός φρέατος σε λειτουργία με ανύψωση λόγω αερίου η αντίθλιψη ολόκληρης της στήλης υγρού απαιτεί μια υψηλή πίεση έγχυσης, διάφορες βάνες ανύψωσης είναι εγκατεστημένες και καταναμημένες στη σωλήνωση, οι πιέσεις ανοίγματος των οποίων συντονίζονται μεταξύ τους.

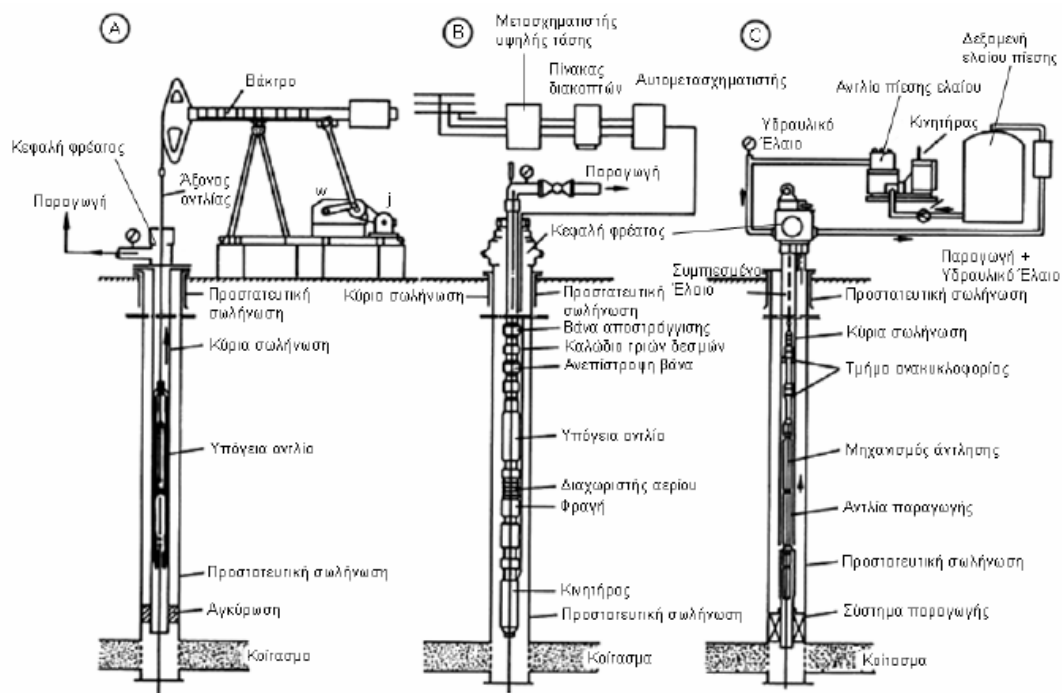
Παραγωγή με Υπόγειες Αντλίες. Οι υπόγειες αντλίες είναι η πιο διαδεδομένη μορφή για την παραγωγή πετρελαίου, το οποίο συνήθως περιέχει και σημαντική ποσότητα

νερού. Οι τύποι αντλιών που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν ηλεκτρικές εμβυθισμένες φυγοκεντρικές αντλίες και μηχανικές ή υδραυλικές υπόγειες εμβολοφόρες αντλίες. Οι αντλίες εγκαθίστανται κάτω από τη στάθμη του υγρού επίπεδο στα φρέατα και, σε δύσκολες υπόγειες συνθήκες, πρέπει να υπερνικήσουν τα υδραυλικά πίεση αρκετών εκατοντάδων έως μερικών χιλιάδων μέτρων (Εικόνα 4.5). Οι τύποι υπογείων αντλιών που χρησιμοποιούνται είναι:

Ηλεκτρικές Εμβυθισμένες Φυγοκεντρικές Αντλίες. Είναι πολυβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες εμβυθισμένες στο προς παραγωγή υγρό, εγκατεστημένες στην οπή του φρέατος, συνδεδεμένες άμεσα με τον κινητήρα, και αναρτημένες στη σωλήνωση.

Μηχανικές Υπόγειες Αντλίες με Βάκτρο. Η παραγωγή πετρελαίου ήταν για μια μεγάλη περίοδο συνώνυμη της χρήσης αντλιών με βάκτρο, που είναι εγκατεστημένες ως αντλίες σωλήνωσης ή είναι τοποθετημένες στο βάθος άντλησης, ως εισηγμένες αντλίες στο βάκτρο άντλησης. Αυτές οι αντλίες κινούνται από την επιφάνεια μέσω βάκτρων με κινητήρα, γριναζοκιβώτιο, και σύστημα ανύψωσης, που περιλαμβάνει το τυπικό βάκτρο με την "κεφαλή γαϊδάρου" στο οποίο προσαρμόζεται το συρματόσχοινο της άντλησης.

Υδραυλικές Υπόγειες Εμβολοφόρες Αντλίες. Όπως οι ηλεκτρικές εμβυθισμένες φυγοκεντρικές αντλίες, αυτές οι αντλίες λειτουργούν υπόγεια, με ρευστό υψηλής πίεσης. Τα προβλήματα με το συρματόσχοινο αποφεύγονται με την υδραυλική μετάδοση της κινητικής ενέργειας με ένα βοηθητικό υγρό από την επιφάνεια σε μια αντλία που εγκαθίσταται στη γεώτρηση. Μια αντλητική εγκατάσταση υψηλής πίεσης παρέχει το "έλαιο πίεσης" που τροφοδοτείται στα ανεξάρτητα παραγωγικά φρέατα και την αντλία μέσω της σειράς σωληνώσεων (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).



Εικόνα 4.5 : Διαφορετικοί τύποι αντλιών

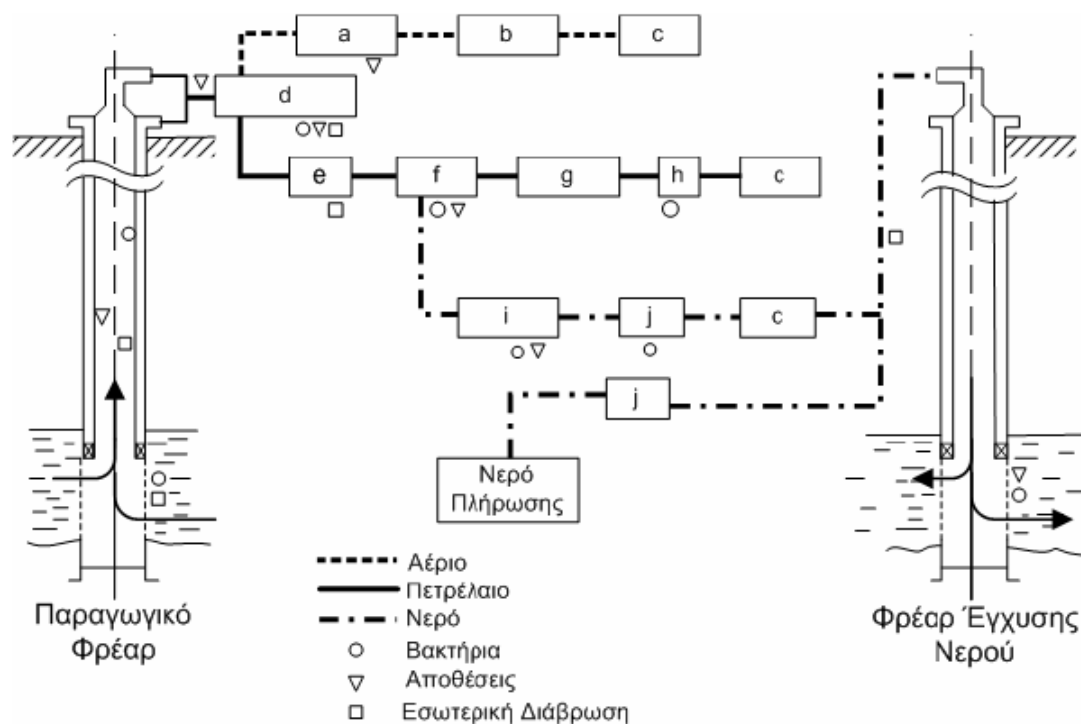
A) Υπόγεια με βάκτρο, με βηματική οδήγηση, B) Ηλεκτρική εμβυθισμένη φυγοκεντρική αντλία, C) Υδραυλική υπόγεια εμβολοφόρος αντλία με παροχή πίεσης ελαίου στο ανοιχτό σύστημα.

4.2.3.1 Συλλογή και Επεξεργασία Αργού Πετρελαίου

Οι ρυθμοί παραγωγής, οι ιδιότητες του αργού πετρελαίου, και οι συνθήκες των πεδίων καθορίζουν με ποιον τρόπο και μέχρι ποιο σημείο η παραγωγή των μεμονωμένων φρεατίων, ομάδων φρεατίων, μερών του συνολικού πεδίου, ή αρκετών γειτονικών πεδίων θα συνδυαστούν. Η επεξεργασία στο πεδίο περιλαμβάνει το διαχωρισμό του αερίου και την απομάκρυνση του νερού (Εικόνα 4.6).

Διαχωρισμός Αερίου. Η διαδικασία απαερίωσης ξεκινά μέσα στο κοίτασμα και εντείνεται με τη μείωση της πίεσης και της θερμοκρασίας μέσω της σωλήνωσης της γεώτρησης και διανομής κατά την παραγωγή. Συνεπώς, ένα διφασικό μίγμα εισάγεται στους διαχωριστές αερίου. Για να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση σε υγρό και σε σχετικά υψηλούς λόγους αερίου – πετρελαίου, πρέπει να χρησιμοποιηθεί διαχωρισμός πολλών βαθμίδων. Όμως το υψηλό κόστος εξοπλισμού και οι ειδικές απαιτήσεις, όπως π.χ. παράδοση αερίου στους καταναλωτές σε υψηλή πίεση, οδηγεί συνήθως στη χρήση δύο ή τριών βαθμίδων διαχωρισμού.

Αφυδάτωση και Αφαλάτωση. Δεδομένου ότι το αργό πετρέλαιο μπορεί να παραχθεί ακόμη και με 95% περιεκτικότητα σε νερό, το νερό – μαζί με την άμμο και άλλες ακαθαρσίες – αφαιρείται το νωρίτερο δυνατόν για να μειώσει το κόστος μεταφοράς και προβλήματα διάβρωσης. Τα πρότυπα αποδοχής αργού πετρελαίου στα διυλιστήρια στη Γερμανία περιορίζουν τη συνολική μόλυνση (νερό και λάσπη) του αργού πετρελαίου γενικά στο 1% (περιεκτικότητα σε αλάτι κάτω από 0.02 %). Το νερό διαχωρίζεται μόνο εν μέρει ως "ελεύθερο νερό". Το νερό και το πετρέλαιο εμφανίζονται κυρίως ως ένα γαλάκτωμα, που πρέπει είμαι σπάσει με θερμικές, μηχανικές, χημικές, ή ηλεκτρικές μεθόδους, ή από συνδυασμό τους. ταυτόχρονα, οι γαλακτωματοποιητές που υπάρχουν στο αργό πετρέλαιο (συστατικά που συγκεντρώνονται στη διεπιφάνεια) πρέπει να απενεργοποιηθούν. Τα ελεύθερα σταγονίδια νερού πρέπει να συσσωματωθούν και, με τη βοήθεια δυνάμεων βαρύτητας ή φυγοκέντρωσης, να διαχωριστεί (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).



Εικόνα 4.6 : Διάγραμμα ροής ενός πεδίου πετρελαίου

a) Συμπιεστής, b) Ξήρανση c) Αγωγός, d) Διαχωριστής αερίου, e) Θερμαντήρας f) Διαχωριστής, g) Αφαλατωτής, h) Δεξαμενή i) Δευτερογενής καταβύθιση, j) Φίλτρο

4.2.4 Παραγωγή Φυσικού Αερίου

Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της παραγωγής φυσικού αερίου είναι βάθη κοιτασμάτων μεγαλύτερα από 5000 m, τα προβλήματα υποστήριξης που σχετίζονται με αυτό, και τον τεχνικά ασφαλή έλεγχο των υδροθείου, διοξειδίου του άνθρακα, και αζώτου που υπάρχουν στο κοίτασμα. Για να αποφευχθεί ρήξη λόγω διάβρωσης και μηχανικής καταπόνησης που προκαλείται από το υδρόθειο, στα φρέατα όξινου αερίου παρέχονται όλες οι υποστηρίξεις που εξασφαλίζουν την κυκλοφορία των διαλυτών ή/και των αναστολέων διάβρωσης. Η επιλογή των κατάλληλων υλικών παίζει κρίσιμο ρόλο για τις σωληνώσεις ενίσχυσης και υποστήριξης. Οι μεγάλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας αφαιρούν το υδρόθειο με πύργους προσρόφησης και το άζωτο με υγροποίηση.

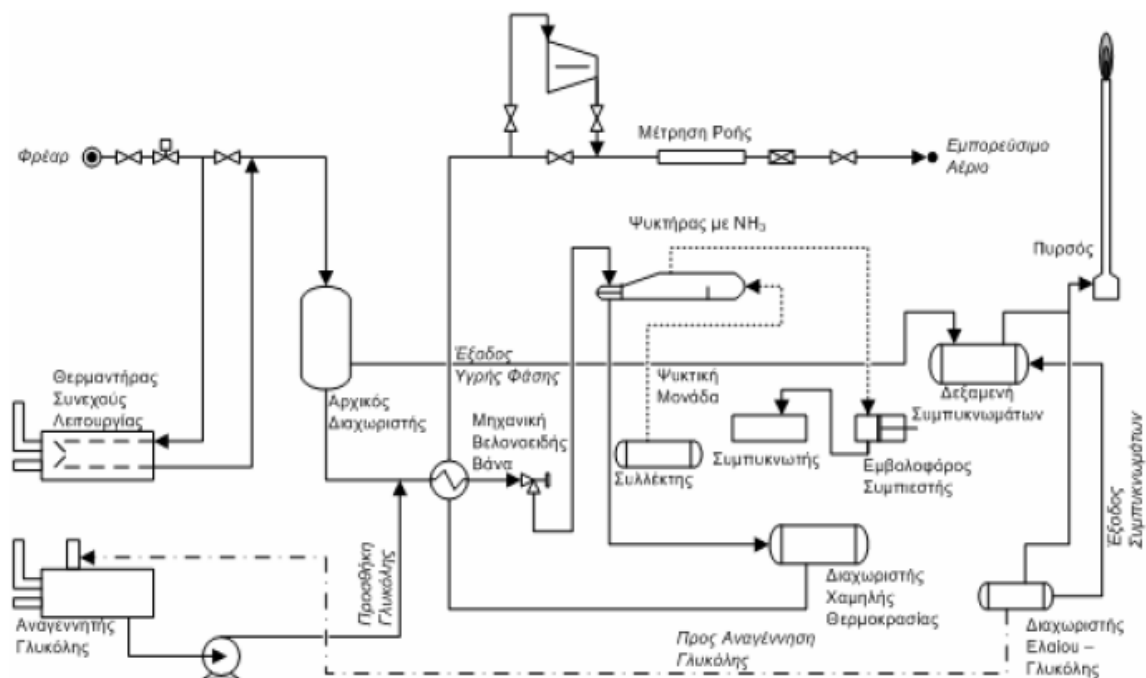
Η υψηλή πίεση και οι υψηλές διαφορικές πιέσεις, οι ακραίες θερμοκρασιακές διαφορές, και τα διαβρωτικά συστατικά του αερίου απαιτούν την ιδιαίτερη προσοχή στον εξοπλισμό παραγωγής των φρεάτων αερίου. Το αέριο κρατιέται μακριά από την προστατευτική σωλήνωση της γεώτρησης από τον εξοπλισμό παραγωγής ο οποίος, στην απλούστερη περίπτωση, αποτελείται από τη σωλήνωση και το χώρο συγκέντρωσης. Η ανάγκη για πλήρη και ανθεκτική φραγή κάνει επιτακτική τη χρήση υλικών και εξοπλισμού ακριβείας. Για τα φρέατα αερίου έχουν αναπτυχθεί ειδικοί στεγανοί σύνδεσμοι σωληνώσεων. Για την επιλογή της σωλήνωσης και των συνδέσμων της πρέπει να ληφθούν υπόψη η μεγάλη καταπόνηση ως αποτέλεσμα της υψηλής πίεσης και των αλλαγών θερμοκρασίας, που προκαλούν μεγάλες αντιστροφές φορτίσεων.

Η μεταβολή της πίεσης του κοιτάσματος με το χρόνο, το βάθος της, η περιοχή εισροής στο φρέαρ, η αναμενόμενη περίοδος παραγωγής, και η πιθανή παραγωγή υγρού κατά τη διάρκεια της παραγωγής καθορίζουν την επιλογή του μεγέθους σωληνώσεων και συνεπώς του ρυθμού παραγωγής.

Τα συστήματα διαχωρισμού (packers) σφραγίζουν μία ή περισσότερες παραγωγικές ζώνες από τις άλλες και από τον παραγωγικό δακτύλιο. Τα χρησιμοποιούμενα υλικά φραγής πρέπει να είναι θερμοκρασιακά σταθερά, με μόνιμες ελαστικές ιδιότητες, και ανθεκτικά σε αέριο και υδρόθειο. Για την περαιτέρω ασφάλεια του φρεάτος, ο δακτύλιος γεμίζει συνήθως με ένα προστατευτικό υγρό (νερό με αναστολείς διάβρωσης).

Απαραίτητα στοιχεία της ακολουθίας σωληνώσεων είναι συσκευές για τις λειτουργίες του φρέατος, για τον έλεγχο και την παρακολούθηση της παραγωγής, και για διορθωτικά μέτρα, όπως η έγχυση αναστολέων διάβρωσης ή προσθέτων για την αποφυγή σχηματισμού υδριτών. Αυτές οι συσκευές είναι εγκατεστημένες, συρόμενες, και ενεργοποιημένες πάνω στην καλωδίωση. Οι ολοκληρώσεις πολυζωνικών κοιτασμάτων, οι επισκευές φρεάτων, οι εκλεκτικές δοκιμές και οι λειτουργίες επεξεργασίας, το κλείσιμο των φρεάτων, και η παραγωγή με ανύψωση λόγω αερίου απαιτούν το επιλεκτικό, κατευθυνόμενο άνοιγμα της ακολουθίας σωληνώσεων. Για αυτόν το λόγο αυτό εγκαθίστανται σύνδεσμοι πλευρικών θυρίδων, οι οποίες ενεργοποιούνται με κατάλληλα εργαλεία από την καλωδίωση.

Η παραγωγή ελέγχεται και παρακολουθείται από βάνες ελέγχου και μετρητικά τμήματα. Ελέγχεται γενικά ως συνάρτηση του ρυθμού παραγωγής ή της πίεσης. Οι ρυθμοί καθορίζονται από μετρήσεις με κατάλληλα μετρητικά διαφράγματα. (Εικόνα 4.7)



Εικόνα 4.7 : Διάγραμμα ροής εγκατάστασης ξήρανσης φυσικού αερίου με εξωτερική ψύξη και αύξηση πίεσης

Η ασφάλεια είναι πρωταρχικής σημασίας. Στην επιφάνεια, π.χ. οι βάνες σε κανονικές συνθήκες κρατιούνται ανοικτές μέσω ενός συστήματος αερίου χαμηλής πίεσης. Εάν η πίεση στο σύστημα αισθητήρων πέσει, οι βάνες αυτές κλείνουν τη γραμμή παραγωγής. Με τις βάνες υπόγειας ασφάλειας, μια βάνα ασφάλειας που κρατιέται ανοικτή μέσω μιας υδραυλικής γραμμής ελέγχου κλείνει την ακολουθία σωληνώσεων μόλις πέσει η πίεση στη γραμμή ελέγχου. Άλλες ρυθμίσεις αποτρέπουν το πάγωμα των συσκευών και των γραμμών ελέγχου στην επιφάνεια από το σχηματισμό υδριτών, και προστατεύουν τις επίγειες εγκαταστάσεις από υπερβολικά υψηλές πιέσεις.

Πολλά εξαντλημένα κοιτάσματα αερίου έχουν μετατραπεί σε *δεξαμενές φυσικού αερίου μεγάλου βάθους*, όπου η ζήτηση και η καταλληλότητα το επιτρέπουν. Ερωτήματα της μηχανικής παραγωγής είναι επίσης πολύ σημαντικά για δεξαμενές αποθήκευσης, ειδικά δεδομένου ότι οι ρυθμοί απόσυρσης μέχρι δέκα φορές τους ρυθμούς παραγωγής ενός κοιτάσματος αερίου τα καταδεικνύουν (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).

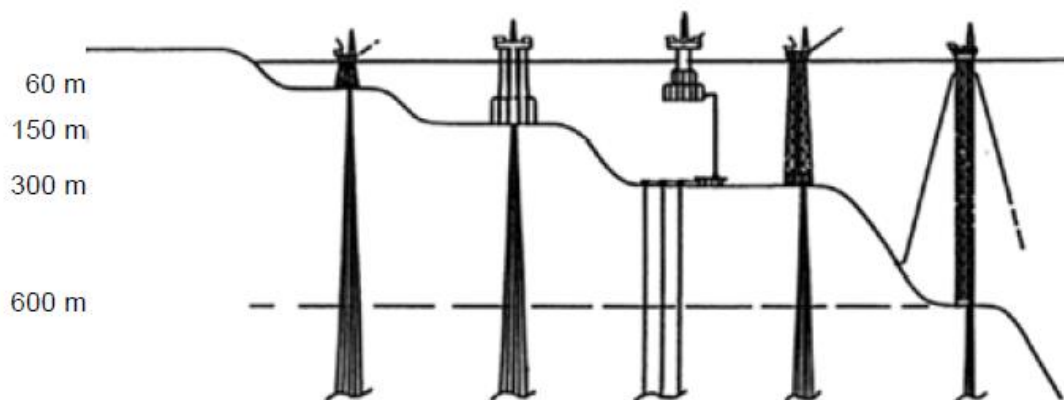
4.2.5 Ανάκτηση από Υποθαλάσσια Κοιτάσματα

Οι υγροί και αέριοι υδρογονάνθρακες στα υποθαλάσσια κοιτάσματα ανακτώνται και παράγονται με εξοπλισμό και συσκευές που αντιστοιχούν σε γενικές γραμμές σε εκείνες των χερσαίων εγκαταστάσεων. Διάκριση γίνεται μεταξύ των υποστηρικτικών κατασκευών που χρησιμοποιούνται για τις γεωτρητικές εγκαταστάσεις (εξέδρες) που χρησιμοποιούνται μόνο προσωρινά, και εκείνων που χρησιμοποιούνται για τις εγκαταστάσεις παραγωγής και επεξεργασίας που πρέπει να εγκατασταθούν στη θάλασσα κατά τη διάρκεια ολόκληρης της περιόδου εκμετάλλευσης του κοιτάσματος, συχνά περισσότερο από 20 έτη.

Λόγω των δύσκολων περιβαλλοντικών συνθηκών και του κινδύνου για το προσωπικό από την επεξεργασία ιδιαίτερα εύφλεκτων υδρογονανθράκων σε έναν πολύ μικρό χώρο (ειδικά για τα αέρια), οι απαιτήσεις ασφάλειας για τις μονάδες υποθαλάσσιας παραγωγής είναι ιδιαίτερα υψηλές.

Τα υποθαλάσσια φρέατα απαιτούν, για την απόσταση μεταξύ του πυθμένα της θάλασσας και της εξέδρας, μια ειδική σειρά περιβλήματος γνωστού ως ανυψωτή (riser), που πρέπει να αντισταθεί στις αντίξοες καιρικές συνθήκες, την κίνηση της θάλασσας, και τα θαλάσσια ρεύματα. Με την εξερεύνηση να προχωρά σε ακόμη

μεγαλύτερα βάθη, οι εξέδρες κατασκευάζονται και χρησιμοποιούνται σε θαλάσσια βάθη μέχρι 600 m (Εικόνα 4.8), ενώ η ανάπτυξη και ο προγραμματισμός προχωρούν ήδη σε θαλάσσια βάθη περίπου 1200 m. Η τεχνολογία ανυψωτών έχει επίσης εξελιχθεί πολύ. Οι παράμετροι ασφάλειας και συνεχούς ελέγχου υπό ακραίες καιρικές συνθήκες αποτελούν προτεραιότητα. Σε πιο μεγάλα βάθη, σε περιοχές με θαλάσσιες γραμμές, και για μικρότερα πεδία, χρησιμοποιείται μερικές φορές η υποθαλάσσια ολοκλήρωση, στην οποία η κεφαλή του φρέατος και η πολλαπλή είναι τοποθετημένες στον πυθμένα της θάλασσας (Καρώνης, Λόης, Ζαννίκος, 2011).



Εικόνα 4.8 : Κατασκευές υποστήριξης για παραγωγή από υποθαλάσσια κοιτάσματα.

5. Κόλπος του Μεξικού

5.1 Ανάπτυξη Υδρογονανθράκων στον κόλπο του Μεξικού

Γενικές πληροφορίες

Η καταστροφική έκρηξη και η μαζική διαρροή πετρελαίου που ακολούθησε τον Απρίλιο του 2010, αναζωογόνησε την παγκόσμια προσοχή στην 75 ετών πλέον παράκτια βιομηχανία υδρογονανθράκων στον κόλπο του Μεξικό, ο οποίος έχει καταστεί μια από τις μεγαλύτερες και πιο σημαντικές περιοχές παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου στον κόσμο. Σχεδόν το 27% της παραγωγής πετρελαίου των ΗΠΑ και το 37% του φυσικού τους αερίου προέρχονται από τα δυτικότερα και κεντρικά τμήματα του Κόλπου του Μεξικό (Gulf of Mexico - GOM) .

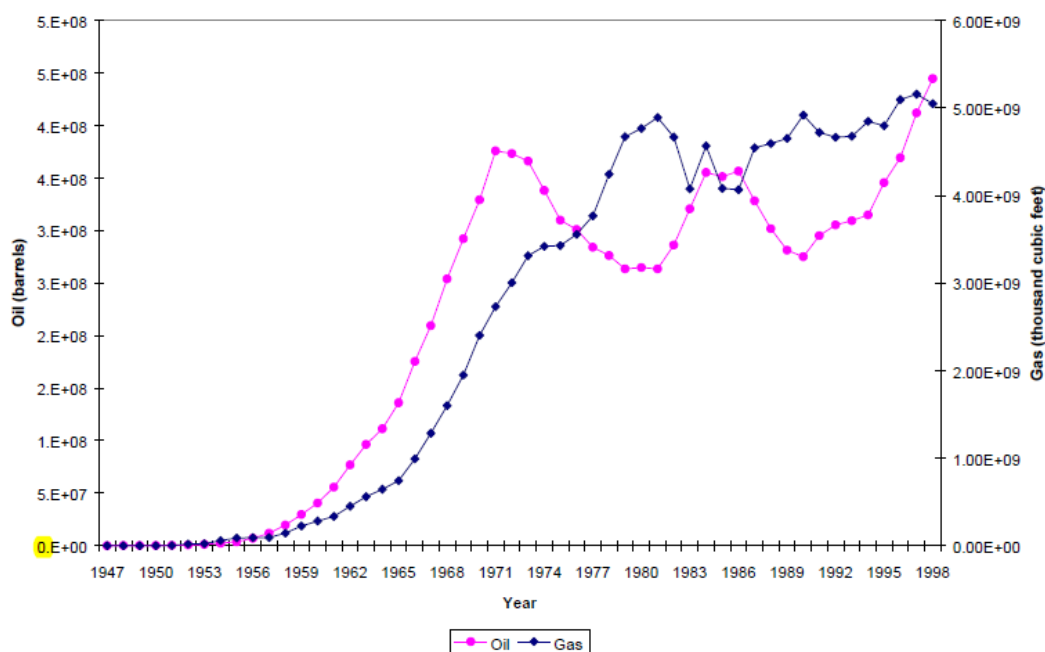
Υπάρχει επίσης σημαντική δυναμική πετρελαίου και φυσικού αερίου στη θαλάσσια ύδατα της Κούβας. Αρκετές ερευνητικές γεωτρήσεις ωστόσο απέτυχαν τις δοκιμασίες που θα καταστούσαν δυνατή μια εμπορικά βιώσιμη παραγωγή. Ωστόσο, αυτές οι προσπάθειες συνεχίζονται και προκαταρκτικές έρευνες ήδη υποδεικνύουν ότι τα ύδατα της Κούβας μπορούν να παράξουν από 5 έως 20 δις βαρέλια αργό πετρέλαιο (crude oil equivalent).

Καθώς η παραγωγή από τα προσβάσιμα χερσαία και παράκτια κοιτάσματα υδρογονανθράκων μειώνεται, έχει γίνει μεγάλη τεχνολογική πρόοδος ως προς τον εντοπισμό και την εκμετάλλευση μέσα από γεωτρήσεις στα βαθέα ύδατα του Κόλπου του Μεξικό. Η επιτυχία αυτών των προσπαθειών κατά την τελευταία δεκαετία φαίνεται από το γεγονός ότι το 80% του πετρελαίου που παράγεται στον Κόλπο του Μεξικό σήμερα προέρχεται από κοιτάσματα βαθέων υδάτων. Πολλές από αυτές τις ανακαλύψεις εντοπίζονται σε μία μεγάλη γεωλογική δομή γνωστή ως "Wilcox Trend". Η περιοχή αυτή βρίσκεται στα πιο βαθέα και απομακρυσμένα σημεία του Κόλπου και εκτείνεται από 1.500 έως 3.000 μέτρα βάθος, ενώ περιέχει υδρογονάνθρακες με υψηλές εμπορικές δυνατότητες. Οι ειδικοί εμπειρογνώμονες εκτιμούν ότι στην περιοχή αυτή βαθέων υδάτων του Κόλπου του Μεξικού μπορεί να ανακτηθούν από 3 έως 15 δις βαρέλια πετρελαίου. Εντωμεταξύ, το Μεξικό, έχει εκτιμήσει ότι 30 εκατομμύρια βαρέλια μπορεί να ανακτηθούν από την πλευρά των θαλάσσιων συνόρων του.

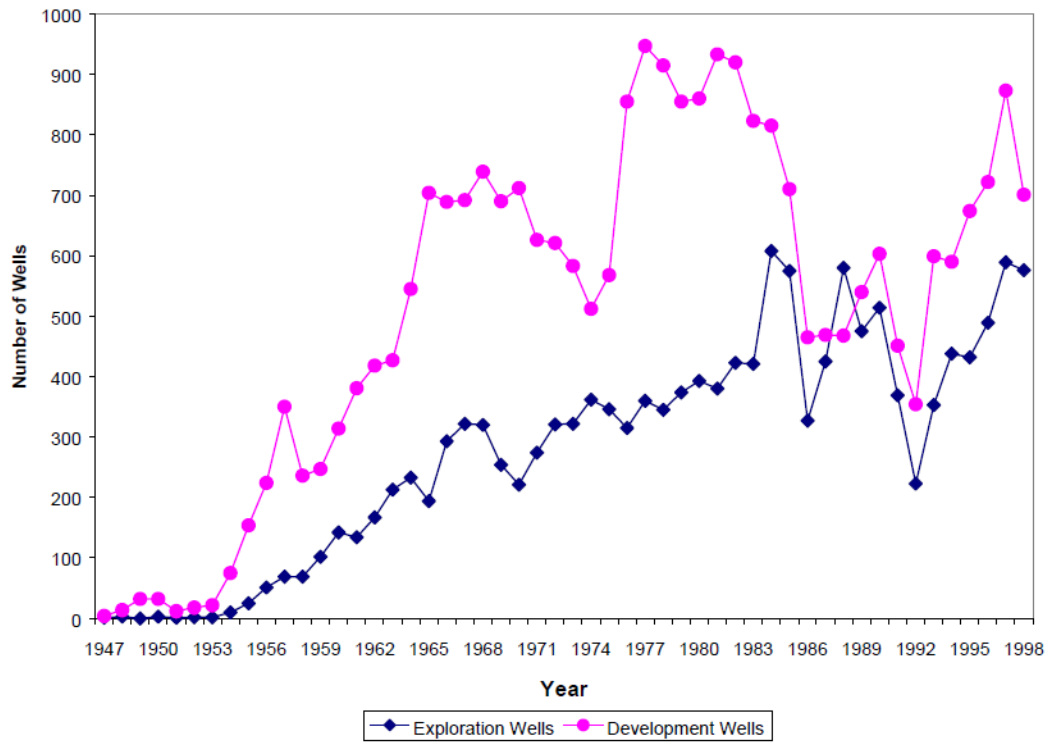
Η PEMEX η εθνική εταιρεία παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου του Μεξικού αντιμετωπίζει ελλείμματα ως προς την τεχνολογία και τη χρηματοδότηση προκειμένου να προβεί στον εντοπισμό φυσικού αερίου και πετρελαίου στα βαθέα ύδατα, με αποτέλεσμα η μεξικανική πλευρά του Κόλπου να παραμένει σε μεγάλο βαθμό ανεξερεύνητη. Αντίθετα, σημαντικές ποσότητες υδρογονανθράκων παράγονται σήμερα από τις ΗΠΑ, στη δική τους πλευρά των θαλάσσιων συνόρων.

Στις 20 Φεβρουαρίου 2012, οι ΗΠΑ και το Μεξικό διαπραγματεύτηκαν επιτυχώς μία διεθνή συμφωνία αναφορικά με τα διασυνοριακά αποθέματα υδρογονανθράκων στον κόλπο του Μεξικού, με στόχο ένα πλαίσιο αποτελεσματικής και ισότιμης εκμετάλλευσης (McLaughlin, 2012).

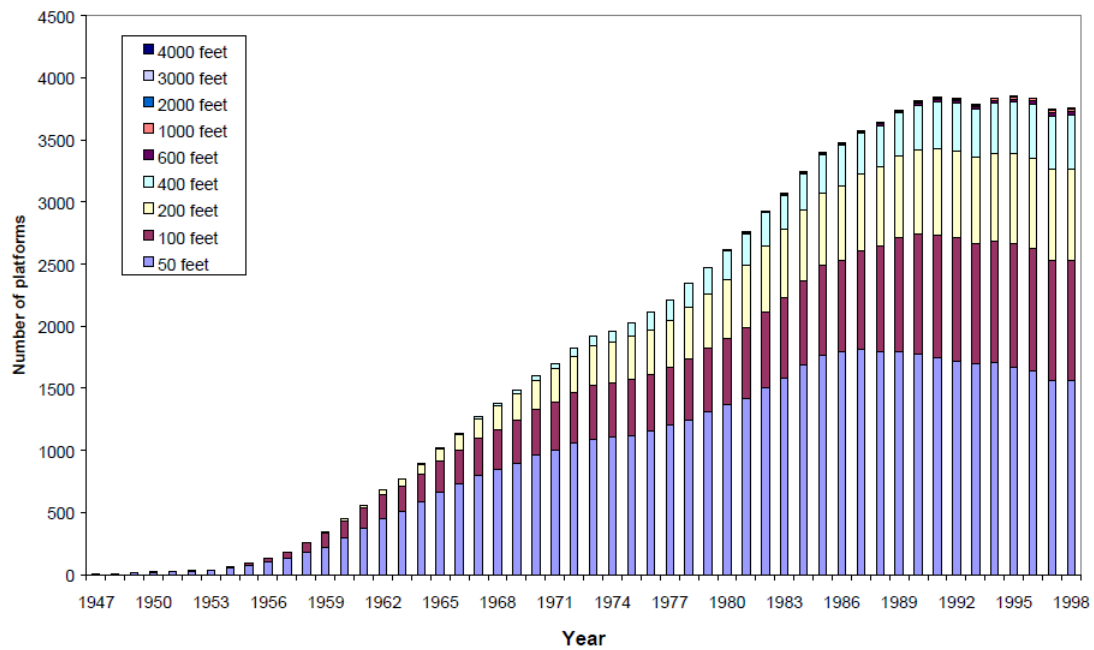
Παρακάτω απεικονίζονται μεγέθη παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου στον Κόλπο του Μεξικού.



Εικόνα 5.1 : παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου στον Κόλπο του Μεξικού (1947 - 1998)



Εικόνα 5.2 : φρέατα στον Κόλπο του Μεξικού (1947 - 1998)



Εικόνα 5.3 : πλατφόρμες πετρελαίου ανάλογα με βάθος υδάτων (1947 - 1998).

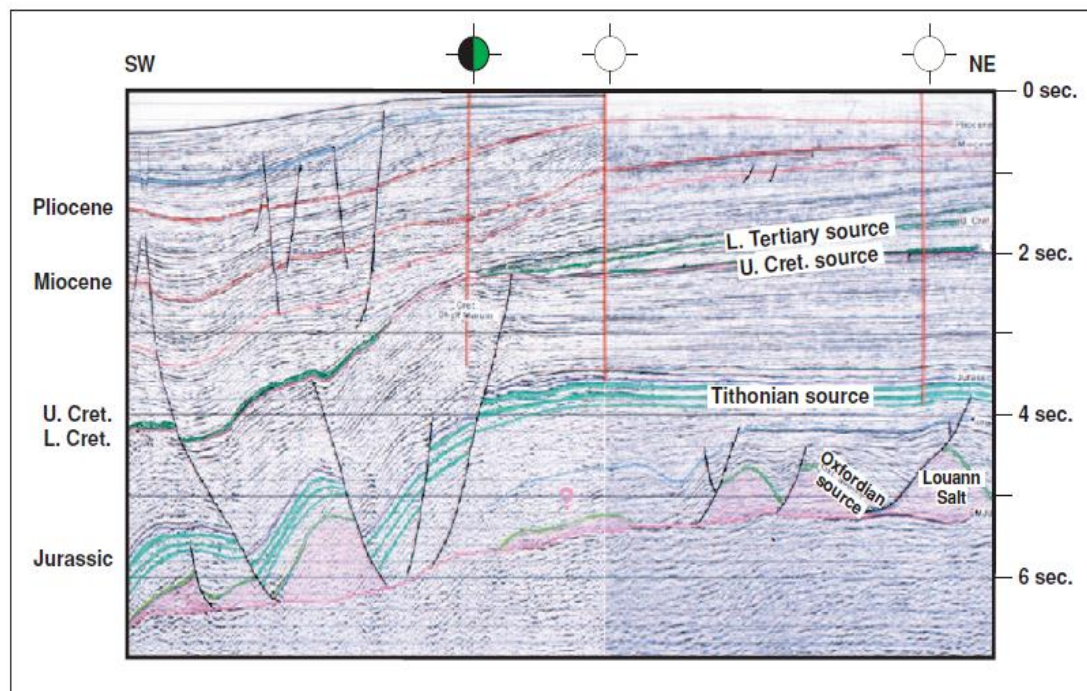
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ	ΕΤΟΣ
πρώτη παράκτια γεώτρηση πετρελαίου στον Κόλπο του Μεξικού	1938
παραγωγή από ύδατα βάθους πέρα από 100 πόδια	1955
πρώτο πλωτό γεωτρύπανο	1956
πρώτη υποθαλάσσια γεώτρηση	1961
πρώτη πλατφόρμα πετρελαίου που εγκαταστάθηκε σε ύδατα βάθους πέρα των 1000 ποδιών	1979
παραγωγή από ύδατα βάθους πέρα των 2000 ποδιών	1984
εκτεταμένη χρήση τρισδιάστατων σεισμικών δεδομένων ευρείας χρήσης	1992

Πίνακας 5.1 : Χρονολόγιο κύριων τεχνολογικών επιτευγμάτων στην παράκτια Βιομηχανία.

5.2 Συστήματα Υδρογονανθράκων

Η αναγνώριση των ευρέων και συχνά έντονων διαρροών πετρελαίου και φυσικού αερίου στον Κόλπο του Μεξικού έχει συνεισφέρει σημαντικά στην κατανόησή μας για τα συστήματα υδρογονανθράκων.

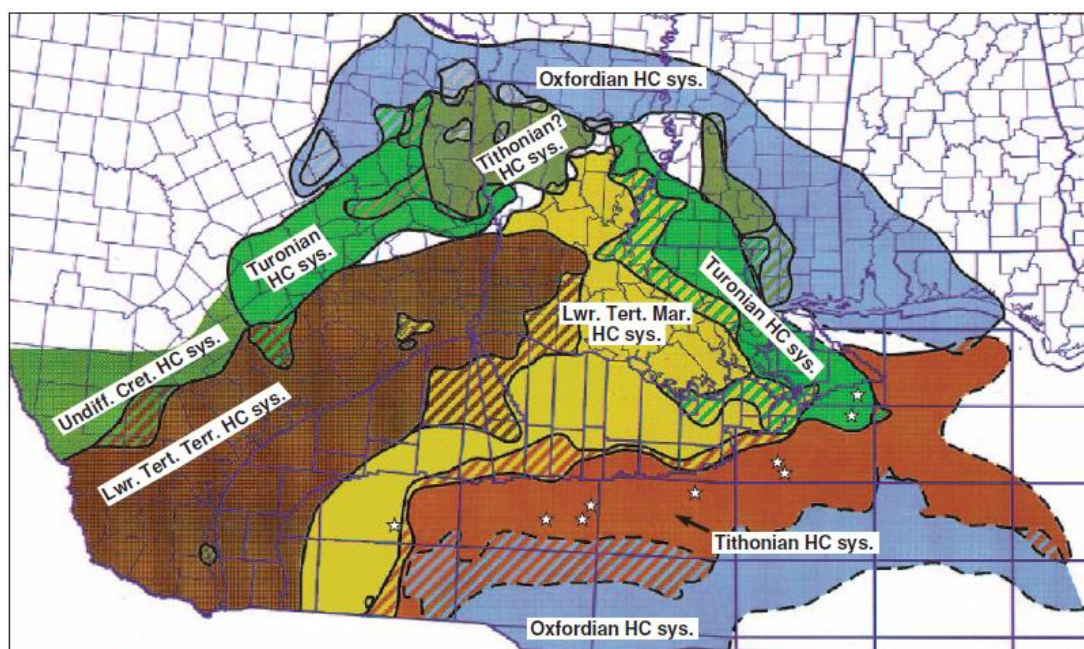
Η γνώση των πετρωμάτων μιας περιοχής είναι κρίσιμη για την κατανόηση των γενικότερων συστημάτων υδρογονανθράκων (Hood, K., Wenger, et al 2002).



Εικόνα 5.4 : Παράδειγμα περιφερειακής σεισμικής γραμμής στο ανατολικό μέρος του Κόλπου του Μεξικού.

(πηγή: Hood, K., Wenger, et al 2002).

Οι διεισδύσεις των πετρωμάτων τόσο παράκτια όσο και χερσαία στη βορειότερη λεκάνη του Κόλπου του Μεξικού, όταν ενσωματώνονται σε ένα περιφερειακό γεωλογικό πλαίσιο, παρέχουν μια ισχυρή βάση προκειμένου να ερμηνευθεί η ηλικία και η διανομή των πηγών (Hood, K., Wenger, et al 2002).



Εικόνα 5.5 : Ερμηνεία χάρτη συστημάτων υδρογονανθράκων για τη λεκάνη του Κόλπου του Μεξικού. Κάθε σύστημα υδρογονάνθρακα περιλαμβάνει μια οικογένεια πετρελαίου και φυσικού αερίου η οποία διαθέτει παρόμοιες συνθέσεις και κοινή πηγή προέλευσης. Με τα αστέρια υποδεικνύονται οι κύριες ανακαλύψεις στα βαθέα ύδατα.

(πηγή: Hood, K., Wenger, et al 2002).

5.3 Μέθοδοι εντοπισμού Υδρογονανθράκων

5.3.1 Τηλεπισκόπηση επιφάνειας της θάλασσας

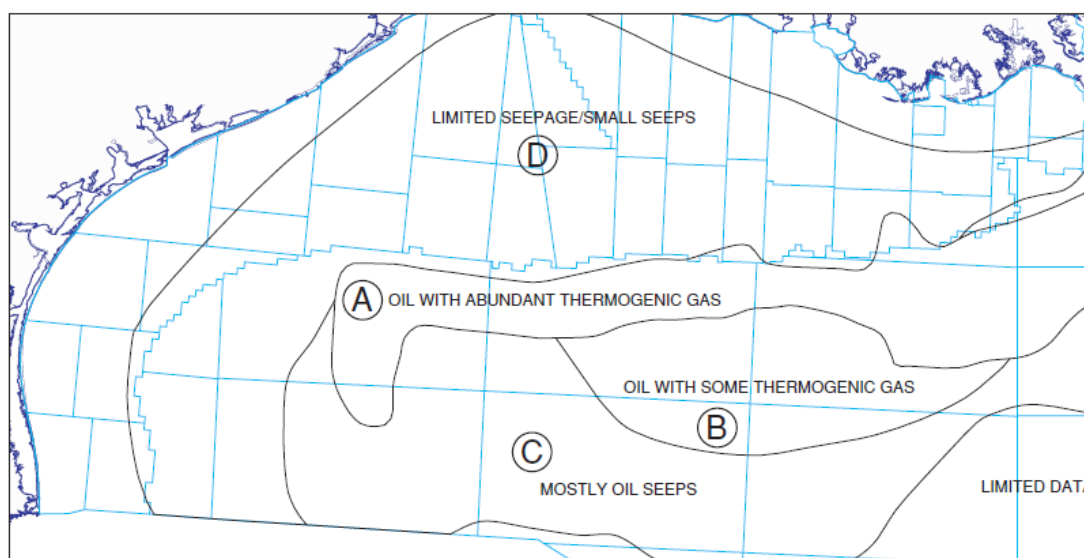
Οι τηλεπισκοπικές (δορυφορικές) τεχνικές είναι χρήσιμα εργαλεία εντοπισμού προκειμένου για την αναγνώριση διαρροής υδρογονανθράκων σε μια λεκάνη. Διάφορες τεχνικές, όπως το Landsat Thematic Mapper και το Synthetic Aperture Radar μπορούν να απεικονίσουν κηλίδες υδρογονανθράκων στην επιφάνεια της θάλασσας. Οι δορυφορικές αυτές τεχνικές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες καθώς οι μεγάλες παράκτιες περιοχές μπορούν να εξεταστούν σε σύντομο χρονικό διάστημα και με αποδοτικό τρόπο.

Πολυάριθμοι παράγοντες επηρεάζουν την ανίχνευση των διαρροών και της τοποθεσίας των κηλίδων, συμπεριλαμβανομένων της ταχύτητας, των ρευμάτων, των νεφώσεων, των μετεωρολογικών συνθηκών, της υποθαλάσσιας βλάστησης και της μόλυνσης. Αφού εντοπιστούν οι υποψήφιες περιοχές, το επόμενο βήμα είναι να επιβεβαιωθεί η πηγή των υδρογονανθράκων. Υψηλής ανάλυσης δισδιάστατα και

τρισεπίσπαστα σεισμικά δεδομένα, τα οποία κάποιες φορές συμπληρώνονται από ραντάρ πλευρικής σάρωσης, χρησιμοποιούνται προκειμένου για τον εντοπισμό τους (Hood, K., Wenger, et al 2002).

5.3.2 Διαρροές Υδρογονανθράκων στον πυθμένα

Ο Κόλπος του Μεξικού περιέχει ευρείες περιοχές διαρροών πετρελαίου και φυσικού αερίου (Εικόνα 5.6), οι οποίες έχουν επιτρέψει στους ερευνητές να επεκτείνουν τους χάρτες των συστημάτων υδρογονανθράκων καθώς και τις προβλέψεις αναφορικά με τον τύπο και τις ιδιότητες των υδρογονανθράκων. Ωστόσο, χρησιμότητα των διαρροών ως εργαλείο ερμηνείας των χαρακτηριστικών και της διανομής των υδρογονανθράκων περιορίζεται συχνά από διάφορους παράγοντες. Καταρχήν, οι διαρροές των υδρογονανθράκων (τόσο πετρελαίου όσο και φυσικού αερίου) είναι συχνά ιδιαίτερα βιοδιασπώμενες.

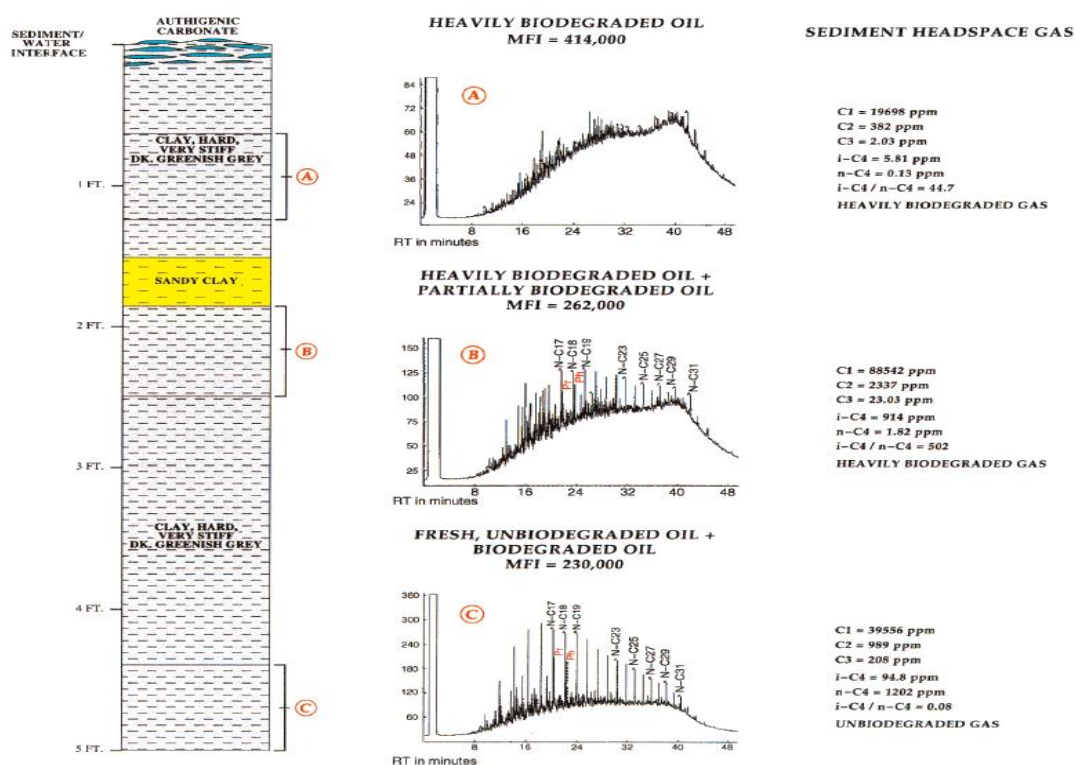


Εικόνα 5.6 : Διανομή των διαρροών του Κόλπου του Μεξικού βασισμένη σε δορυφορικά δεδομένα. (Α) Άφθονες - μεγάλες διαρροές πετρελαίου με κυρίαρχο θερμογόνο αέριο, (Β) άφθονες - μεγάλες διαρροές πετρελαίου με μικρότερες διαρροές αερίου, (C) άφθονες - μεγάλες διαρροές πετρελαίου με περιορισμένο θερμογόνο αέριο, (D) περιορισμένη διαρροή υδρογονάνθρακα. Στις περιοχές Α, Β, C σχεδόν το 75% των υδάτων περιέχει σημαντικές ποσότητες πετρελαίου σε σχέση με την περιοχή D όπου μόνο το 12% αυτής περιέχει. Στην περιοχή Α, περισσότερο από το 25% περιέχει εξίσου σημαντικές ποσότητες θερμογόνου αερίου.

(πηγή:Hood, K., Wenger, et al 2002).

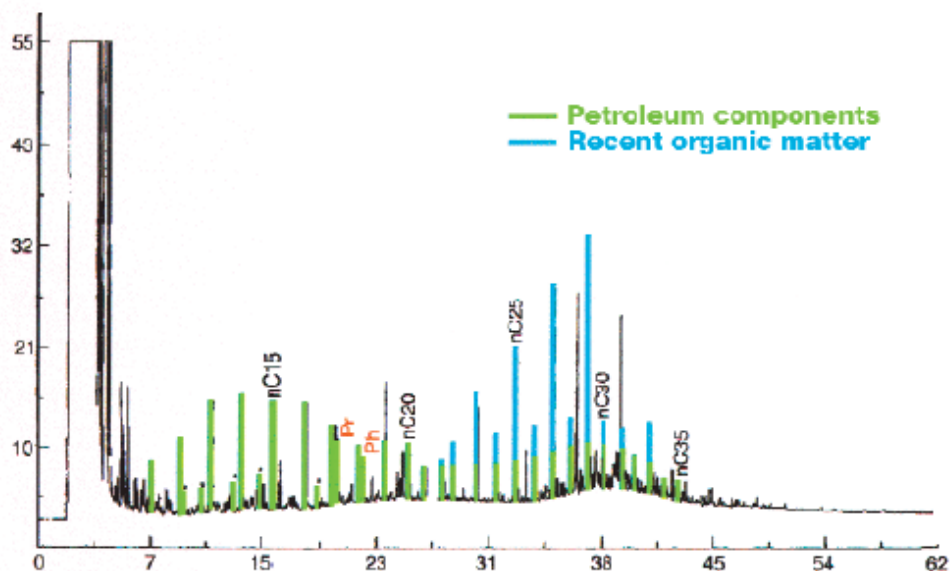
Στην εικόνα 5.7 απεικονίζεται η έντονη βιοδιάσπαση των υδρογονανθράκων που λαμβάνει χώρα σε πηγές που συλλέγονται στον Κόλπο του Μεξικού. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, μόνο 5 μέτρα ιζημάτων κατάφεραν να ανακτηθούν.

Προκειμένου για την αξιολόγηση των υδρογονανθράκων στα ιζήματα στα βαθέα ύδατα, το πετρέλαιο εξάγεται με ένα διαλύτη προκειμένου για ανάλυση. Οι διαρροές με περιορισμένες ποσότητες υδρογονανθράκων συνήθως έχουν ένα αποτύπωμα πρόσφατων οργανικών συστατικών τα οποία εξάγονται με το διαλύτη μαζί με το πετρέλαιο. Στις μεγάλες διαρροές, το αποτύπωμα των πρόσφατων οργανικών συνθετικών επισκιάζεται από υψηλές συγκεντρώσεις πετρελαίου. Σε διαρροές με μικρότερες ποσότητες πετρελαίου, το βιολογικό αποτύπωμα πρέπει να εξεταστεί προκειμένου να ερμηνευθεί σωστά και το θερμογόνο αποτύπωμα. Αυτή η διαφοροποίηση είναι κρίσιμη καθώς το θερμογόνο αποτύπωμα παρέχει πληροφορίες για τη θερμική ωριμότητα και την προέλευση των υδρογονανθράκων. Ένα πλεονέκτημα από την ερμηνεία των χαρακτηριστικών των υδρογονανθράκων με βάσει τις διαρροές χαμηλής συγκέντρωσης είναι ότι οι βιοδείκτες είναι συνήθως λιγότερο αλλοιωμένοι από τη βιοδιάσπαση και αντανακλούν καλύτερα τα αποτυπώματα του πετρελαίου (Εικόνα 5.8) (Hood, K., Wenger, et al 2002).

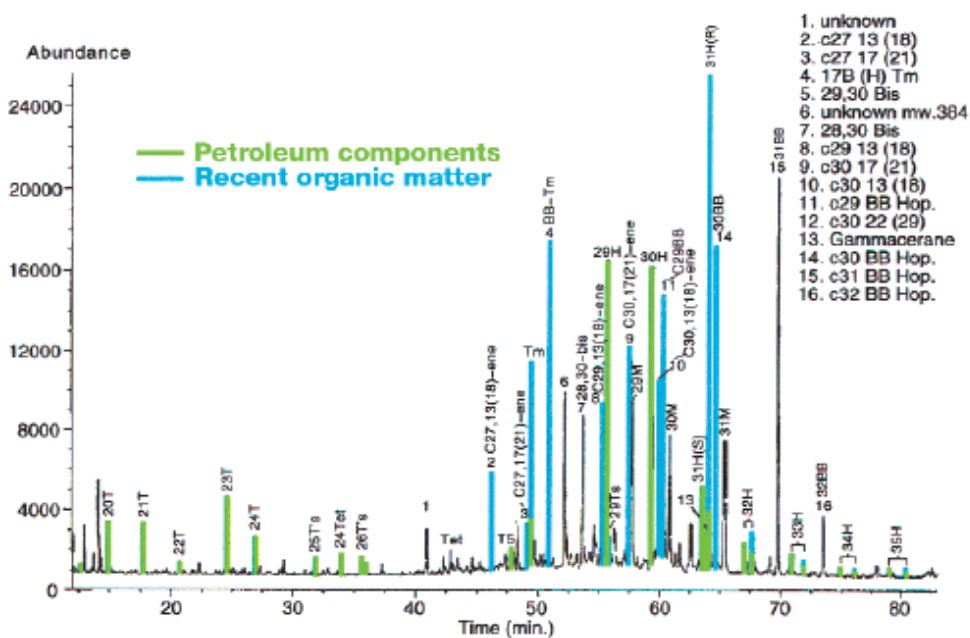


Εικόνα 5.7 : παράδειγμα ενός προφίλ βιοδιάσπασης.

Whole-extract GC



Terpane biomarkers (m/z 191)



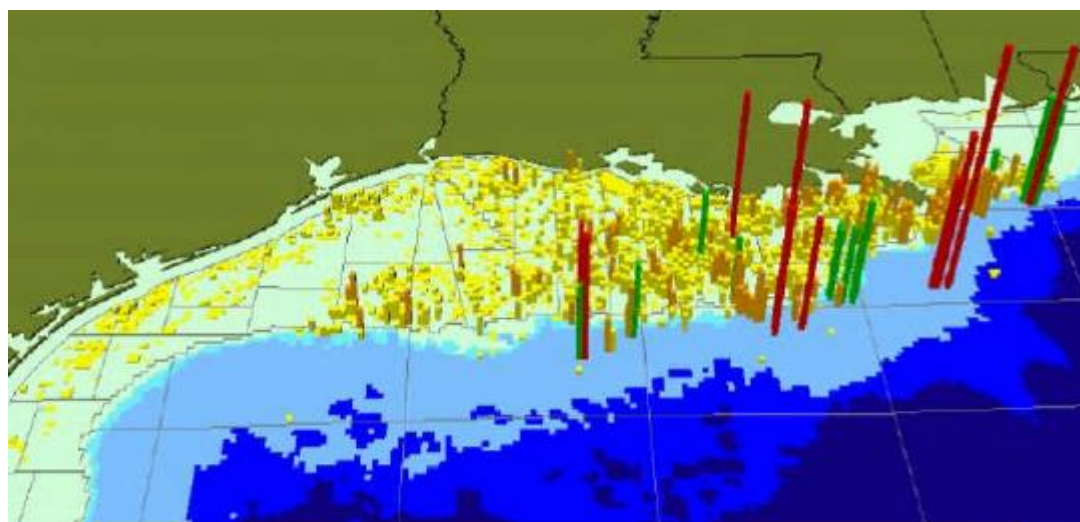
Εικόνα 5.8 : χρωματόγραμμα πετρελαίου – αερίου

5.4 Κοιτάσματα εξαιρετικά βαθέων υδάτων στον κόλπο του Μεξικού.

Σύμφωνα με βιομηχανικές εκτιμήσεις, η δυναμική των υδρογονανθράκων στα βαθέα και τα εξαιρετικά βαθέα ύδατα στον Κόλπο του Μεξικού, συνίσταται έως και 46 δις βαρέλια ισοδύναμου αργού πετρελαίου (crude oil equivalent, boe).

Ωστόσο, οι δυνατότητες παραγωγής των αποθεμάτων αυτών στα ύδατα βάθους από 6.000 έως 10.000 πόδια, παραμένει σε μεγάλο βαθμό ένα μυστήριο.

Τεράστιες ποσότητες πετρελαίου και φυσικού αερίου έχουν ανακαλυφθεί σε αποθέματα ρηχών υδάτων (0 - 1500 πόδια) στον Κόλπο του Μεξικού από το 1950. Ωστόσο, η μεγαλύτερη ποσότητα από αυτό το πετρέλαιο και φυσικό αέριο έχει ήδη παραχθεί και προωθηθεί στις αγορές. Το κυρίαρχο πεδίο για εξερεύνηση σήμερα βρίσκεται στα βαθέα ύδατα (1500 - 4000 πόδια) και στο μέλλον στα εξαιρετικά βαθέα ύδατα (4.000 - άνω από 10.000 πόδια). Ωστόσο, οι σημερινές τεχνολογίες παραγωγής πετρελαιοειδών εταιρειών περιορίζονται σε αποθέματα που βρίσκονται σε βάθη υδάτων έως περίπου 7.000 πόδια, και μόνο ερευνητικές προσπάθειες εστιάζουν σε μεγαλύτερα βάθη (Anderson, Boulanger, 2002).



Εικόνα 5.9 : Τα βαθέα ύδατα δίνουν σημαντικά μεγαλύτερη παραγωγή όπως φαίνεται από τα ύψη των στηλών οι οποίες απεικονίζουν τα βαρέλια ανά μέρα. Οι κίτρινες στήλες δείχνουν λιγότερο από 1000, οι πράσινες από 1000 - 5000 και οι κόκκινες μεγαλύτερη παραγωγή από 25000 βαρέλια τη μέρα. Τα βαθέα ύδατα απεικονίζονται με το ανοιχτό μπλε, τα εξαιρετικά βαθέα ύδατα με το μπλε και το σκούρο μπλε (πηγή: Anderson, Boulanger, 2002).

6. Μεσόγειος Θάλασσα

6.1 Ιστορικό Ενεργειακών Ανακαλύψεων στην Α. Μεσόγειο

Οι πρώτες έρευνες αναφορικά με την ανακάλυψη κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου στην περιοχή της Α. Μεσογείου ξεκινούν κατά τρόπο συστηματικό ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του 1930 μέχρι και το 1948, όταν η εδρεύουσα στο Λονδίνο εταιρεία Iraq Petroleum Co. άρχισε να ερευνά την περιοχή της Κύπρου για υδρογονάνθρακες, χωρίς όμως να έχει ιδιαίτερος ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Ακολούθως, τη δεκαετία του 1960, οι δύο υπερδυνάμεις της εποχής, ήτοι η ΕΣΣΔ και οι ΗΠΑ φάνηκε να επιδεικνύουν ενδιαφέρον για τους υδρογονάνθρακες που πιθανολογείτο πως βρίσκονταν στην Α. Μεσόγειο. Αποτέλεσμα ήταν μια οργανωμένη προσπάθεια χαρτογράφησης της περιοχής, μέσω της λήψης υποβρύχιων φωτογραφιών. Οι ανακοινώσεις της εποχής άφηναν υπόνοιες αναφορικά με την ύπαρξη φυσικού αερίου, όμως, ήταν τόσο γενικές που δεν ήταν δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων για την ακριβή θέση των φημολογούμενων κοιτασμάτων. Παρόλα αυτά, το 1974 η Shell έδειξε τη βούληση να συμμετάσχει στις διαδικασίες έρευνας, ιδιαίτερα στην θαλάσσια περιοχή ανοικτά της Καρπασίας.

Έκτοτε, από το 1975 έως και τις αρχές της δεκαετίας του 2000 πραγματοποιήθηκε πληθώρα σειсмоγραφικών μελετών σχεδόν σε όλη την Α. Μεσόγειο κυρίως από εταιρείες γαλλικών και αμερικανικών συμφερόντων, με πενιχρά, όμως, αποτελέσματα, μάλλον, εξαιτίας των τεχνολογικών περιορισμών, καθώς η τότε διατηρητική ικανότητα του θαλάσσιου πυθμένα έφθανε μέχρι και τα 200 μέτρα. Ωστόσο, ικανοποιητικά ήταν τα αποτελέσματα σε ορισμένες περιοχές, όπως αυτή στα ανοικτά του Δέλτα του Νείλου, όπου η Shell σε συνεργασία με την αιγυπτιακή κυβέρνηση διεξήγαγαν έρευνες, διαπιστώνοντας τη σοβαρή πιθανότητα ύπαρξης υδρογονανθράκων.

Συμπερασματικά, η Α. Μεσόγειος παρουσίαζε ήδη πριν από το ξέσπασμα του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου ερευνητικό ενδιαφέρον σε ότι αφορά την ύπαρξη υδρογονανθράκων. Παρόλα αυτά, οι όποιες εξελίξεις μέχρι και τις αρχές της δεκαετίας του 2000 μπορούν να χαρακτηριστούν ως “χλιαρές” καθώς εντέλει εξαντλούνταν κυρίως σε επίπεδο φημολογίας και αβέβαιων συμπερασμάτων, πορεία που πιθανό να μεταστραφεί με το χρόνο (Φίλης, Κωνσταντακόπουλος, Μαλανδράκη, 2012).

6.2 Συνοπτικό Χρονικό Πρόσφατων Εξελίξεων

Το 2000 η κυπριακή κυβέρνηση βάσει μελετών που ανέφεραν ως εξαιρετικά μεγάλη πιθανότητα την ύπαρξη σημαντικών ποσοτήτων υδρογονανθράκων στη θαλάσσια περιοχή μεταξύ Κύπρου και Αιγύπτου, θέτει, πρώτη από όλα τα κράτη της περιοχής προτεραιότητα της πολιτικής της τη δρομολόγηση αντίστοιχων εξελίξεων. Με αυτόν τον τρόπο συστηματοποιεί τις έρευνες αναφορικά με τους υδρογονάνθρακες πέριξ του συνόλου της θαλάσσιας περιοχής, επί και εντός της οποίας η Λευκωσία θα μπορούσε να ασκήσει κυριαρχικά δικαιώματα. Συνέπεια των παραπάνω, καθώς και των κατάλληλων διπλωματικών κινήσεων, Κύπρος και Αίγυπτος καταλήγουν το 2003 σε συμφωνία για έρευνα και εκμετάλλευση οποιονδήποτε κοιτασμάτων φυσικού αερίου ανακαλυφθούν, εντός των ζωνών επί των οποίων, τα δύο κράτη ασκούν κατάλληλα κυριαρχικά δικαιώματα. Με την ίδια συμφωνία μάλιστα οι δύο χώρες αναγνώριζαν και τα όρια των Αποκλειστικών Οικονομικών Ζωνών (ΑΟΖ) τους.

Τα ανωτέρω γεγονότα απετέλεσαν το προοίμιο των ραγδαίων εξελίξεων που ακολούθησαν από το 2007 και μετά, όταν στο παιχνίδι της εξερεύνησης μπήκε δυναμικά η εταιρεία Noble Energy, η οποία και πραγματοποίησε το 2009 πληθώρα σεισμογραφικών μελετών στην ευρύτερη θαλάσσια περιοχή μεταξύ Ισραήλ και Κύπρου. Έπειτα από εξερεύνηση περίπου 4.500 τετραγωνικών μέτρων θαλασσιού υπεδάφους, καθώς και των ισραηλινών πεδίων Alon A και Alon B, η Noble κατόρθωσε να φθάσει στην ανακάλυψη του κοιτάσματος Leviathan, το οποίο υπολογίζεται πως περιέχει περί τα 16 τρισεκατομμύρια κυβικά πόδια (tcf) εκμεταλλεύσιμου φυσικού αερίου. Έκτοτε, όπως θα δούμε αμέσως πιο κάτω, κατά τη διάρκεια ανάλυσης των ενεργειακών προφίλ των χωρών της περιοχής, η Noble έφερε στο φως είτε αποδείξεις για την ύπαρξη και άλλων πολλά υποσχόμενων κοιτασμάτων, είτε εκτιμήσεις για το σοβαρό ενδεχόμενο ύπαρξης αυτών (Φίλης, Κωνσταντακόπουλος, Μαλανδράκη, 2012).

6.3 Ενεργειακό Προφίλ της Α. Μεσογείου και των Παράκτιων Κρατών

Στο παρόν κεφάλαιο, θα αναλυθούν, τόσο η ενεργειακή ταυτότητα της ευρύτερης γεωγραφικής περιοχής της Α. Μεσογείου όσο και το ενεργειακό προφίλ παράκτιων κρατών της περιοχής. Στόχος της παράθεσης των εν λόγω στοιχείων, είναι να ανιχνευθούν, όσο αυτό είναι δυνατόν από τα μέχρι στιγμής διαθέσιμα στοιχεία, οι πραγματικότητες της περιοχής σε ότι αφορά στις αποδεδειγμένες και εκτιμώμενες

ποσότητες φυσικού αερίου, ώστε να καταστεί δυνατή, μετέπειτα, η εξαγωγή όσο το δυνατόν ασφαλέστερων εκτιμήσεων αναφορικά με τις εξαγωγικές προοπτικές της ευρύτερης περιοχής.

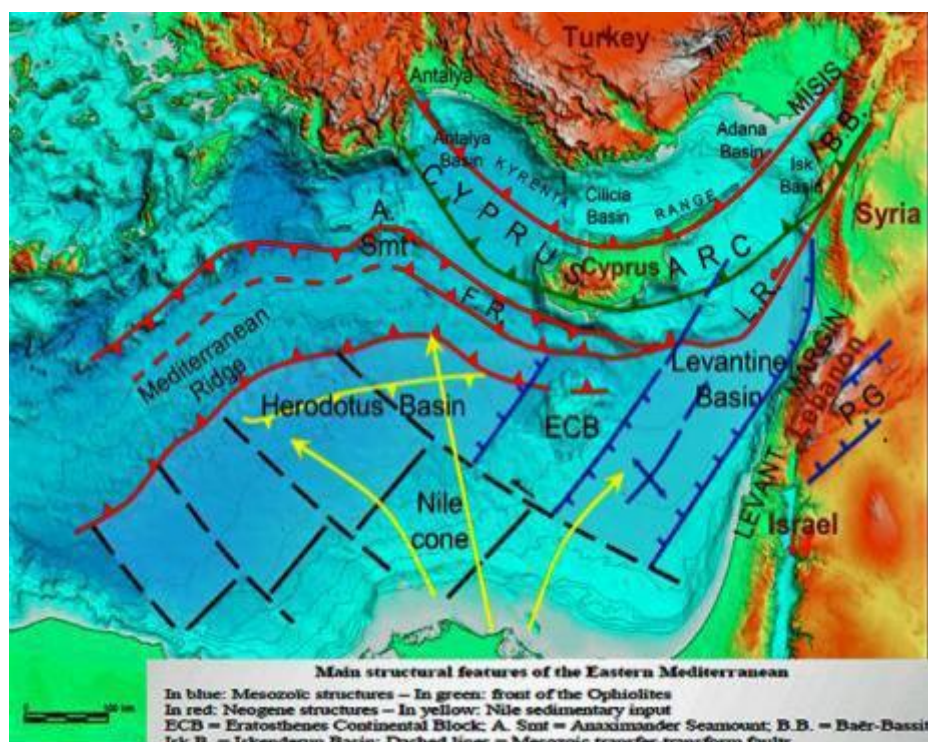
Σήμερα, κατόπιν και των πρόσφατων ανακαλύψεων, η Α. Μεσόγειος δύναται να χωριστεί σε τέσσερις βασικές περιοχές αυξημένης πιθανότητας ή αποδεδειγμένης ύπαρξης σημαντικών ποσοτήτων υδρογονανθράκων. Αυτές είναι (όπως φαίνονται και στις εικόνες 6.1 και 6.2):

1: το Πεδίο του Ηροδότου, το οποίο εντοπίζεται κυρίως στην περιοχή νοτιοανατολικά της Κρήτης, νοτιοδυτικά της Κύπρου και βορείως της Αιγύπτου.

2: το πεδίο Levantine, το οποίο εκτείνεται στη θαλάσσια περιοχή μεταξύ Κύπρου, Τουρκίας, Συρίας, Ισραήλ (περιλαμβανομένων των εδαφών της Λωρίδας της Γάζας), Αιγύπτου και Λιβάνου.

3: το Κωνικό Πεδίο στα ανοιχτά του Δέλτα του Νείλου.

4: το πεδίο στη θαλάσσια περιοχή νοτίως της Κρήτης.



Εικόνα 6.1

Οι μέχρι στιγμής έρευνες στην περιοχή της Α. Μεσογείου έχουν κατορθώσει να φέρουν στο φως την ύπαρξη κοιτασμάτων που μετρούν περί τα 105.9 tcf εκμεταλλεύσιμου φυσικού αερίου⁹. Επιπροσθέτως, σύμφωνα με μελέτη του United States Geological Survey (USGS), η οποία εκπονήθηκε το 2010, τόσο στην περιοχή ανοιχτά του Δέλτα του Νείλου και στο πεδίο Levantine, όσο και στην ευρύτερη θαλάσσια περιοχή πέριξ της Κύπρου, υπάρχει σοβαρό ενδεχόμενο ύπαρξης κοιτασμάτων με συνολική ποσότητα που ενδέχεται να φθάνει στην καλύτερη περίπτωση τα 335 tcf και 45.9 tcf φυσικού αερίου αντιστοίχως (Φίλης, Κωνσταντακόπουλος, Μαλανδράκη, 2012).



Εικόνα 6.2

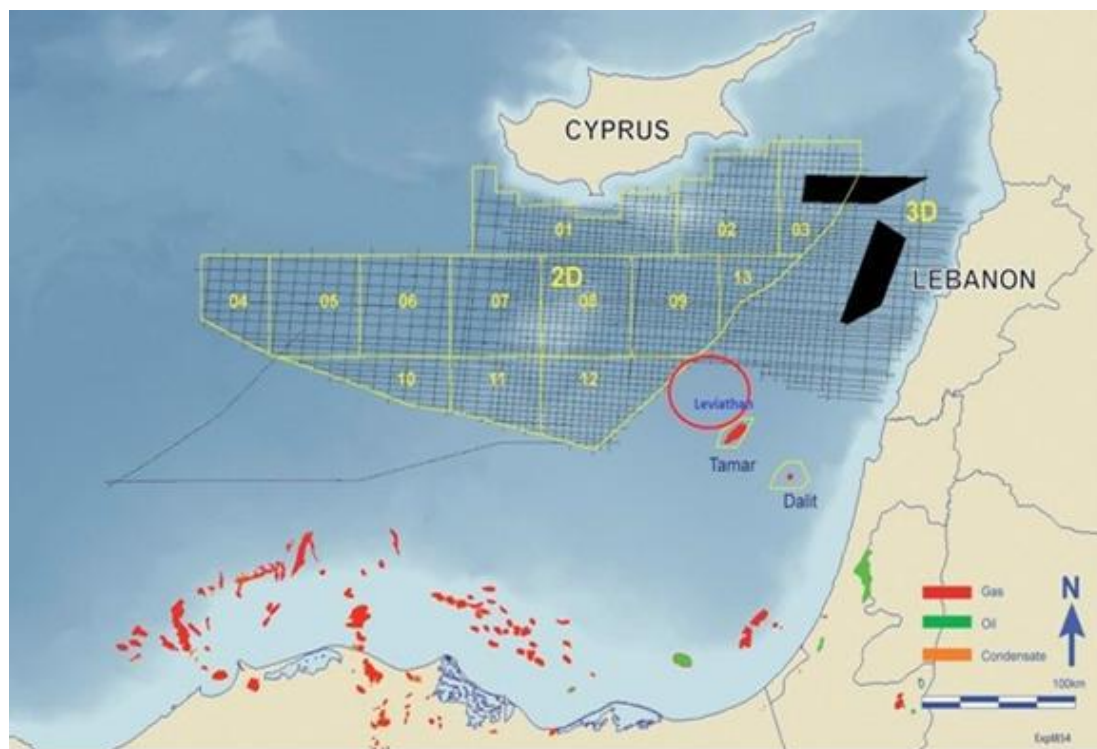
Σε ότι αφορά το ελληνικό τμήμα του πεδίου του Ηροδότου, καθώς και τη θαλάσσια περιοχή νοτίως της Κρήτης, αν και είναι περιοχές όπου δεν έχουν πραγματοποιηθεί επισταμένες έρευνες, παρόλα αυτά, σύμφωνα, τόσο με το γεωλογικό ανάγλυφο της περιοχής, όσο και με μια ανεπίσημη μελέτη (εν αγνοία της ελληνικής κυβέρνησης) που διεξήγαγε νοτίως της Κρήτης η Νορβηγική Εταιρεία Γεωφυσικών Ερευνών Petroleum Geo-Services, διαπιστώνεται μια εξαιρετικά αυξημένη πιθανότητα ύπαρξης ικανών ποσοτήτων υδρογονανθράκων. Συγκεκριμένα, στην εν λόγω περιοχή, εφάπτονται οι Τεκτονικές Πλάκες της Αφρικής και της Ευρώπης, παρατηρούνται εκκλήσεις σημαντικών ποσοτήτων μεθανίου, ενώ υπάρχουν και αρκετά ηφαίστεια λάσπης, γεγονότα τα οποία αποτελούν σημαντικές ενδείξεις ύπαρξης ικανών ποσοτήτων υδρογονανθράκων. Άλλωστε, τα ανωτέρω

χαρακτηριστικά απαντώνται στην πλειοψηφία των περιοχών ανά τον κόσμο, οι οποίες είναι πλούσιες σε πετρέλαιο και φυσικό αέριο, όπως στον κόλπο του Μεξικό, στην Κασπία Θάλασσα, αλλά και στο Κωνικό Πεδίο στα ανοιχτά του Δέλτα του Νείλου και στο πεδίο Levantine (Φίλης, Κωνσταντακόπουλος, Μαλανδράκη, 2012).

6.3.1 Κύπρος

Μέχρι και το 2010, οπότε έγιναν ευρέως γνωστά τα αποτελέσματα των ερευνών της Κύπρου, αναφορικά με την ανακάλυψη κοιτασμάτων φυσικού αερίου, τα αποδεδειγμένα αποθέματα, η παραγωγή, αλλά και η κατανάλωση της χώρας σε φυσικό αέριο κυμαίνονταν γύρω από την περιοχή του απολύτου μηδενός. Οι πρόσφατες ανακαλύψεις στην περιοχή της Α. Μεσογείου χαρτογραφούν μια περιοχή αυξημένου ενδιαφέροντος (αναφορικά με το φυσικό αέριο), η οποία εκτείνεται από το πεδίο Levantine μέχρι και τα όρια της περιοχής του πεδίου του Ηροδότου (Βλ. Εικόνα 6.3). Η περιοχή, αυτή, έχει χωριστεί σε 13 θαλάσσια Οικόπεδα, όπου η Κύπρος αναμένεται να πραγματοποιήσει έρευνες σε συνεργασία με ξένες εταιρείες σε διαφορετικές χρονικές φάσεις. Προς το παρόν, επισταμένες έρευνες πραγματοποιήθηκαν και πραγματοποιούνται στο Οικόπεδο 12 ή «Αφροδίτη», όπως έχει ονομαστεί, το οποίο εντοπίζεται σε μια περιοχή που μοιράζεται μεταξύ της κυπριακής και της ισραηλινής ΑΟΖ. Το εν λόγω κοίτασμα εκτιμάται πως περιέχει περί τα 5-8 tcf φυσικού αερίου, συνολικής αξίας που υπολογίζεται μεταξύ 30 και 100 δις. δολαρίων. Οι τελευταίες εκτιμήσεις είναι περισσότερο αισιόδοξες. Σύμφωνα με τον διευθυντή της Υπηρεσίας Ενέργειας του κυπριακού Υπουργείου Εμπορίου, κ. Σόλων Κασίνη, η Αφροδίτη περιέχει περί τα 8-12 tcf φυσικού αερίου. Συνακόλουθα, η αξία του Οικοπέδου υπολογίζεται περί τα 350 δις ευρώ και το καθαρό κέρδος από την εκμετάλλευσή του στα 86 δις ευρώ. Αντίστοιχα ενθαρρυντικές είναι και οι εκτιμήσεις που αφορούν τη συνολική ποσότητα φυσικού αερίου που βρίσκεται στην κυπριακή ΑΟΖ, η οποία εκτιμάται ότι ανέρχεται στα 60 tcf, ενώ γίνεται λόγος και για ύπαρξη κοιτασμάτων πετρελαίου. Στο στάδιο που βρισκόμαστε, βέβαια, το οποίο θα χαρακτηρίζαμε πρόωρο, αποτελεί πρακτική στο πλαίσιο της συνήθους διαδικασίας να γίνονται μεγαλύτερες ή μικρότερες εκτιμήσεις, αρκετές από τις οποίες πιθανότατα θα αναθεωρηθούν, είτε προς τα πάνω, είτε προς τα κάτω. Με τις εκτιμήσεις, αυτές, μπορούμε να έχουμε μια αίσθηση σχετικά με το πού κυμαίνονται τα αποθέματα, αλλά όχι βεβαιότητες.

Την εξερεύνηση του εν λόγω κοιτάσματος είχε αναλάβει η Noble Energy σε συνεργασία με την ισραηλινών συμφερόντων εταιρεία Delek Group. Παρά το γεγονός πως το οικοπέδο Αφροδίτη συνορεύει με το γιγάντιο κοίτασμα Leviathan, που βρίσκεται εντός της ισραηλινής ΑΟΖ, το μεγαλύτερο μέρος του είναι εντός της κυπριακής ΑΟΖ, οπότε σε μια πιθανότητα συνεκμετάλλευσης η Λευκωσία θα κατέχει σαφές προβάδισμα στο διαμοιρασμό των ποσοστών που φθάνει το 80%. Με τις μέχρι στιγμής ανακαλύψεις στο εν λόγω κοίτασμα, είναι δυνατόν να υποστηριχθεί μια παραγωγή της τάξεως των 10 δισεκατομμυρίων κυβικών μέτρων (bcm) το χρόνο για τα επόμενα 20-30 έτη. Μια παραγωγή, η οποία κατά το μεγαλύτερο μέρος της θα αποτελέσει, ενδεχομένως, αντικείμενο εξαγωγής, καθώς η Κύπρος, λόγω του μικρού μεγέθους της αναμένεται να χρειαστεί μόλις το 15%, από τις εν λόγω ποσότητες για να καλύψει τις εγχώριες ανάγκες της.



Εικόνα 6.3

Η Λευκωσία, όμως, δε φαίνεται να αρκείται μόνο στην εκμετάλλευση του Οικοπέδου 12, αλλά, μάλλον, να προσανατολίζεται σε μια δεύτερη φάση ερευνών στο άμεσο μέλλον, εντός των υπόλοιπων δώδεκα οικοπέδων, τα οποία βρίσκονται τόσο στο νότιο τμήμα της ΑΟΖ της, όσο και στην περιοχή που συνορεύει με την ελληνική θαλάσσια ζώνη. Η Λευκωσία προετοιμάζεται για την επόμενη φάση εξερεύνησης, όχι

μόνο σε πολιτικό – διπλωματικό επίπεδο, αλλά και πραγματοποιώντας κατάλληλες διαρθρωτικές αλλαγές στην κυπριακή νομοθεσία, απλοποιώντας τη διαδικασία αδειοδότησης των ενδιαφερόμενων φορέων. Έτσι, το 2007 η Κύπρος έθεσε σε εφαρμογή έναν νέο νόμο αναφορικά με τους υδρογονάνθρακες, ο οποίος ουσιαστικά ενσωμάτωσε στην κυπριακή νομοθεσία την ευρωπαϊκή Οδηγία 94/22/EC, αναφορικά με τους κανόνες αδειοδότησης εταιρειών ή άλλων ιδιωτών σχετικά με τη διεξαγωγή μελετών, την εξερεύνηση, αλλά και την εκμετάλλευση κοιτασμάτων υδρογονανθράκων. Παρόλα αυτά, σε ότι αφορά τη χορήγηση αδειών εκμετάλλευσης, αυτές θα αποτελούν αντικείμενο εξειδικευμένης επεξεργασίας και διαπραγμάτευσης μεταξύ της κυπριακής κυβέρνησης και του εκάστοτε ενδιαφερόμενου.

Η Λευκωσία είχε προκηρύξει διαγωνισμό για την προσέλκυση ενδιαφερομένων, αναφορικά με τη διεξαγωγή ερευνών στα δώδεκα οικόπεδα, στη θαλάσσια περιοχή νοτιώς της Νήσου. Ο εν λόγω διαγωνισμός έληξε στις 11 Μαΐου 2012 και σύμφωνα με τις κυπριακές ανακοινώσεις, υπήρξε εξαιρετικά μεγάλο ενδιαφέρον. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τις ανακοινώσεις του κυπριακού Υπουργείου Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού, πέντε εταιρείες και δέκα consortium εταιρειών εκδήλωσαν ζωνρό ενδιαφέρον. Μεταξύ αυτών, η θυγατρική της GazProm GPB Global Resources, η ιταλικών συμφερόντων ENI, η Total, η Petronas, καθώς και η κορεατικών συμφερόντων Kogas. Συμμετείχαν, επίσης, ενδιαφερόμενες εταιρείες - μεταξύ άλλων- από τις ΗΠΑ, την Ολλανδία, τον Καναδά, την Αυστραλία, το Ισραήλ, αλλά και την Κύπρο.

Εκ των ανωτέρω, γίνεται φανερή η ραγδαία αναβάθμιση, την οποία είναι εξαιρετικά πιθανόν να γνωρίσει το κυπριακό ενεργειακό προφίλ τα αμέσως επόμενα χρόνια, ιδιαίτερα στον τομέα του φυσικού αερίου. Η Λευκωσία φαίνεται να δείχνει μια σαφή πρόθεση εδραίωσης ενός συστηματικού τομέα παραγωγής και εξαγωγής φυσικού αερίου, εκμεταλλεύομενη στο έπακρο της πλουτοπαραγωγικές πηγές που βρίσκονται στις θαλάσσιες ζώνες κυριαρχίας της (Φίλης, Κωνσταντακόπουλος, Μαλανδράκη, 2012).

6.3.2 Ελλάδα

Σύμφωνα με την Energy Information Agency, του αμερικανικού υπουργείου ενέργειας, η Ελλάδα δε διαθέτει προς το παρόν αξιόπιστα στοιχεία, αναφορικά με τα αποδεδειγμένα ή εκτιμώμενα αποθέματα φυσικού αερίου και αυτό, παρά το γεγονός

πως οι πρώτες εξερευνήσεις σχετικά με την ύπαρξη υδρογονανθράκων επί ελληνικού εδάφους είχαν ξεκινήσει ήδη από τις αρχές του 20ου αιώνα. Παρόλα αυτά, η Ελλάδα χρησιμοποιεί το φυσικό αέριο στο ενεργειακό της μείγμα για την κάλυψη εγχώριων αναγκών. Μάλιστα, οι εισαγωγές της κατά το 2010 έφθασαν τα 135 bcf. Η Ελλάς εισάγει τον γκρίζο χρυσό, τόσο μέσω αγωγών (όπως για παράδειγμα τον Turkey - Greece Interconnector, ο οποίος μεταφέρει αζέρικο φυσικό αέριο, μέσω του εδάφους της Τουρκίας στον τερματικό σταθμό της Κομοτηνής), όσο και με τη μορφή LNG (προς το παρόν από τον τερματικό σταθμό από-υγροποίησης στη Ρεβυθούσα). Κύριοι προμηθευτές φυσικού αερίου της Ελλάδας είναι η Ρωσία (μέσω αγωγών που φθάνουν στη χώρα διαμέσου άλλων βαλκανικών χωρών), το Αζερμπαϊτζάν (αγωγός TGI), αλλά και η Αλγερία (LNG). Μεγαλύτερο μερίδιο κατανάλωσης φυσικού αερίου (η οποία είναι ισόποση των εισαγωγών) έχει ο τομέας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ ακολουθούν ο βιομηχανικός και ο οικιακός τομέας.

Επιπροσθέτως, πρέπει να αναφέρουμε πως η Αθήνα, ιδιαίτερα από το 2004 και μετά, ακολουθεί μια σταθερή πολιτική, στόχος της οποίας είναι η αναβάθμιση του ρόλου της στο ευρύτερο γεωπολιτικό παιχνίδι διαμετακόμισης φυσικού αερίου από τη Ρωσία, αλλά και από τις χώρες της Κεντρικής Ασίας προς την ευρωπαϊκή αγορά. Σε αυτό το πλαίσιο, εντάσσεται η κατασκευή του αγωγού TGI, ο οποίος έχει σχεδιαστεί να προεκταθεί προς την Ιταλία με την κατασκευή υποθαλάσσιου τμήματος, το οποίο θα συνδέει την Ηγουμενίτσα με το Otranto. Στην ίδια λογική περιέχεται και το έντονο ελληνικό ενδιαφέρον συμμετοχής στο ρωσικό αγωγό South Stream, ο οποίος σε συνδυασμό με τον αδελφό αγωγό του Nord Stream αποτελούν τη ρωσική απάντηση, αφενός στα σχέδια κατασκευής του Nabucco και αφετέρου στο ασταθές περιβάλλον διαμετακόμισης του φυσικού της αερίου προς την Ευρώπη μέσω Ουκρανίας, που δημιουργήθηκε από το 2006 και μετά.

Δε θα ήταν υπερβολή να σημειωθεί πως οι πρόσφατες ανακαλύψεις υδρογονανθράκων στην Α. Μεσόγειο, αλλά και η πρωτοφανής οικονομική κρίση, που αντιμετωπίζει η Ελλάδα τα τελευταία χρόνια, έκαναν τη χώρα να κινηθεί με γοργά βήματα προς μια πρώτη “σοβαρή” προσπάθεια συστηματοποίησης του πλαισίου, αλλά και των πρωτοβουλιών, αναφορικά με τη διεξαγωγή ερευνών και εκμετάλλευσης κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου που εντοπίζονται στον ελλαδικό χώρο.

Όπως, άλλωστε, αναφέρθηκε και πιο πάνω, μπορεί η έρευνα υδρογονανθράκων στην Ελλάδα να έχει ιστορία εκατό και πλέον ετών, παρόλα αυτά, τα αποτελέσματά της ήταν από ανύπαρκτα, έως πενιχρά. Οι έρευνες μέχρι και τη δεκαετία του 1970 εντοπίζονταν κατά κύριο λόγο σε εδαφικές, αλλά και θαλάσσιες περιοχές της δυτικής και βόρειας Ελλάδας. Σημαντικότερη ανακάλυψη αυτής της περιόδου, ήταν το πετρελαϊκό κοίτασμα στον Πρίνο και το κοίτασμα φυσικού αερίου στη Ν. Καβάλα, από την εταιρεία Oceanic. Σε επίπεδο νομοθεσίας, να σημειωθεί, πως την επαύριον της πτώσης της δικτατορίας, ιδρύθηκε ο πρώτος φορέας διαχείρισης δικαιωμάτων αναζήτησης, και εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων του Δημοσίου, η Δημόσια Επιχείρηση Πετρελαίου. Το 1976 ψηφίστηκε, μάλιστα, και ο πρώτος νόμος αναφορικά με τις έρευνες υδρογονανθράκων στην Ελλάδα, ο 468/76. Επόμενος σημαντικός σταθμός στην ελληνική νομοθεσία είναι ο Νόμος 2289 του 1995, με τον οποίο η Ελλάδα ενσωμάτωσε τους κανόνες της Κοινοτικής Οδηγίας 94/22/EC, αναφορικά με την αδειοδότηση. Προσφάτως, με την ψήφιση του Νόμου 4001/2011, η Ελλάδα κατοχυρώνει το δικαίωμα εκμετάλλευσης του υπεδάφους, όλων των θαλάσσιων περιοχών που βρίσκονται εντός της ελληνικής αιγιαλίτιδας ζώνης, της υφαλοκρηπίδας, αλλά και της ΑΟΖ, μόλις αυτή ανακηρυχθεί σε απόσταση μέχρι 200 ν.μ. από τις γραμμές βάσης (άρθρο 156 του νόμου). Παράλληλα, ο εν λόγω νόμος προβλέπει την ίδρυση της Ελληνικής Εταιρείας Υδρογονανθράκων ΑΕ, η οποία αναλαμβάνει τη διαχείριση του τομέα των υδρογονανθράκων.

Σε ότι αφορά αμιγώς τον τομέα του φυσικού αερίου, αλλά και τις προοπτικές που δημιουργούνται κατόπιν των ανακαλύψεων στην Α. Μεσόγειο, να σημειωθεί αρχικώς, πως οι περιοχές που παρουσιάζουν αυξημένο ενδιαφέρον για την Ελλάδα, είναι αφενός η θαλάσσια περιοχή νοτίως της Κρήτης, καθώς και η περιοχή εντός του πεδίου του Ηροδότου, στα νοτιοανατολικά της Κρήτης μεταξύ της ελληνικής (όταν αυτή ανακηρυχθεί) και της κυπριακής ΑΟΖ. Σύμφωνα με ειδική μελέτη, που εκπονήθηκε από τους επιστήμονες Alain Bruneton, Ηλία Κονοφάγο και Αντώνη Φώσκολο, οι ανωτέρω περιοχές, λόγω της ιδιαίτερης γεωφυσικής τους ταυτότητας, ομοιάζουν σε σημαντικό βαθμό, με περιοχές που είναι αποδεδειγμένα πλούσιες σε πετρέλαιο και φυσικό αέριο, όπως ο Περσικός Κόλπος, ο Κόλπος του Μεξικό, αλλά και η Κασπία Θάλασσα.

Ο σημαντικότερος, ίσως, ρόλος που ενδεχομένως να κληθεί να διαδραματίσει η Ελλάδα, εντός των ενεργειακών εξελίξεων της Α. Μεσογείου είναι αυτός της

διαμετακόμισης του φυσικού αερίου των χωρών της περιοχής, που ήδη βρίσκονται ή αναμένεται να μπουν στη διαδικασία της εκμετάλλευσης, προς την αγορά της Ε.Ε. Όπως θα δούμε και πιο κάτω, η κατασκευή αγωγού, ο οποίος θα μεταφέρει φυσικό αέριο από την Κύπρο ή/και το Ισραήλ (σε αρχικό στάδιο), διαμέσου της Ελλάδας προς την Ευρώπη αποτελεί έναν βιώσιμο σχεδιασμό, τον οποίο η Ελλάδα οφείλει να υποστηρίξει και να προκρίνει με κάθε τρόπο, ώστε να αναβαθμίσει την ενεργειακή, αλλά και τη γεωστρατηγική της σημασία στην περιοχή. Μάλιστα, οι πιθανότητες η χώρα μας να αναδειχθεί σε διαμετακομιστικό κόμβο του φυσικού αερίου της Α. Μεσογείου (Φίλης, Κωνσταντακόπουλος, Μαλανδράκη, 2012).

Συμπερασματικές παρατηρήσεις

Το πετρέλαιο δημιουργήθηκε πριν από χιλιετίες σε υπόγειες «δεξαμενές», μέσα στις οποίες εγκλωβίστηκαν φυτικές ύλες, κατά την διάρκεια γεωλογικών ανακατατάξεων (μετακινήσεις πλακών, καταβυθίσεις και κατακρμνίσεις βουνών), με αποτέλεσμα η συνολική ποσότητά του να είναι πεπερασμένη ενώ δεν ανανεώνεται ούτε αναγεννάται. Από την άλλη, το κόστος της καύσιμης ύλης είναι ένα από τα πιο «φλέγοντα» ζητήματα καθώς η αύξηση της τιμής τους, συνδέεται, εκτός από τον διαρκή πόλεμο για τον έλεγχο των κοιτασμάτων, με την συνεχή ελάττωσή τους. Έτσι, όσο περισσότερο πετρέλαιο θα καταναλώνουμε, τόσο θα εξαντλείται ο «πετρελαιοφόρος» ορίζοντας την γης και τόσο περισσότερο θα αυξάνεται η τιμή του.

Καθώς οι δεξαμενές καυσίμων του πλανήτη αναμένεται να εξαντληθούν, θα πρέπει να στραφούμε σε νέες μορφές ενέργειας. Η χρήση εναλλακτικών μορφών ενέργειας επιβάλλεται και από την ανάγκη διασφάλισης της αειφόρου ανάπτυξης.

Η έρευνα για την εξασφάλιση νέων, εναλλακτικών μορφών ενέργειας έχει ξεκινήσει εδώ και πολλά χρόνια. Η πυρηνική ενεργεία αποτέλεσε ένα μεγάλο βήμα και ίσως να μπορούσε να αποτελέσει και μια σημαντική λύση, αν δεν αποδεικνυόταν τόσο επίφοβη και καταστρεπτική.

Στην σημερινή εποχή διερευνώνται συστηματικά δύο ακόμα μορφές εναλλακτικής ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια, και η χρήση του υδρογόνου ως καύσιμη ύλη που θα αντικαταστήσει την πετρέλαιο.

Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μια από τις πιο εύκολες και «προφανείς» λύσεις για την εξεύρεση «ασφαλούς» ενέργειας. Το πρόβλημα που ανακύπτει είναι η χαμηλή «ισχύς» που αποδίδεται από τις ηλιακές κυσέλες. Για την ηλεκτροδότηση μιας περιοχής χρειάζεται μια επιφάνεια από μερικά στρέμματα ηλιακών συσσωρευτών, ενώ η χρήση της για βιομηχανικές εφαρμογές αλλά και στα αυτοκίνητα είναι πολύ δύσκολη, αφού δεν μπορεί να αποδώσει μεγάλη ισχύ. Επίσης οι συσκευές αυτές δεν θα μπορούσαν να λειτουργήσουν την νύχτα, εκτός και αν χρησιμοποιούσαν συσσωρευτές ενέργειας (μπαταρίες) ο όγκος των οποίων όμως θα έκανε μια τέτοια εφαρμογή δύσχρηστη, αν όχι αδύνατη, με την τεχνολογία που διαθέτουμε σήμερα. Παρόλ' αυτά, αρκετές εφαρμογές της, όπως η θέρμανση νερού στους «ηλιακούς

θερμοσίφωνες», δίνουν ακόμα και σήμερα μια ελαφριά ανάσα στην ενεργειακή κρίση.

Άλλες «ήπιες» μορφές ενέργειας είναι η γεωθερμική και η αιολική. Και οι δύο όμως αυτές, παρόλο που είναι εφαρμόσιμες, δίδουν μικρή ισχύ, όπως η ηλιακή ενέργεια, και παραμένουν οικονομικά ασύμφορες για εκτεταμένη χρήση. Αναφορικά, η πρώτη αφορά στην εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας της γης και ενός σημείου σε μεγάλο βάθος, κάτι που μπορεί εύκολα να εφαρμοσθεί σε ηφαίστεια και η δεύτερη στην εκμετάλλευση της δύναμης του ανέμου, ώστε να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια, στηριζόμενη στην ίδια αρχή που στηρίζονταν οι ανεμόμυλοι των περασμένων αιώνων. Η μέθοδος αυτή μπορεί πάλι να βρει εφαρμογή μόνο τοπικά, σε περιοχές που έχουν ισχυρούς αέρηδες.

Το καύσιμο του μέλλοντος θεωρείται το υδρογόνο. Μπορεί εύκολα να παραχθεί από το νερό, το οποίο υπάρχει σε αφθονία στον πλανήτη μας και ταυτόχρονα αναγεννάται. Η καύση του δεν αφήνει κατάλοιπα, ενώ η ισχύς που αποδίδει κρίνεται ικανοποιητική. Το μεγαλύτερο πρόβλημα που ανακύπτει στην χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο, είναι το πρόβλημα της αποθήκευσής του. Κατά την ανάμιξή του με τον αέρα δημιουργεί το «κροτούν αέριο». Για το λόγο αυτό, το μεγαλύτερο μέρος της ερευνητικής δραστηριότητας έχει στραφεί στην ανάπτυξη «ασφαλών» μεθόδων αποθήκευσης του υδρογόνου, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο ακόμα και σε αυτοκίνητα.

Η επίλυση του προβλήματος αποθήκευσης θα πρέπει να ακολουθηθεί και από την αντικατάσταση της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας, ώστε να βασίζεται πλέον στην κατανάλωση υδρογόνου ως καυσίμου, αντί του πετρελαίου που χρησιμοποιείται σήμερα. Η ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας βρίσκεται σε πολύ καλό επίπεδο. Ήδη, ακόμα και στην Ελλάδα υπάρχουν επιστημονικές ομάδες, που σε εργαστηριακό επίπεδο έχουν δημιουργήσει «μηχανές καύσης υδρογόνου», οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε αυτοκίνητα. Η αντικατάσταση της τεχνολογίας από πετρελαϊκή σε υδρογόνου αποτελεί μια μεγάλη δαπάνη και αντιβαίνει στα σημερινά οικονομικά συμφέροντα των πετρελαϊκών χωρών και των κατασκευαστών μηχανών «πετρελαϊκής τεχνολογίας» .

Περαιτέρω, έναν ολοένα και πιο κρίσιμο παράγοντα κατά το σχεδιασμό των δραστηριοτήτων βιομηχανιών πετρελαίου και φυσικού αερίου αποτελεί η εκτίμηση του περιβαλλοντικού αντικτύπου.

Σχετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει και η πρόσφατη Οδηγία του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (2014/52/ΕΕ) σχετικά με την εκτίμηση των επιπτώσεων ορισμένων σχεδίων δημοσίων και ιδιωτικών έργων στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, όπως παρουσιάζεται στο παράρτημα της εν λόγω οδηγίας, η εκτίμηση περιβαλλοντικού αντικτύπου ενός σχετικού έργου οφείλει να συμπεριλαμβάνει τα παρακάτω:

1. Περιγραφή του έργου όπου περιλαμβάνεται ειδικότερα:

α) περιγραφή της χωροθέτησης του έργου· β) περιγραφή των φυσικών χαρακτηριστικών του όλου έργου, καθώς και, εφόσον χρειάζεται, των αναγκαίων εργασιών κατεδάφισης, και των απαιτήσεων για τη χρήση γης κατά τα στάδια κατασκευής και λειτουργίας του· γ) περιγραφή των κυριότερων χαρακτηριστικών της επιχειρησιακής φάσης του έργου (ιδίως της μεθόδου κατασκευής), όπως ενεργειακή ζήτηση και χρησιμοποιούμενη ενέργεια, φύση και ποσότητα των χρησιμοποιούμενων υλικών, ενέργειας και φυσικών πόρων (συμπεριλαμβανομένων των υδάτων, της γης, του εδάφους και της βιοποικιλότητας)· δ) εκτίμηση, ανά τύπο και ποσότητα, καταλοίπων και εκπομπών (όπως ρύπανση του νερού, του ατμοσφαιρικού αέρα, του εδάφους και του υπεδάφους, θόρυβος, δονήσεις, φως, θερμότητα, ακτινοβολία κ.λπ.) και ποσότητες και τύποι των παραγόμενων αποβλήτων κατά τις φάσεις κατασκευής και λειτουργία

2. Περιγραφή εύλογων εναλλακτικών επιλογών (για παράδειγμα ως προς τη μελέτη του έργου, την τεχνολογία, τη χωροθέτηση, το μέγεθος και την κλίμακά του) που έχει μελετήσει ο κύριος του έργου, που σχετίζονται με το προτεινόμενο έργο και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του, και επισήμανση των κυρίων λόγων για την επιλογή που έγινε, όπου περιλαμβάνεται και σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων

3. Περιγραφή των σχετικών πτυχών της τρέχουσας κατάστασης του περιβάλλοντος (βασικό σενάριο) και περίγραμμα της πιθανής εξέλιξής της εάν δεν υλοποιηθεί το έργο στον βαθμό που, με εύλογη προσπάθεια, είναι δυνατόν να εκτιμηθούν οι

φυσικές αλλαγές από το βασικό σενάριο, με βάση τη διαθεσιμότητα περιβαλλοντικών πληροφοριών και επιστημονικής γνώσης

4. Περιγραφή των παραγόντων που καθορίζονται στο άρθρο 3 παράγραφος 1 που ενδέχεται να θιγούν σημαντικά από το έργο: ο πληθυσμός, η ανθρώπινη υγεία, η βιοποικιλότητα (επί παραδείγματι η χλωρίδα και η πανίδα), η γη (επί παραδείγματι κατάληψη εδαφών), το έδαφος (επί παραδείγματι οργανική ύλη, διάβρωση, συμπίκνωση και σφράγιση), τα ύδατα (επί παραδείγματι υδρομορφολογικές αλλαγές, ποσότητα και ποιότητα), ο αέρας, το κλίμα (επί παραδείγματι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, οποιαδήποτε επίπτωση σχετική με την προσαρμογή), τα υλικά περιουσιακά στοιχεία, η πολιτιστική κληρονομιά, συμπεριλαμβανομένων αρχιτεκτονικών και αρχαιολογικών πτυχών και το φυσικό τοπίο.

5. Περιγραφή των πιθανών σημαντικών επιπτώσεων που το έργο ενδέχεται να προκαλέσει στο περιβάλλον, μεταξύ άλλων, από:

α) την κατασκευή και την ύπαρξη του έργου, συμπεριλαμβανομένων, κατά περίπτωση, των εργασιών κατεδάφισης· β) τη χρήση φυσικών πόρων, ιδίως της γης, του εδάφους, των υδάτων και της βιοποικιλότητας, ανάλογα με τη βιώσιμη διαθεσιμότητα αυτών των πόρων· γ) την εκπομπή ρύπων, θορύβου, δονήσεων, φωτός, θερμότητας, ακτινοβολίας, την πρόκληση οχλήσεων και τη διάθεση και ανάκτηση αποβλήτων· δ) τους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, την πολιτιστική κληρονομιά ή το περιβάλλον (για παράδειγμα λόγω ατυχημάτων ή καταστροφών ε) τη σώρευση επιπτώσεων με άλλα υφιστάμενα και/ή εγκεκριμένα έργα, λαμβάνοντας υπόψη οποιαδήποτε περιβαλλοντικής φύσεως προβλήματα που αφορούν τις περιοχές με ιδιαίτερη περιβαλλοντική σημασία που ενδέχεται να επηρεαστούν ή τη χρήση φυσικών πόρων στ) τις επιπτώσεις του έργου στο κλίμα (για παράδειγμα φύση και μέγεθος των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου) και η ευπάθεια του έργου στην κλιματική αλλαγή ζ) τις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες και υλικά.

Η περιγραφή των ενδεχόμενων σημαντικών επιπτώσεων στους παράγοντες που αναφέρονται στο άρθρο 3 παράγραφος 1 θα πρέπει να καλύπτει τις άμεσες και τις τυχόν έμμεσες, δευτερεύουσες, σωρευτικές, διασυννοριακές, βραχυπρόθεσμες, μεσοπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες, μόνιμες και προσωρινές, θετικές και αρνητικές επιπτώσεις του έργου. Στην εν λόγω περιγραφή θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι

στόχοι περιβαλλοντικής προστασίας που έχουν τεθεί σε επίπεδο Ένωσης ή κρατών μελών, οι οποίοι σχετίζονται με το έργο

6. Η περιγραφή των μεθόδων πρόβλεψης ή τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό και την εκτίμηση των σημαντικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπου περιλαμβάνονται και λεπτομερή στοιχεία σχετικά με τις δυσκολίες (για παράδειγμα τεχνικές αδυναμίες ή έλλειψη γνώσης) που αντιμετωπίζονται στη συγκέντρωση των απαιτούμενων πληροφοριών, καθώς και παρουσίαση των κύριων ενεχόμενων αβεβαιοτήτων.

7. Περιγραφή των μέτρων που προτείνονται για την αποτροπή, την πρόληψη, τη μείωση και, ει δυνατόν, την αντιστάθμιση τυχόν εντοπισμένων σημαντικών αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον και, αναλόγως, τυχόν προτεινόμενων ρυθμίσεων παρακολούθησης (για παράδειγμα εκπόνηση εκ των υστέρων ανάλυσης του έργου). Στην εν λόγω περιγραφή θα πρέπει να εξηγείται η έκταση της αποτροπής, της μείωσης, της πρόληψης ή της αντιστάθμισης των σημαντικών δυσμενών επιπτώσεων στο περιβάλλον και να καλύπτεται τόσο το στάδιο κατασκευής όσο και το στάδιο λειτουργίας του έργου.

8. Περιγραφή των αναμενόμενων σημαντικών αρνητικών επιπτώσεων του έργου στο περιβάλλον, που απορρέουν από την ευαισθησία του έργου σε κινδύνους σοβαρών ατυχημάτων και/ή καταστροφών που σχετίζονται με το εν λόγω έργο. Η περιγραφή αυτή πρέπει να περιλαμβάνει μέτρα ετοιμότητας και αντιμετώπισης ή μετριασμού των σημαντικών αρνητικών επιπτώσεων των συμβάντων αυτών στο περιβάλλον και λεπτομερή στοιχεία σχετικά με την ετοιμότητα και την προτεινόμενη αντιμετώπιση τέτοιου είδους έκτακτων καταστάσεων¹.

Η ενσωμάτωση της διάστασης της ανάπτυξης και του περιβάλλοντος ήταν το κυρίαρχο θέμα στην ατζέντα της Διάσκεψης των Ηνωμένων Εθνών στο Ρίο, το 1992 και μέχρι σήμερα αποτελεί την κυρίαρχη κατεύθυνση ως προς την ανάγκη προστασίας του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με τη Διακήρυξη του Ρίο, η οποία αντανάκλα την πρόκληση αυτή, «με στόχο την επίτευξη αειφόρου ανάπτυξης, η περιβαλλοντική προστασία θα αποτελεί συστατικό μέρος της αναπτυξιακής διαδικασίας».

¹ Βλ. κείμενο της οδηγίας σε: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32014L0052>

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Αγοραστάκης Γ. (2000), Διαχείριση Υδάτινων Πόρων (ΔΥΠ) και Προτάσεις για την Αναμόρφωση του Νομικού Πλαισίου Οργανισμών Εγγείων Βελτιώσεων (ΟΕΒ), Χανιά
- Aggour, M., Abdel – Aal, H.K., Fahim, M.A., (2003), ‘Petroleum and Gas Field Processing’, CRC Press
- Alterman Jon B., Haim, M. (2012), ‘Shifting Eastern Mediterranean Geometry’, Washington Quarterly
- Αναγνώστου, Χ., Χρόνης, Γ., Α.Σιούλας, Α. (2005), Δυναμική, Λειτουργία και Διαχείριση του Θαλάσσιου Συστήματος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου
- Ανδρίτσος, Ν. (2010), «Ενέργεια και Περιβάλλον», Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Διδακτικές Σημειώσεις, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- Anderson, R., Boulanger, Al. ‘Prospectivity of the Ultra-Deepwater Gulf of Mexico’, (2002), Lean Energy Initiative Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University
- Αρμένης, Ευστάθιος, Γ. (2003), ‘Καταγραφή Δυνατοτήτων Ενεργειακών Επενδύσεων στην περιοχή της Μεσογείου’, Διπλωματική Εργασία Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Ε.Μ.Π
- Burke, D. (2011), ‘A Short History of Drilling in the Gulf of Mexico’ Fortune, διαθέσιμο σε : <http://features.blogs.fortune.cnn.com/2011/01/24/a-short-history-of-drilling-in-the-gulf-ofmexico/>
- Clayden, J., Greeves, N., et al. (2001) Organic Chemistry, Oxford
- Silberberg (2006) , Chemistry The Molecular Nature of Matter and Change
- Derry, T. K., Williams, Trevor I. (1993), ‘A Short History of Technology: From the Earliest Times to A.D. 1900’, Goodwill Books
- Grigg N. (1996), Water Resources Management, John Wiley & Sons Inc

- Hood, K., Wenger, L.M., Gross, O.P., Harrison, S.C, (2002), ‘Hydrocarbon Systems Analysis of the Northern Gulf of Mexico: Delineation of Hydrocarbon Migration Pathways Using Seeps and Seismic Imaging’, Geophysical References Series
- Καρώνης, Δ. Λόης, Ε. Ζαννίκος, Φ. (2011) «Τεχνολογία πετρελαίου και φυσικού αερίου», Σχολή Χημικών Μηχανικών Εκδόσεις Ε.Μ.Π
- Κασίνης, Σ. (2010), Ο Ενεργειακός Τομέας της Κύπρου, ΕΒΕ Λεμεσού
- Kennedy, D., Sutter, B., Walker, W. (2012), ‘The Gulf of Mexico at a Glance’, U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Service, NOAA
- McLaughlin, Richard J., (2008), ‘Hydrocarbon Development in the Ultra-Deepwater Boundary Region of the Gulf of Mexico: Time to Reexamine a Comprehensive U.S.-Mexico Cooperation Agreement,’ Ocean Development and Ocean Law Vol.
- McLaughlin, Richard J. (2012), ‘Understanding the Recent U.S. and Mexico Treaty on Shared Hydrocarbons: Moving Toward Transboundary Marine Energy Security in the Gulf of Mexico’, LOSI Conference Papers, Securing the Ocean for the Next Generation
- Pataki, Z. (2007), ‘The quantitative and qualitative adequacy of aquatic resources’, *Environmental Science Department University of the Aegean*
- Τσάλτας Γ., Κλαδή-Ευσταθοπούλου Μ., (2003), Το Διεθνές Καθεστώς των Θαλασσών και των Ωκεανών, Τόμος Ι, Σιδέρης
- Φίλης, Κ. (2012), Υδρογονάνθρακες Ανατολικής Μεσογείου: Εργαλείο Σύγκλισης ή Προϊόν Ανταγωνισμού, διαθέσιμο σε: <http://www.aixmi.gr/index.php/ydrogonanthrakes-anat-mesog/>
- Φίλης, Κων., Δρ. Κωνσταντακόπουλος Γ., Μαλανδράκη Ε., (2012), *Ο ρόλος της ανατολικής μεσογείου στην ενεργειακή ασφάλεια της Ευρώπης*, Ινστιτούτο Διεθνών Σχέσεων

