

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ CO₂
ΚΑΙ
ΕΞΟΡΥΞΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ
ΣΕ ΠΟΡΩΔΗ ΜΕΣΑ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ ΘΕΟΦΑΝΗΣ
ΚΑΡΑΤΖΑΣ ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Δρ. ΣΥΓΓΟΥΝΗ ΒΑΡΒΑΡΑ

ΠΑΤΡΑ 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στη δέσμευση και αποθήκευση του CO₂ και στην εξόρυξη πετρελαίου, τα οποία είναι εφαρμογές της ροής ρευστών σε πορώδη υλικά. Το πετρέλαιο και το διοξείδιο του άνθρακα είναι δύο στοιχεία που παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο όσον αφορά το περιβάλλον.

Στην αρχή γίνεται μια γενική αναφορά στα πορώδη υλικά και στις ιδιότητές τους. Στη συνέχεια αναπτύσσονται οι τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂ και οι τρόποι εξόρυξης πετρελαίου.

Ευχαριστούμε θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια μας Δρ. Βαρβάρα Συγγούνη, Εργαστηριακή Συνεργάτις του τμήματος Μηχανολογίας για την πολύτιμη βοήθεια και την καθοδήγηση που μας προσέφερε για την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας.

Αθανασίου Θεοφάνης
Καρατζάς Ταξιάρχης
Ιούνιος 2011

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ροή δύο ή περισσότερων φάσεων σε πορώδη υλικά έχει μελετηθεί εκτενώς και συνεχίζει να μελετάται λόγω της ευρείας εφαρμογής της σε διεργασίες που αφορούν τόσο τη βιομηχανία (πχ. εξόρυξη πετρελαίου) όσο το περιβάλλον (πχ. καθαρισμός του μολυσμένου υδροφόρου ορίζοντα). Οι περισσότεροι πορώδεις σχηματισμοί που συναντώνται στο περιβάλλον είναι κλασματικής διαβροχής. Τα κλασματικής διαβροχής πορώδη υλικά ερευνώνται ευρύτατα στις μέρες μας λόγω της πληθώρας των εφαρμογών τους (συλλέκτες νερού, ναοκεραμικά, βιοϋλικά, κτλ

Στην παρούσα εργασία, περιγράφεται η διαδικασία δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂, οι κίνδυνοι αυτής καθώς και το κόστος δέσμευσης και αποθήκευσης σε μια εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας. Επιπλέον αναφέρονται περιληπτικά, ορισμένα προγράμματα αποθήκευσης και ο ρόλος της Ελλάδας στην τεχνολογία αυτή. Δεύτερον, περιγράφεται το αντικείμενο τη εξόρυξης πετρελαίου, οι τεχνικές των διαδικασιών έρευνας και εξόρυξης, ο τρόπος γεώτρησης καθώς και περιβαλλοντικές επιπτώσεις του πετρελαίου και των παραγώγων του.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε 12 κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στο γενικό ορισμό του CO₂, τις εκπομπές του στο περιβάλλον που συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, περιγράφεται η διαδικασία δέσμευσης του CO₂ απο εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας.

Στο τρίτο κεφάλαιο, περιγράφονται οι τρόποι μεταφοράς του δεσμευμένου CO₂ σε μια θέση αποθήκευσης.

Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται, στους τρόπους γεωλογικής και ωκεάνιας αποθήκευσης του CO₂ και επιπλέον γίνεται αναφορά στη διαδικασία αποθήκευσης μέσω ορυκτοποίησης.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, περιγράφονται οι κίνδυνοι που κρύβουν οι τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂, οι οποίοι σχετίζονται κυρίως με το περιβάλλον και με τη ανθρώπινη υγεία.

Στο έκτο κεφάλαιο μελετάται, το επιπλέον κόστος που προκύπτει απο τη χρήση της τεχνολογίας δέσμευσης και αποθήκευσης, σε μια εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας και κατα πόσο αυξάνεται το κόστος της ενέργειας που καταναλώνεται για τη δέσμευση και αποθήκευση.

Στο έβδομο κεφάλαιο, γίνεται μια περιγραφή των παγκόσμιων προγραμμάτων αποθήκευσης.

Στο όγδοο κεφάλαιο, αναφέρεται ο ρόλος της Ελλάδας στην τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂ και οι πιθανοί εκμεταλεύσιμοι χώροι για το σκοπό αυτό.

Στα επόμενα τέσσερα κεφάλαια αναλύεται η διαδικασία εξόρυξης πετρελαίου. Συγκεκριμένα στο ένατο, γίνεται μια ιστορική αναδρομή της παραγωγής πετρελαίου και αναφορές στις πρώτες πετρελαϊκές πηγές.

Στο δέκατο κεφάλαιο, αναλύεται η φυσική και χημική σύσταση του πετρελαίου.

Το ενδέκατο κεφάλαιο, έχει ως αντικείμενο την έρευνα και εξόρυξη πετρελαίου και αναλύεται η διαδικασία εξόρυξης, διύλισης καθώς και τα παράγωγα αυτής.

Τέλος το δωδέκατο κεφάλαιο, επικεντρώνεται στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης πετρελαίου και των παραγώγων του και η παραγωγή πετρελαίου στην Ελλάδα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.Γενικά.....	1
2.Πορώδη μέσα.....	2
3.Ροή δύο μη αναμίξιμων φάσεων σε πορώδη μέσα.....	3

1.ΓΕΝΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ-ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

1.1. Ορισμός του CO ₂	10
1.1.1. Ιστορικά.....	10
1.1.2. Ιδιότητες του CO ₂	11
1.1.3. Διαλυτότητα.....	11
1.1.4. Χρήσεις του CO ₂	12
1.2. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	12
1.3. Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου.....	14
1.3.1. Παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου.....	14
1.3.2. Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στην Ελλάδα.....	14

2.ΔΕΣΜΕΥΣΗ

2.1. Δέσμευση μετά την καύση.....	17
2.1.1. Απορρόφηση με χρήση υγρού διαλύματος (αμίνες).....	19

2.1.2. Ιοντικά υγρά.....	20
2.1.3. Ανθρακικά άλατα.....	20
2.1.4. Φυσικοί διαλύτες.....	21
2.1.5. Διαπερατές μεμβράνες.....	21
2.1.6. Απορρόφηση με στερεά υλικά βασισμένα σε αμίνες.....	21
2.1.7. Πολυμερείς μεμβράνες.....	22
2.2. Συστήματα δέσμευσης πριν από την καύση.....	22
2.3. Συστήματα ηλεκτροπαραγωγής φυσικού αερίου.....	23
2.4. Συστήματα δέσμευσης σε ήδη υπάρχουσες εγκατ/σεις καύσης κάρβουνου.....	24
2.5. Συστήματα δέσμευσης με καύση σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου.....	24

3.ΜΕΤΑΦΟΡΑ

3.1. Μεταφορά μέσω ξηράς.....	26
3.1.1. Αγωγοί.....	26
3.1.2. Φορτηγά και τρένα.....	27
3.2. Μεταφορά μέσω θάλασσας.....	28

4.ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

4.1. Γεωλογική αποθήκευση.....	29
4.1.1. Ταμιευτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου.....	30
4.1.2. Υδροφόροι ορίζοντες.....	31
4.1.3. Σε κοιτάσματα μη εξορυγμένου γαιάνθρακα.....	32
4.1.4. Περιοχές σχιστόλιθου και μελανόλιθου.....	32
4.2. Αποθήκευση σε ωκεανούς.....	33
4.3. Αποθήκευση μέσω ορυκτοποίησης.....	34

5.ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

5.1. Κίνδυνοι δέσμευσης.....	36
------------------------------	----

5.1.1. Υγεία.....	36
5.1.2. Περιβάλλον.....	36
5.2. Κίνδυνοι μεταφοράς.....	37
5.2.1. Αγωγοί.....	37
5.2.2. Πλοία.....	37
5.3. Κίνδυνοι αποθήκευσης.....	38
5.3.1. Γεωλογική.....	38
5.3.2. Ορυκτοποίηση.....	39
5.3.3. Αποθήκευση σε ωκεανούς.....	40

6.ΚΟΣΤΟΣ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

6.1. Γενικά.....	41
6.1.1. Απορρόφηση με χρήση αμινών.....	41
6.1.2. Απ/φηση με χρήση αμινών σε σταθμό κονιορτοποιημένου καυσίμου.....	42
6.1.3. Τεχνολογία καύσης σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου.....	42

7.ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ CO₂

7.1. Weyburn.....	43
7.2. Sleipner.....	44
7.3. Snohvit.....	44
7.4. Nascent.....	45
7.5. Gestco.....	45

8.ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

8.1. Πιθανοί χώροι αποθήκευσης στην Ελλάδα.....	47
-------------------------------------------------	----

9.ΙΣΤΟΡΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

9.1. Ο μαύρος χρυσός.....	50
---------------------------	----

9.2. Ο πρώτος πετρελαιοπαραγωγός.....	51
9.2.1. Πόσο πετρέλαιο υπάρχει;.....	51
9.2.2. Τα πρώτα διυλιστήρια πετρελαίου.....	51
9.2.3. John D. Rockefeller.....	52

10. ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ

10.1. Χημική σύσταση.....	55
10.2. Φυσικές ιδιότητες.....	56

11. ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΕΞΟΡΥΞΗ

11.1. Ενδείξεις κοιτάσματος.....	57
11.2. Μέθοδοι εύρεσης πετρελαίου.....	58
11.3. Διύλιση.....	59
11.3.1. Προθέρμανση αργού πετρελαίου.....	59
11.3.2. Ατμοσφαιρική στήλη αργού πετρελαίου.....	60
11.3.3. Στήλη κενού αργού πετρελαίου.....	61
11.3.4. Η διαδικασία διύλισης.....	62
11.4. Κλάσματα διύλισης.....	63
11.4.1. Βενζίνη.....	63
11.4.2. Νάφθα.....	64
11.4.3. Πετροχημικά.....	64
11.4.4. Φυσικό αέριο.....	65
11.5. Διαδικασία γεώτρησης.....	66
11.5.1. Ρύθμιση της εξέδρας.....	67
11.5.2. Γεώτρηση.....	70
11.5.3. Εξαγωγή πετρελαίου.....	73

12. ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΕΙΔΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

12.1. Ρύπανση.....	75
12.1.1. Αμμώδεις ακτές.....	75
12.1.2. Βραχώδεις ακτές.....	76
12.1.3. Παράκτια βλάστηση.....	76
12.1.4. Πλαγκτόν.....	77
12.1.5. Κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία.....	77
12.2. Η παραγωγή πετρελαίου στην Ελλάδα.....	78
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	79
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	81

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.ΓΕΝΙΚΑ

Τα πορώδη υλικά είναι παρόντα σε πολλές διεργασίες και παρουσιάζουν ενδιαφέρον τόσο από πρακτική όσο και από θεωρητική πλευρά. Σχετίζονται με διεργασίες που αφορούν τη γεωργία, την επιστήμη των τροφίμων, τη βιοιατρική, την οικοδομική για τη σύνθεση νέων κεραμικών υλικών και χημικών ειδών, τον καθαρισμό των εδαφών, στην κονιομεταλλουργία και τη βιομηχανία πετρελαίου.

Τα πορώδη υλικά συναντώνται σε πολλές εφαρμογές στη βιομηχανία πετρελαίου όπως για παράδειγμα κατά την ανάκτηση του εναπομείναντος πετρελαίου μετά το πέρας διεργασιών πρωτογενούς και δευτερογενούς ανάκτησης πετρελαίου. Επιπροσθέτως χρησιμοποιούνται σε μελέτες που αφορούν την αποθεραπεία του μολυσμένου υδροφόρου ορίζοντα από ρύπους.

Για τη μελέτη των υπογείων υδάτων και την αποκατάσταση του μολυσμένου υδροφόρου ορίζοντα από υγρά απόβλητα, διεξάγονται πειράματα ταυτόχρονης ροής δυο μη αναμειξιμων ρευστών μέσω πορωδών μέσων σε μεταβατική κατάσταση, ως εκτόπιση του ενός ρευστού από το άλλο, σε μόνιμη κατάσταση.

Η μορφή που έχουν τα μη αναμειξιμα ρευστά κατά τη ροή τους μέσα από πορώδη μέσα ενδέχεται να είναι συνεχής ή ασυνεχής, δηλαδή υπό τη μορφή μικρών ή μεγάλων σταγόνων ή και στις δύο μορφές ανάλογα με τις συνθήκες. Γάγγλιο ονομάζεται μια σταγόνα της μη διαβρέχουσας φάσης που εντοπίζεται στον πορώδη χώρο ενός πορώδους μέσου και καταλαμβάνει χώρο μεγαλύτερο του ενός πόρου. Ως διαπερατά πορώδη χαρακτηρίζονται τα υλικά που έχουν την ικανότητα αγωγής ρευστών φάσεων μέσα από τη μάζα τους με ιξώδη ροή, διαμέσου ενός δικτύου πόρων που συνδέονται μεταξύ τους και με τα σύνορα του μέσου. Κλειστός πορώδης όγκος καλείται ένα πορώδες μέσο το οποίο διαθέτει δίκτυο πόρων χωρίς να συνδέεται με το περιβάλλον. Ένας κλειστός πορώδης όγκος ή ένα μέσο χωρίς πόρους καλείται αδιαπέρατο υλικό. Στην περίπτωση της εκτόπισης, το εκτοπίζον ρευστό καλείται εισβολέας ενώ το εκτοπιζόμενο υπερασπιστής. Έτσι λοιπόν, στην εισρόφηση υπερασπιστής είναι το μη διαβρέχον ρευστό και η εκτόπιση προχωρά με αύξηση του κορεσμού του διαβρέχοντος ρευστού (περίπτωση εκτόπισης πετρελαίου από νερό), αντιθέτως, στην αποστράγγιση έχουμε αύξηση του κορεσμού του μη διαβρέχοντος ρευστού (περίπτωση εκτόπισης νερού από πετρέλαιο). Καλούμε κορεσμό μιας φάσης το ποσοστό του πορώδους ή κενού όγκου του πορώδους μέσου που καταλαμβάνει η συγκεκριμένη φάση.

Οι διεργασίες εισρόφησης και αποστράγγισης διαφέρουν πολύ μεταξύ τους με αποτέλεσμα οι φυσικές ιδιότητες που μετρούνται να παρουσιάζουν υστέρηση. Αυτό οφείλεται στις διαμορφώσεις που λαμβάνουν τα ρευστά και στις διαφορές των διεπιφανειών που τα διαχωρίζουν λόγω διαφορετικών συνθηκών διαβρεκτικότητας. Στην εισρόφηση οι τριχοειδείς δυνάμεις υποβοηθούν τον εισβολέα, ο οποίος προχωρά από τους μικρότερους πόρους και σχηματίζει έναν λεπτό υμένα που καλύπτει τα τοιχωματά τους, ενώ στην αποστράγγιση οι τριχοειδείς δυνάμεις εμποδίζουν τον εισβολέα, ο οποίος τώρα κινείται μέσω των μεγαλύτερων πόρων καταλαμβάνοντας το εσωτερικό τους.

Η εικόνα ενός φαινομένου ροής σε πορώδες μέσο εξαρτάται από τις κλίμακες μεγέθους όπου το πορώδες ανάλογα με την κλίμακα μπορεί να είναι ομογενές ή όχι

(Διδακτορική Διατριβή Συγγούνη Βαρβάρα, 2007).

2.ΠΟΡΩΔΗ ΜΕΣΑ

Τα πορώδη πετρώματα που συναντώνται στους ταμιευτήρες πετρελαίου είναι ψαμμίτες, δολομίτες και ανθρακικά. Ακόμη, έχουν ανακαλυφθεί επιφανειακά κοιτάσματα πετρελαίου και σε ψαθυρά αμμώδη πετρώματα.

Χαρακτηριστικά των πορωδών μέσων :

- ∅ Πορώδες
- ∅ Σχήμα και διαστάσεις πόρων
- ∅ Διασύνδεση πόρων
- ∅ Διαβρεκτικότητα σε σχέση με τα ρευστά
- ∅ Ανομοιογένεια
- ∅ Ανισοτροπία

Πόρος καλείται κάθε κενός χώρος μέσα στη δομή του πορώδους μέσου ανεξαρτήτως σχήματος ή μεγέθους. Το σχήμα και οι διαστάσεις των καθορίζονται από το είδος του πετρώματος και την ιστορία διαγένεσης η οποία καθορίζει τον τελικό σχηματισμό. Διακρίνουμε τους πόρους των φυσικών πετρωμάτων σε **θαλάμους** και **λαιμούς**.

Θάλαμοι καλούνται οι μεγάλοι πόροι οι διαστάσεις των οποίων είναι συγκρίσιμες με αυτές των κόκκων. Οι **λαιμοί**, ωστόσο, είναι μικρότεροι πόροι και μοιάζουν με κανάλια που συνδέουν τους θαλάμους. Προσεγγιστικά, μπορεί να αποδοθεί μια χαρακτηριστική διάσταση στους θαλάμους ως η αποτελεσματική ακτίνα της σφαίρας που έχει τον ίδιο όγκο με τους πόρους. Η διαδικασία αυτή ορίζει τους πόρους σαν μέγιστα και ελάχιστα της μεγαλύτερης σφαίρας που εγγράφεται στους πόρους και έχει χρησιμοποιηθεί σε διαδικασίες προτυποποίησης ορισμένων μη στερεοποιημένων και στερεοποιημένων πετρωμάτων των ταμιευτήρων. Το πορώδες πέτρωμα μπορεί να αναπαρασταθεί με ένα δίκτυο στο οποίο τους κόμβους τοποθετούνται οι θάλαμοι ενώ στους δεσμούς τοποθετούνται οι λαιμοί. Το πορώδες αποδίδεται είτε όλο στους θαλάμους είτε στους λαιμούς ή ακόμη και να διαμοιραστεί στους δύο αυτούς τύπους πόρων.

Οι ταμιευτήρες αποτελούνται από πετρώματα στα οποία οι θάλαμοι μπορούν να χαρακτηριστούν από μια ισοδύναμη ογκομετρική διάμετρο και οι αποτελεσματικές διαμέτροι που προκύπτουν είναι τυχαία κατανεμημένες στο διάστημα από 5 έως 100 μm. Οι λαιμοί παρουσιάζουν σχισμοειδές και ακανόνιστο σχήμα και ο χαρακτηρισμός τους γίνεται με το πάχος, βάθος και ενδεχομένως πλάτος. Το μήκος τους είναι συγκρίσιμο με αυτό των κόκκων του πετρώματος, το πάχος τους κυμαίνεται από 1 έως 10 μm και το πλάτος τους είναι συγκρίσιμο με αυτό των θαλάμων.

Οι πληροφορίες για τους πόρους είναι ουσιαστικά οι κατανομές μεγέθους τους οι οποίες μπορεί να αναφέρονται σε ένα αποτελεσματικό ή χαρακτηριστικό μέγεθος. Οι κατανομές εξαρτώνται από την πειραματική μέθοδο και το πρότυπο που χρησιμοποιείται για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Οι σύνηθεις μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του μεγέθους των πόρων είναι η ποροσιμετρία υδραργύρου, η προσρόφηση και εκρόφηση αερίων και τέλος κάποιες νεώτεροι μέθοδοι όπως η σκέδαση νετρονίων και ακτίνων Χ, σε μικρές γωνίες, ο πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός, η υπερηχογραφία και η αξονική τομογραφία. Συνήθως,

λόγω των μειονεκτημάτων της κάθε μεθόδου, απαιτείται συνδυασμός μεθόδων με κάποια γνώση για το σχήμα και τη διασύνδεση των πόρων, προκειμένου να χαρακτηριστεί ένα πορώδες μέσο.

Η ποροσιμετρία συνίσταται στη σταδιακή είσδυση του υδραργύρου σε συνεχώς μικρότερους πόρους του μέσου με την αύξηση της πίεσης καθώς ο υδράργυρος δε διαβρέχει τα περισσότερα στερεά. Οι πληροφορίες που λαμβάνονται εξαρτώνται από το σχήμα, τη διασύνδεση των πόρων και την τοπολογία του πορώδους. Οι μεγαλύτεροι πόροι σκιάζονται από τους μικρότερους και δεν είναι προσπελάσιμοι από τον υδράργυρο στην αντίστοιχη πίεση. Σαν κατάλληλη μέθοδος χαρακτηρισμού της πορώδους δομής με βάση τους Payatakes and Dias, θεωρείται ο συνδυασμός ποροσιμετρίας και σειριακής τομογραφίας σε απλά και διπλά εκμαγεία πορωδών μέσων και με τη βοήθεια εξομοίωσης της είσδυσης υδραργύρου σε ένα ρεαλιστικό πρότυπο του πορώδους μέσου. Οι Tsakiroglou and Payatakes (1989) ανέπτυξαν ένα εξομοιωτή ποροσιμετρίας σε τρισδιάστατα πρότυπα δικτύων πόρων όπου ενσωματώνονται τα παραπάνω χαρακτηριστικά και είναι πιο γενικός από τη θεωρία διαπέρασης.

Η διασύνδεση των πόρων εκφράζεται ποσοτικά με τον αριθμό συνδιάταξης. Έτσι σαν τοπικός αριθμός συνδιάταξης, Z , θεωρείται εδώ ως ο αριθμός των λαιμών που συνδέονται με ένα θάλαμο. Ο μέσος αριθμός συνδιάταξης, \bar{Z} , σχετίζεται με τα τοπολογικά χαρακτηριστικά της πορώδους δομής και κυμαίνεται από 4 έως 7, αλλά σε μερικές περιπτώσεις έως 25 ή 30 (Sahimi, 1993). Ο λόγος διαμέτρου θαλάμου προς πάχος λαιμού καθορίζει ορισμένα από τα φαινόμενα αστάθειας των διεπιφανειών και τελικά το ποσοστό πετρελαίου που παγιδεύεται στον πορώδη χώρο ενώ κυμαίνεται από 3 έως 10. (Διπλωματική εργασία, Συγγούνη Βαρβάρα και Σπυρόπουλου Φώτη, 2002).

3.ΡΟΗ ΔΥΟ ΜΗ ΑΝΑΜΙΞΙΜΩΝ ΦΑΣΕΩΝ ΣΕ ΠΟΡΩΔΗ ΜΕΣΑ

3.1 Σχετικές διαπερατότητες

Η συνύπαρξη δύο μη αναμίξιμων ρευστών σε ένα πορώδες καθιστά δύσκολη την περιγραφή της ροής λόγω ανάπτυξης διεπιφανειών στους πόρους (διαμόρφωση των δύο ρευστών στο χώρο). Ξεκινώντας πάλι από την εξίσωση του Stokes και την εξίσωση συνέχειας εξάγονται οι παρακάτω εξισώσεις (Whitaker, 1986b):

$$\langle v_b \rangle = -\frac{K_b}{m_b} \cdot (\nabla \langle P_b \rangle^b - r_b g) + K_{bg} \cdot \langle v_g \rangle \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial S_b}{\partial t} + \nabla \cdot \langle v_b \rangle = 0 \quad (3.2)$$

$$\langle v_g \rangle = -\frac{K_g}{m_g} \cdot (\nabla \langle P_g \rangle^g - r_g g) + K_{gb} \cdot \langle v_b \rangle \quad (3.3)$$

$$\frac{\partial S_g}{\partial t} + \nabla \cdot \langle v_g \rangle = 0 \quad (3.4)$$

$$S_\beta + S_\gamma = 1 \quad (3.5)$$

Όπου S_β , S_γ οι κορεσμοί των δύο φάσεων. Οι παραπάνω σχέσεις ισχύουν όταν ο τριχοειδής αριθμός είναι μικρός $Ca \ll 1$ και η επίδραση από την κίνηση των γραμμών επαφής είναι αμελητέα.

Στη βιομηχανία του πετρελαίου οι όροι σύζευξης αμελούνται. Έτσι οι συντελεστές των φάσεων, K_β και K_γ , που απομένουν από τους συντελεστές των μακροσκοπικών εξισώσεων, διαιρεμένοι με την απόλυτη διαπερατότητα K δίνουν τις σχετικές διαπερατότητες των δυο φάσεων :

$$k_{r\beta} = \frac{K_\beta}{K} \quad k_{r\gamma} = \frac{K_\gamma}{K} \quad (3.6)$$

Η έννοια των σχετικών διαπερατοτήτων χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα στο παρελθόν σαν επέκταση του νόμου του Darcy, στην περίπτωση της ροής δύο φάσεων.

Η δικαιολόγηση της έννοιας των σχετικών διαπερατοτήτων απαιτεί:

1. η οπισθέλκουσα της ροής στην περιοχή των διεπιφανειών να είναι αμελητέα, και
2. η διεπιφάνεια να μπορεί να θεωρηθεί άκαμπτη, ως μια συνέχεια της διεπιφάνειας ρευστού και στερεού.

Υπό τις παραπάνω συνθήκες οι όροι σύζευξης είναι αμελητέοι και η περιγραφή της ροής των δύο φάσεων απαιτεί μόνο τη μέτρηση των σχετικών διαπερατοτήτων.

3.2.Τριχοειδής αριθμός

Ορίζεται από τη σχέση:

$$Ca = \frac{\mu \cdot v}{g} \quad (3.7)$$

όπου, γ είναι η διεπιφανειακή τάση των δυο φάσεων.

Ο τριχοειδής αριθμός εκφράζει το λόγο των ιξωδών προς τις τριχοειδείς δυνάμεις και για τις διεργασίες που μας ενδιαφέρουν λαμβάνει συνήθως πολύ μικρές τιμές της τάξης 10^{-4} έως 10^{-8} . Συνήθως, ο Ca αναφέρεται στη διαβρέχουσα φάση.

Η ροή σε πορώδη μέσα διέπεται επίσης από τους παρακάτω αδιάστατους αριθμούς:

$$We = \frac{rv^2 d}{\mu} \quad Bo = \frac{\Delta r g d^2}{\mu} \quad (3.8)$$

λόγος αδρανειακών	λόγος βαρυτικών
δυνάμεων προς τις	δυνάμεων προς τις
τριχοειδείς δυνάμεις	τριχοειδείς δυνάμεις

Ενώ παράλληλα παράγονται και άλλοι αδιάστατοι αριθμοί:

$$\text{Re} = \frac{We}{Ca} \quad \text{Fr} = \frac{We}{Bo} \quad (3.9)$$

Επειδή, η διάσταση d είναι πολύ μικρή, οι αριθμοί που την εμπεριέχουν είναι αμελητέοι. Αυτό συμβαίνει και στην παρούσα εργασία όπου ο μόνος αδιάστατος αριθμός που παίζει σημαντικό ρόλο είναι ο τριχοειδής και ο οποίος παραμένει σταθερός και ίσος με 10^{-6} .

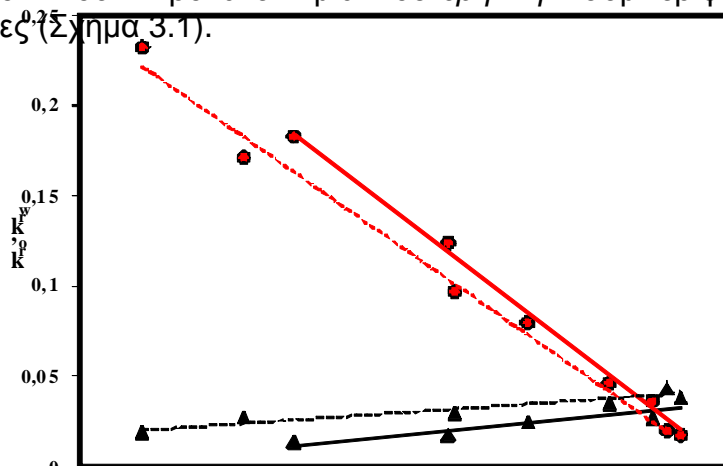
3.3. Παράμετροι της ροής

Οι παράμετροι που επηρεάζουν τις σχετικές διαπερατότητες είναι κυρίως ο κορεσμός των δύο φάσεων και η ιστορία της ροής. Έχει γίνει κατανοητό όμως ότι πρέπει να εξεταστεί οι επίδραση κάποιων επιπλέον παραμέτρων, όπως είναι:

- Η μορφολογία πορώδους χώρου
- Η διαβρεκτικότητα των ρευστών
- Λόγος ιξωδών
- Τριχοειδής αριθμός
- Ο τρόπος κατανομής των δυο ρευστών στον πορώδη χώρο είτε σε μόνιμη κατάσταση είτε σε μεταβατική

3.4. Ιστορία της ροής

Οι σχετικές διαπερατότητες εξαρτώνται από την ιστορία της ροής, δηλαδή τις αλλαγές που έγιναν στον κορεσμό των δύο φάσεων (συνθήκες εισρόφησης ή αποστράγγισης) γιατί υπάρχουν πολλές διαφορετικές διαμορφώσεις των ρευστών, οι οποίες ικανοποιούν την εξίσωση του Stokes. Η ιστορία της ροής επηρεάζει κατά τέτοιο τρόπο που προκαλεί μια *υστερητική* συμπεριφορά στις σχετικές διαπερατότητες (Σχήμα 3.1).



3.5.Μορφολογία της πορώδους δομής

Σύμφωνα με τους Morgan and Gordon (1970) τα πετρώματα με μεγάλους πόρους και αντίστοιχα μεγάλη ειδική επιφάνεια, έχουν μικρούς μη αναώγιμους κορεσμούς σε νερό αφήνοντας ένα μεγάλο μέρος του πορώδους χώρου στη ροή. Έτσι, οι τελικές τιμές των σχετικών διαπερατοτήτων είναι μεγάλες και κυμαίνονται σε μεγάλο διάστημα τιμών του κορεσμού (0.18-0.70).

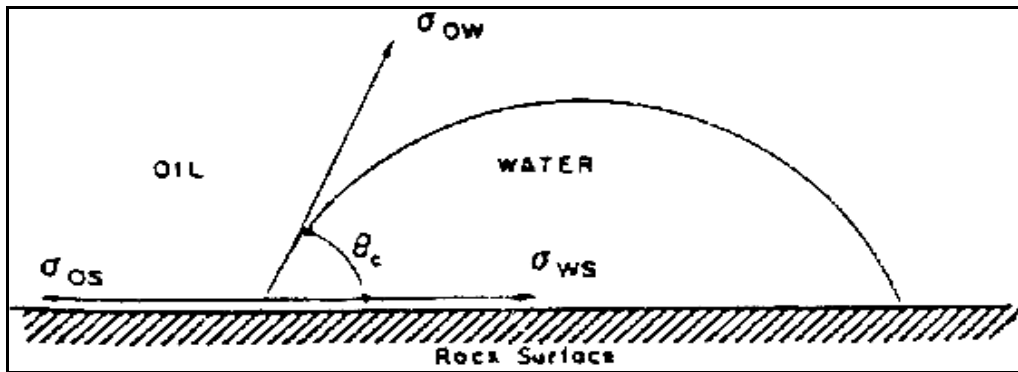
Αντίθετα, πετρώματα με μικρούς πόρους και μικρή ειδική επιφάνεια, ο χώρος που είναι διαθέσιμος για τη ροή είναι μικρότερος οπότε και οι τελικές τιμές των σχετικών διαπερατοτήτων είναι μικρές με τιμές που κυμαίνονται σε μικρότερα εύρη (0.33-0.73).

3.6.Διαβρεκτικότητα

Με τον όρο αυτό περιγράφονται οι αλληλεπιδράσεις ρευστών–στερεού, οι τάσεις δηλαδή που έχει ένα ρευστό να προσκολληθεί ή να εξαπλωθεί σε μία στερεή επιφάνεια κατά την παρουσία άλλων μη αναμίξιμων με αυτό ρευστών, αναφέρονται με τον όρο διαβρεκτικότητα. Η πιο άμεση εκδήλωση της διαβρεκτικότητας σε ένα σύστημα στερεού-υγρού-υγρού, είναι η γωνία επαφής ισορροπίας, θ_e , που παρατηρείται στο Σχήμα 3.2. στην ισορροπία οι τρεις διεπιφανειακές τάσεις συνδέονται με τη σχέση Young – Dupree :

$$\gamma_{ow} \cos\theta_e = \gamma_{os} - \gamma_{ws} \quad (3.10)$$

όπου γ_{ow} η διεπιφανειακή τάση μεταξύ του πετρελαίου και του νερού ενώ γ_{os} , γ_{ws} οι διεπιφανειακές τάσεις του πετρελαίου και της στερεής επιφάνειας και του νερού και στερεής επιφάνειας, αντίστοιχα.



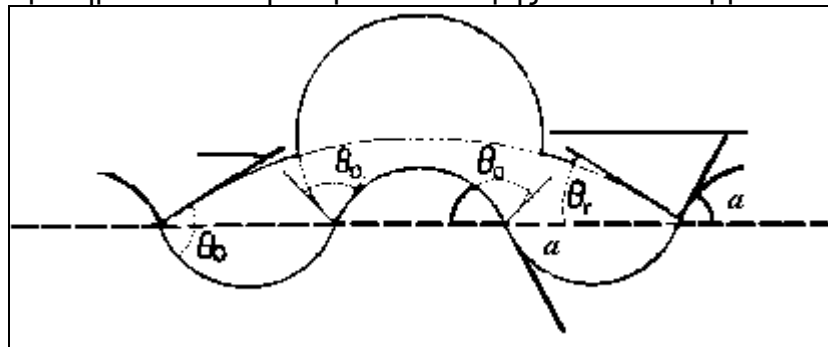
Σχήμα 3.2 : Γωνία επαφής ισορροπίας.

Η γωνία επαφής ισορροπίας μετρείται μέσω της διαβρέχουσας φάσης αν $\theta_e < 90^\circ$, η επιφάνεια θεωρείται υδατοδιαβρεκτική. Στην πραγματικότητα η επιφάνεια θεωρείται υδατοδιαβρεκτική όταν $\theta_e < 65^\circ$. Όταν $150 < \theta_e < 180$, η επιφάνεια θεωρείται πετρελαιοδιαβρεκτική. Αν $65^\circ < \theta_e < 150^\circ$, η επιφάνεια είναι ενδιάμεσης διαβρεκτικότητας και δεν δείχνει ιδιαίτερη προτίμηση σε κάποιο από τα δύο ρευστά. Τέλος, αν $\theta_e = 0^\circ$ τότε το ρευστό διαβρέχει πλήρως την επιφάνεια και αναπτύσσεται ένας διαβρέχων υμένας που διαχωρίζει το στερεό από το άλλο ρευστό και οι συνθήκες αυτές αποκαλούνται συνθήκες τέλει διαβροχής.

Η γωνία επαφής της εξίσωσης Young-Dupree θεωρείται ως η πραγματική γωνία επαφής, ενώ στα πραγματικά συστήματα παρατηρείται η φαινομενική γωνία επαφής (Σχήμα 3.3). Η γωνία που μετρείται παρουσιάζει πολλές διαφορετικές τιμές, εμφανίζει δηλαδή υστέρηση .

$$q_r^0 < q_{app} < q_a^0 \quad (3.11)$$

όπου, θ_r^0 είναι η στατική οπισθοχωρούσα γωνία και παρατηρείται όταν η επιφάνεια επαφής στερεού-ρευστού τείνει να αυξηθεί. θ_a^0 είναι η στατική προϊούσα γωνία επαφής και παρατηρείται όταν η επιφάνεια επαφής τείνει να συρρικνωθεί.



Σχήμα 3.3. Σταγόνα που ηρεμεί πάνω σε ομόκεντρα αυλάκια. Μικροσκοπικά και για τις δυο διαμορφώσεις η γωνία επαφής είναι ίδια, αν και μακροσκοπικά διαφέρει.

Οι λόγοι που οδηγούν σε ενδεχόμενη υστέρηση της γωνίας επαφής είναι οι εξής:

- (α) Η τραχύτητα της επιφάνειας
- (β) Η χημική ετερογένεια ή η μόλυνση της διεπιφάνειας

(γ) Η ακινησία της διεπιφάνειας σε μακρομοριακό επίπεδο

3.7.Επίδραση της διαβρεκτικότητας στην τριχοειδή πίεση

Ο ακίνητος μηνίσκος μεταξύ δύο αμιγών ρευστών τα οποία βρίσκονται σε ένα πόρο έχει σχήμα που καθορίζεται από τη γεωμετρία του πόρου και τη διαβροχή. Τριχοειδής πίεση είναι η διαφορά πίεσης μεταξύ της διαβρέχουσας και της μη διαβρέχουσας φάσης που υπάρχει εκατέρωθεν της διεπιφάνειας. Λόγω αυτής της διαφοράς πίεσης η διεπιφάνεια μεταξύ των δύο φάσεων είναι σφαιρική και εξαρτάται από το μέγεθος των πόρων και τις αναλογίες των ποσοτήτων των υπαρχόντων ρευστών.

Ο νόμος Young-Laplace δίνει την πίεση των ρευστών στις δύο πλευρές μιας στατικής διεπιφάνειας.

$$P_c = P_o - P_w = \gamma_{ow} J \quad (3.12)$$

$P_c \equiv$ τριχοειδής πίεση

$P_o \equiv$ πίεση από πλευρά πετρελαίου

$P_w \equiv$ πίεση από πλευρά νερού

$J \equiv$ μέση καμπυλότητα διεπιφάνειας = $1/R_1 + 1/R_2$

$R_1, R_2 \equiv$ κύριες ακτίνες καμπυλότητας της διεπιφάνειας.

Η τριχοειδής πίεση που δίνεται από τον παραπάνω είναι τοπική, ορίζεται για κάθε σημείο της διεπιφάνειας. Η συνάρτηση τριχοειδούς πίεσης για ένα πορώδες μέσο δίνεται από τον τύπο:

$$P_c(S_w) = P_o(S_w) - P_w(S_w) \quad (3.13)$$

όπου, οι συμβολισμοί εννοούν μέσες τιμές στον πορώδη όγκο. Είναι χαρακτηριστική για κάθε πορώδες μέσο και φανερώνει τα χαρακτηριστικά της διαβρεκτικότητάς του.

Η διαβρεκτικότητα επιδρά στις σχετικές διαπερατότητες και έχει αποδειχτεί με βάση παλαιότερες έρευνες πως η σχετική διαπερατότητα της μη διαβρέχουσας φάσης αυξάνεται όταν η γωνία επαφής ελαττώνεται, δηλαδή με βελτίωση των συνθηκών διαβρεκτικότητας. Σε συνθήκες ροής (δυναμικές) ορίζεται η δυναμική τριχοειδής πίεση:

$$P_c = \langle P_o \rangle - \langle P_w \rangle \quad (3.14)$$

Οι Spanos *et al.* (1986) έδειξαν πως ισχύει μια σχέση ανάλογη της εξίσωσης του Laplace για στατικές διεπιφάνειες:

$$P_c = \gamma_{ow} f / \varphi \quad (3.15)$$

Όπου f μια άγνωστη συνάρτηση.

Ο Kalaydjian (1987), με βάση νόμους γραμμικής θερμοδυναμικής μη αντιστρεπτών

διεργασιών έδειξε πως κάτω από συνθήκες ροής η δυναμική τριχοειδής πίεση δίνεται από τη σχέση:

$$P_c = g_{ow} Jf + L_1 \frac{\partial(fS_o)}{\partial t} \quad (3.16)$$

όπου, f είναι μία συνάρτηση που καθορίζει τη σχέση μεταξύ του ρυθμού μεταβολής των διεπιφανειών στο πορώδες και του ρυθμού μεταβολής του κορεσμού της μη διαβρέχουσας φάσης, S_o , L_1 είναι ένας μακροσκοπικός φαινομενολογικός συντελεστής.

Σε σχέση με τη διαβρεκτικότητα η εκτόπιση διακρίνεται σε εισρόφηση και αποστράγγιση. Εισρόφηση είναι η διαδικασία όπου η διαβρέχουσα φάση εκτοπίζει τη μη διαβρέχουσα. Αποστράγγιση είναι η αντίστροφη διαδικασία. Η τριχοειδής πίεση βοηθά την εκτόπιση στην εισρόφηση ενώ την εμποδίζει στην αποστράγγιση.

Λόγος ιξωδών

Ο λόγος ιξωδών ορίζεται ως ο λόγος του δυναμικού ιξώδους της μη διαβρέχουσας φάσης προς το δυναμικό ιξώδες της διαβρέχουσας φάσης .

$$k = \frac{m_o}{m_w} \quad (3.17)$$

Η επίδρασή του στις σχετικές διαπερατότητες δεν είναι καθορισμένη. Με βάση τους Goode και Rahmakrishnan (1993) η επίδρασή του λόγου των ιξωδών λαμβάνεται υπόψη σαν τρόπος μεταφοράς ορμής μέσω των διεπιφανειών.

Τριχοειδής αριθμός

Η χρησιμότητα των σχετικών διαπερατοτήτων στην περιγραφή της ροής δύο μη αναμίξιμων φάσεων σε πορώδη μέσα, προϋποθέτει την ανεξαρτησία τους από άλλες παραμέτρους, εκτός του κορεσμού των ρευστών και φυσικά της πορώδους δομής. Έτσι, η σημαντική επίδραση πολλών άλλων παραμέτρων σαν τους προαναφερθέντες, δυσκολεύει τη χρήση των συντελεστών αυτών στην περιγραφή και ερμηνεία των πειραματικών δεδομένων.

Εξάλλου ο τριχοειδής αριθμός και η σημαντική του επίδραση, περιορίζει δραστικά την αξία των σχετικών διαπερατοτήτων και τους καθιστά εμπειρικούς συντελεστές, καθώς ο νόμος Darcy, είναι πλέον ισχυρά μη γραμμικός.

Όταν ο τριχοειδής αριθμός είναι μικρός, δεν επιδρά σημαντικά στις σχετικές διαπερατότητες μια αύξησή του όμως κάνει τις καμπύλες των σχετικών διαπερατοτήτων να χάνουν την καμπυλότητά τους και τείνουν να γίνουν ευθείες (Rahmakrishnan and Wasan, 1984).

1.ΓΕΝΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ-ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

1.1.ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ CO₂

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι χημική ένωση η οποία αποτελείται από δύο άτομα οξυγόνου ενωμένα με ομοιοπολικό δεσμό και με ένα άτομο άνθρακα. Είναι ένα γραμμικό μόριο χωρίς διπολική ροπή και περιέχει 27.3 % w/w άνθρακα και 72.7 % w/w οξυγόνο. Ο συντακτικός τρόπος απόδοσής του είναι: O=C=O.

Το CO₂ είναι αέριο συστατικό που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα. Σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας είναι άοσμο, άχρωμο και άγευστο. Προκύπτει από την καύση όλων των ορυκτών καυσίμων όπως πετρέλαιο, βενζίνη, φυσικό αέριο κτλ. , από την καύση υλικών όπως ξύλο, πλαστικό και άλλων οργανικών ενώσεων αλλά και από οργανικές ουσίες που αποσυντίθενται. Άλλες πηγές εκπομπής του διοξειδίου του άνθρακα είναι τα ηφαίστεια, οι θερμές πηγές και τα ανθρακικά πετρώματα όπως ασβεστίτης, μάρμαρο, μαγνησίτης και άλλα. Τέλος, παράγεται και κατά την αναπνοή των ανθρώπων, των ζώων και των φυτών (Wikipedia) .

1.1.1.Ιστορικά

Ως συστατικό του αέρα, το διοξείδιο του άνθρακα είναι από τα πρώτα αέρια που μελετήθηκαν. Η ιστορία ξεκίνησε μετά από την παρατήρηση του Φλαμανδού χημικού Γιαν Μπάπτιστ Φαν Χέλμοντ, πως κατά την καύση του άνθρακα σε κλειστό δοχείο η μάζα της στάχτης που απομένει είναι μικρότερη από τη μάζα του αρχικού άνθρακα. Τότε, η εξήγηση που έδωσε ήταν πως ο άνθρακας που έλειπε είχε μετατραπεί σε μια αόρατη ουσία, στην οποία έδωσε το όνομα «αέριο» ή άγριο πνεύμα.

Εκτενέστερες μελέτες για τις ιδιότητες του άνθρακα έγιναν το 1750-1760 από τον Σκωτσέζο φυσιολόγο Τζόζεφ Μπλάκ, ο οποίος παρατήρησε ότι κατά τη θέρμανση ή κατεργασία του ανθρακικού ασβεστίου (ασβεστόλιθος) παράγεται ένα αέριο. Το αέριο αυτό το ονόμασε «σταθερό αέρα».

Το 1772, δημοσιεύτηκε μια εργασία με τίτλο «Εμπλουτισμός του νερού με Σταθερό Αέρα» από τον Άγγλο χημικό Τζόζεφ Πρίστλεϋ. Στην εργασία αυτή περιγραφόταν η εξής διαδικασία: σε μια κιμωλία έπεφταν σταγόνες θειικού οξέος για να παράγουν διοξείδιο του άνθρακα, το αέριο στη συνέχεια διοχετεύοταν σε μπουκάλι με νερό και διαλυόταν.

Η υγροποίηση του CO₂ έγινε για πρώτη φορά το 1823 από τον Χάμφρεϋ Ντέιβι και το μαθητή του Μάικλ Φαραντέϋ. Τέλος, την πιο παλιά περιγραφή στερεού CO₂ έδωσε ο Σαρλ Τίλοριέ, που το 1834 άνοιξε ένα δοχείο στο οποίο βρίσκονταν υγρό CO₂ υπό πίεση και παρατήρησε ότι το υγρό εξατμίστηκε με ταχύτατους ρυθμούς και μετατράπηκε σε «χιονι» στερεού CO₂ (Wikipedia).

1.1.2. Ιδιότητες του CO₂

Είναι αέριο άχρωμο και σε μικρές συγκεντρώσεις είναι και άοσμο. Σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας η πυκνότητα του είναι $1,98 \text{ kg/m}^3$, είναι δηλ. 1,5 φορά πυκνότερο του αέρα. Σε 1 Atm (δηλ. σε πίεση στο επίπεδο της θάλασσας), μετατρέπεται απευθείας σε στερεό, σε θερμοκρασίες κάτω από $-78.51 \text{ }^\circ\text{C}$ και, αν είναι σε στερεή μορφή, εξαχνώνεται πάνω από τους $-78.51 \text{ }^\circ\text{C}$. Στη στερεή του κατάσταση, το διοξείδιο του άνθρακα, είναι γνωστό ως "ξηρός πάγος".

Η κρίσιμη θερμοκρασία του είναι $31.1 \text{ }^\circ\text{C}$ και επομένως υγροποιείται εύκολα στη συνηθισμένη θερμοκρασία αλλά μόνο με συμπίεση (7.38 MPa). Είναι λίγο διαλυτό στο νερό, η διαλυτότητά του όμως αυξάνεται, όπως όλων των αερίων, με την πίεση. Νερό κορεσμένο από CO_2 με πίεση λέγεται "νερό του Seltz".

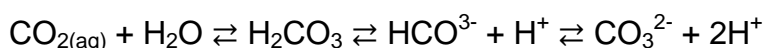
Το τριπλό σημείο του διοξειδίου του άνθρακα είναι περίπου 518 kPa στους $-56.6 \text{ }^\circ\text{C}$. Υπάρχει και μια εναλλακτική μορφή άμορφου κρυσταλλικού στερεού διοξειδίου του άνθρακα, όχι όμως σε ατμοσφαιρική πίεση. Αυτή η μορφή γυαλιού, που ονομάζεται "καρμπόνια" παράχθηκε με υπέρψυξη θερμαινόμενου CO_2 σε ακραίες συνθήκες πίεσης (περίπου 400000 Atm). Η ανακάλυψη αυτή επιβεβαίωσε τη θεωρία ότι το διοξείδιο του άνθρακα θα μπορούσε να υπάρχει σε μια κατάσταση παρόμοια με τις κρυσταλλικές μορφές των άλλων στοιχείων της ομάδας του άνθρακα στον περιοδικό πίνακα όπως το πυρίτιο και το γερμάνιο. Σε αντίθεση όμως με τα διοξείδια του πυριτίου και του γερμανίου, η "καρμπόνια" δεν είναι σταθερή σε κανονική πίεση.

Το μόριο του διοξειδίου του άνθρακα ($\text{O}=\text{C}=\text{O}$) περιέχει δύο διπλούς δεσμούς, και έχει γραμμική μορφή. Η ενέργεια κάθε δεσμού $\text{C}=\text{O}$ είναι 799 KJ/mol . Αποδεικνύεται κβαντομηχανικά ότι η δομή του CO_2 περιέχει διάχυτους (μη εντοπισμένους) διπλούς δεσμούς $\text{C}=\text{O}$ (δηλ. τα 4 ηλεκτρόνια των π-δεσμών είναι ελεύθερα να κινούνται σε όλο το μήκος του πυρηνικού σκελετού) και όχι εντοπισμένους επειδή η ολική ενέργεια της βασικής κατάστασης στην πρώτη περίπτωση είναι μικρότερη και επομένως το μόριο είναι σταθερότερο. Το CO_2 όπως είναι φανερό δεν έχει διπολική ροπή, είναι δηλαδή μόριο μη-πολικό (Wikipedia).

1.1.3. Διαλυτότητα

Η διαλυτότητα του διοξειδίου του άνθρακα στο νερό εξαρτάται από παράγοντες όπως: η πίεση, η θερμοκρασία, ο βαθμός pH και η παρουσία άλλων ουσιών στο διάλυμα. Όταν βρίσκεται σε θερμοκρασία δωματίου, τότε η διαλυτότητα του στο νερό είναι σχεδόν 90ml ανά 100 ml νερού.

Σε υδατικό διάλυμα το CO_2 βρίσκεται με τη μορφή:



Τα ανιόντα του παραπάνω σχήματος αντιδρούν με τα κατιόντα που περιέχονται στο νερό και παράγουν αδιάλυτα άλατα (Wikipedia).

1.1.4. Χρήσεις του CO_2

Το CO₂ χρησιμοποιείται από τις εξής βιομηχανίες: χημική βιομηχανία, βιομηχανία πετρελαίου, και τη βιομηχανία τροφίμων. Επιπλέον, σαν αέριο υπό πίεση, επειδή είναι σχετικά φτηνό και άφλεκτο, βρίσκει και εφαρμογή σε πολλά καταναλωτικά προϊόντα και γενικές εφαρμογές, όπως: σωσίβια γιλέκα, για φούσκωμα ελαστικών, σε κάψουλες για χρήση σε αεροβόλα όπλα, για παραγωγή δισκίων φαρμάκων, για ανατινάξεις ορυχείων, ακόμα και για την απομάκρυνση του σκόρου από τα ρούχα.

Επιπλέον, το CO₂ χρησιμοποιείται και στις εξής εφαρμογές και διεργασίες: την παραγωγή ποτών και τροφίμων, ως υγρό σε πυροσβεστήρες, σαν βιομηχανικό αέριο λείζερ, σαν βασικό συστατικό παραγωγής πλαστικών, στην εξόρυξη πετρελαίου, σαν ψυκτικό υγρό, για την παραγωγή κρασιού, για τον έλεγχο του pH καθώς και για χημικές, ιατρικές και γεωργικές διεργασίες (Wikipedia).

1.2. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Τον τελευταίο καιρό, τα έντυπα και ηλεκτρονικά μέσα ενημέρωσης αναφέρουν όλο και πιο συχνά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και το έχουν καταστήσει ως ένα από τα πιο γνωστά και επίκαιρα φαινόμενα. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι μία φυσική διαδικασία η οποία διατηρεί την θερμοκρασία της Γης σε κανονικά επίπεδα (15 °C) , έτσι ώστε να μπορεί να υπάρξει ζωή και ανάπτυξη. Χωρίς αυτό η Γη θα είχε θερμοκρασία περίπου -20 °C , με αποτέλεσμα να μην μπορεί να υπάρξει ζωή.

Τα αέρια του θερμοκηπίου, σχηματίζουν ένα στρώμα σ' ένα ορισμένο ύψος πάνω από την επιφάνεια της Γης, με αποτέλεσμα η υπέρυθη ακτινοβολία που εισέρχεται από τον Ήλιο να απορροφάται κατά ένα μέρος από τη Γη και την ατμόσφαιρα. Η συνολική ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται η Γη, αντιστοιχεί περίπου σε ροή 1400 Watt ανά τετραγωνικό μέτρο, στο όριο της ατμόσφαιρας. Ένα μέρος αυτής της ακτινοβολίας απορροφάται από το σύστημα Γη-ατμόσφαιρα, και το υπόλοιπο μέρος διαφεύγει στο διάστημα.

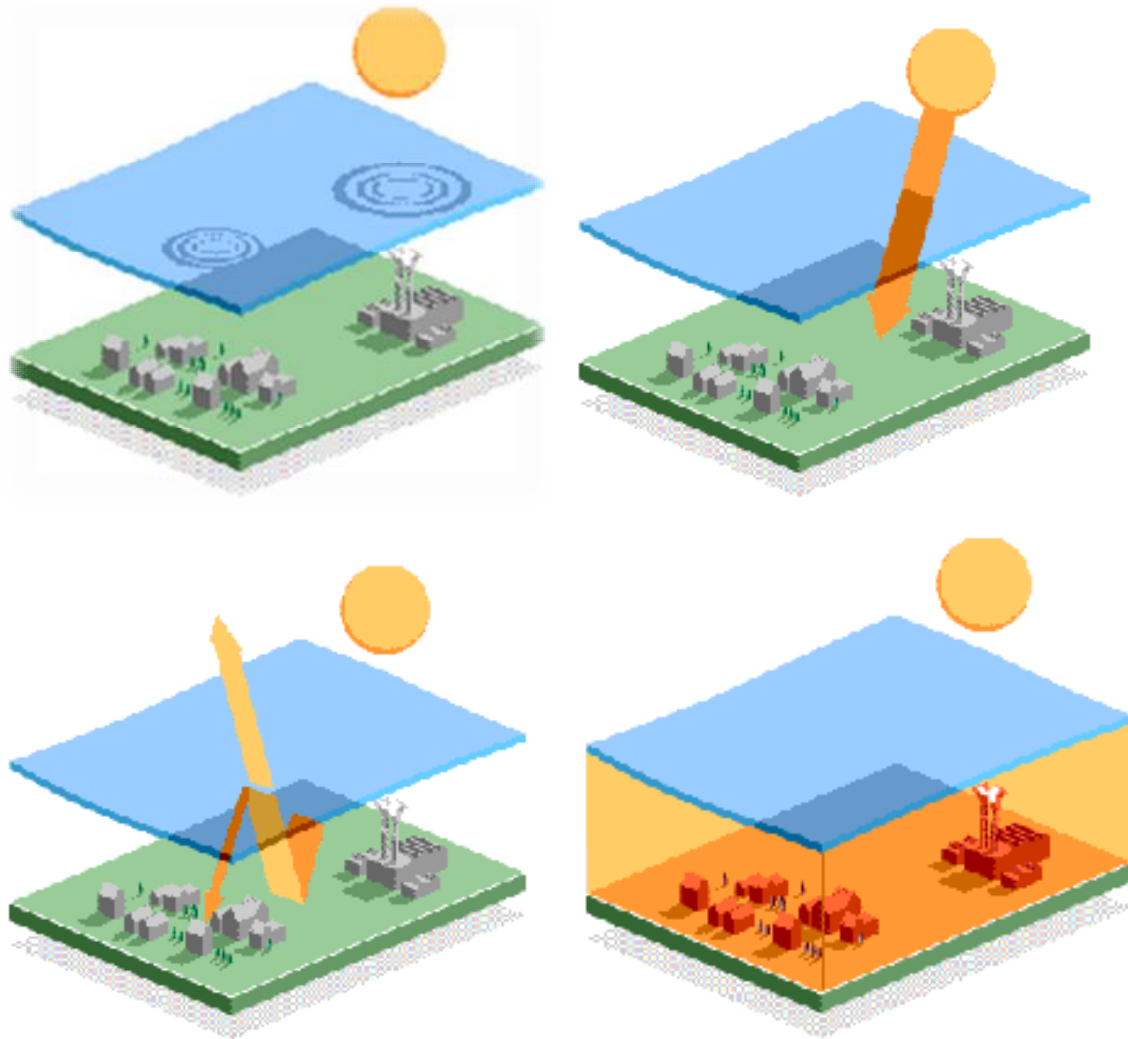
Σε γενικές γραμμές, περίπου το 30% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται κατά 6% από την ατμόσφαιρα, κατά 4% από την επιφάνεια της Γης και κατά 3% από τα σύννεφα. Το υπόλοιπο 70%, απορροφάται κατά 16% από την ατμόσφαιρα, στην οποία συμπεριλαμβάνεται και το στρώμα της στρατόσφαιρας, κατά 51% από την επιφάνεια της Γης και τους ωκεανούς και κατά 3% από τα νέφη. Επομένως, ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται, περνά αναλλοίωτο στην ατμόσφαιρα φτάνει στο έδαφος και ακτινοβολείται προς τα πάνω με μεγαλύτερο μήκος κύματος. Στη συνέχεια, ένα μέρος της ακτινοβολίας αυτής απορροφάται από την ατμόσφαιρα θερμαίνοντας την, και εκπέμπεται ξανά στο έδαφος. Δηλαδή, το στρώμα αερίων, επιτρέπει την είσοδο της ακτινοβολίας αλλά παράλληλα την εγκλωβίζει. Επειδή αυτή η διαδικασία μοιάζει με τη λειτουργία ενός θερμοκηπίου, ο Γάλλος μαθηματικός Fourier, το 1822 ονόμασε αυτό το φαινόμενο, Φαινόμενο του θερμοκηπίου (www.physics4u.gr).

Ένα μεγάλο ποσοστό της ακτινοβολίας που κατακρατείται από την ατμόσφαιρα (86%) , οφείλεται στην παρουσία υδρατμών οι οποίοι κατακρατούν το μεγαλύτερο ποσοστό (60%), στην παρουσία διοξειδίου του άνθρακα και στην παρουσία νεφών. Λιγότερη συνεισφορά έχουμε από τα αέρια μεθανίου, όζοντος και οξειδίου του νατρίου (8%). Άρα αναφερόμαστε σε μια φυσική διεργασία που

εξασφαλίζει στη Γη μια θερμοκρασία σε σταθερά επίπεδα περίπου στους 15°C

Τα τελευταία χρόνια όμως, ο ορισμός «Φαινόμενο του θερμοκηπίου» δεν παραπέμπει σε μια φυσική διεργασία αλλά στην έξαρση αυτής, λόγω της διαταραχής του περιβάλλοντος και της ατμόσφαιρας από τις ανθρωπίνες δραστηριότητες. Το 75% της ανθρωπογενούς παραγωγής CO₂ οφείλεται στη χρήση ορυκτών καυσίμων ενώ το 25% οφείλεται στις αλλαγές του εδάφους της Γης, όπως π.χ. η αποδάσωση.

Υπολογίζεται ότι η μέση θερμοκρασία της Γης έχει αυξηθεί τα τελευταία 230 χρόνια κατά 0,5-0,6 °C , και αν δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα, το 2100 η αύξηση θα φτάσει από 1,5 έως 4,5 °C (www.physics4u.gr).



Εικόνα 1.2.1. Απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου

Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι περίπου 20 και καταλαμβάνουν περίπου το 1% του συνολικού όγκου της ατμόσφαιρας. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι τα εξής: υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, το υποξείδιο του αζώτου, οι χλωροφθοράνθρακες και το τροποσφαιρικό όζον. Άρα, κάθε μεταβολή της συγκέντρωσης κάθε ενός αερίου εξ αυτών, διαταράσσει το ενεργειακό ισοζύγιο, και μεταβάλλοντας την θερμοκρασία, επιφέρει κλιματικές αλλαγές. Οι υδρατμοί, αν και

απορροφούν το 65% της υπέρυθρης ακτινοβολίας, δεν έχουν επηρεαστεί σημαντικά από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Αντιθέτως, οι συγκεντρώσεις των υπολοίπων αερίων έχουν υποστεί σημαντικές μεταβολές με μεγαλύτερη και σημαντικότερη μεταβολή αυτή του CO₂.

Μια άλλη συνέπεια των ανθρώπινων δραστηριοτήτων είναι ότι, εκτός από την εκπομπή υψηλών συγκεντρώσεων CO₂ στην ατμόσφαιρα, καταστρέφουν τα δάση και το φυτοπλαγκτόν των ωκεανών, και με αυτόν τον τρόπο έχουν μειώσει και την ικανότητα της Γης να απορροφά το CO₂ και να το ενσωματώνει στους φυσικούς κύκλους ροής ενέργειας και ύλης (www.physics4u.gr).

1.3. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

1.3.1. Παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου

Οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου τη χρονιά 1990 ήταν περίπου 28 δις tCO₂eq¹, εκ των οποίων τα 18,5 δις tCO₂eq¹ αντιστοιχούσαν στις εκπομπές του CO₂. Η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα κατά την προβιομηχανική περίοδο ήταν 280 ppmv² και το 2000 ήταν περίπου 370 ppmv. Τα αέρια του θερμοκηπίου, σύμφωνα με εκτιμήσεις, το 2100 θα φτάσουν τα 935 ppmv και θα απαιτηθεί μείωσή τους σε 600 ppmv περίπου (Γ. Χατζηγιάννη, 2007).

1.3.2. Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στην Ελλάδα

Σύμφωνα με το αναθεωρημένο Σενάριο Αναμενόμενης Εξέλιξης για την Ελλάδα ισχύει ότι: οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου το έτος βάσης (1990) συνολικά είναι 110,212 MtCO₂eq, ενώ το έτος 2005 οι εκπομπές αυτές αυξήθηκαν κατά 29,4%. Αύξηση είχαν και οι εκπομπές του CO₂ το ίδιο έτος, κατά 36%

Το 2010 οι αυξήσεις στις εκπομπές αερίων άγγιξαν το 57,6%, ενώ οι εκπομπές CO₂ αυξήθηκαν κατά 48,1% σε σχέση με το έτος βάσης.

Το 2020 οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αναμένεται να είναι αυξημένες κατά 57,6% και οι εκπομπές του CO₂ αυξημένες κατά 68,3% σε σχέση με τα επίπεδα του έτους βάσης (Γ. Χατζηγιάννη, 2007).

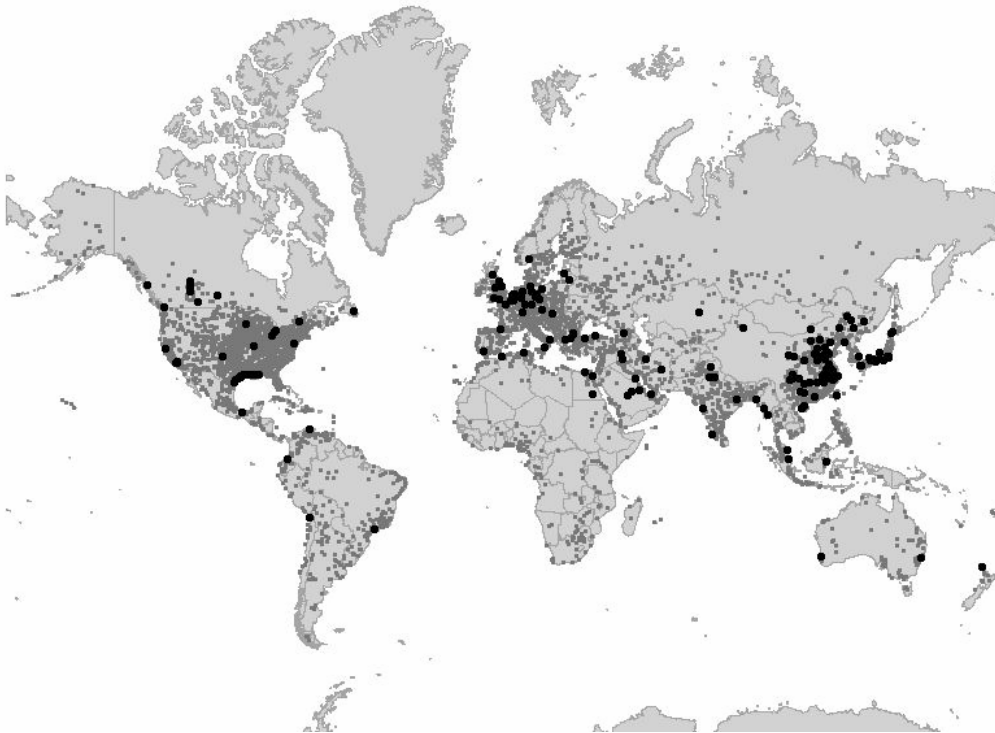
Η παγκόσμια κοινότητα έχει δεσμευτεί μέσω σύμβασης πλαίσιο για τις μεταβολές του κλίματος, να σταθεροποιήσει τις εκπομπές CO₂ στα επίπεδα του έτους 1990 και μέσω του πρωτοκόλλου του Κιότο επιτευχθεί μείωση των εκπομπών των αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά 5,2% , σε σχέση με τις εκπομπές του 1990, μέχρι το 2012.

Σύμφωνα με τη συνθήκη του Κιότο, η Ελλάδα υποχρεούται το 2011 να μην υπερβεί το ανώτατο όριο εκπομπών CO₂ το οποίο καθορίστηκε ως το 125% των εκπομπών του έτους 1990. Σε περίπτωση που το υπερβεί, προβλέπεται πρόστιμο της τάξης των 10 ευρώ για κάθε επιπλέον τόνο CO₂ πάνω από το επιτρεπτό όριο. Ωστόσο, από το 2004 οι εκπομπές CO₂ στην Ελλάδα αυξήθηκαν κατά 24%.

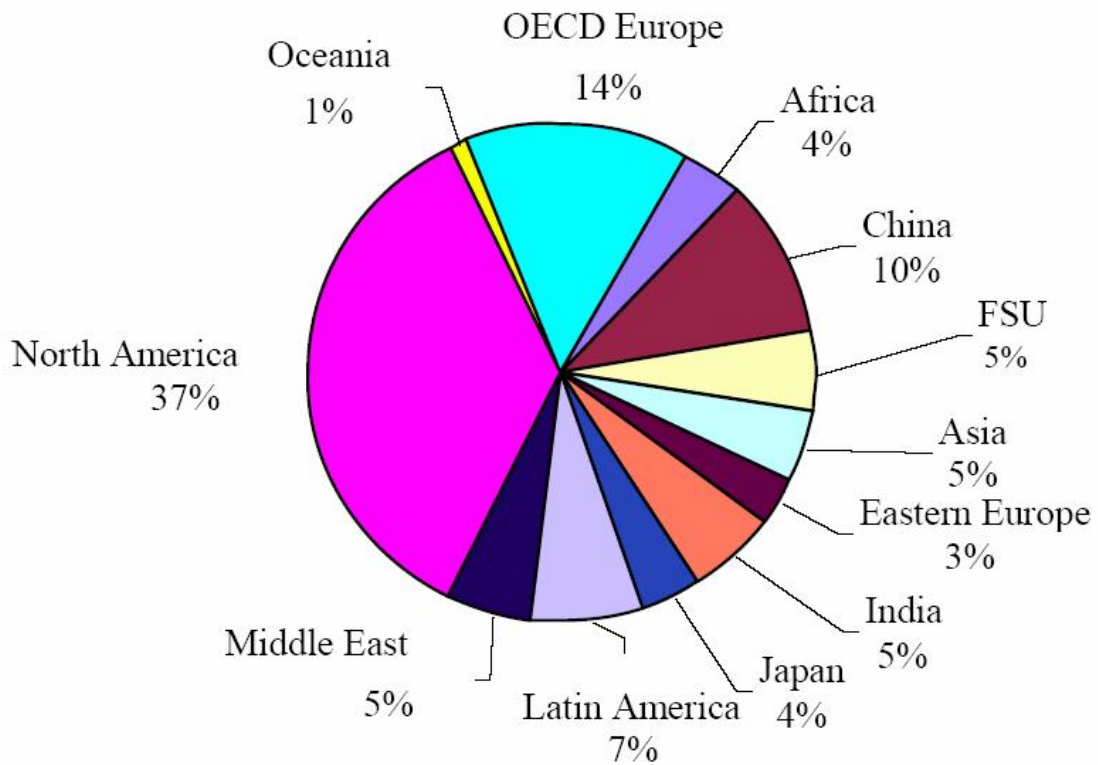
Προκειμένου να επιτευχθεί μείωση των εκπομπών του CO₂ που συντελεί στην έξαρση του φαινομένου του θερμοκηπίου, έχουν αναπτυχθεί οι συγκεκριμένες

τεχνολογίες: Τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂ και τεχνολογίες καθαρής καύσης άνθρακα.

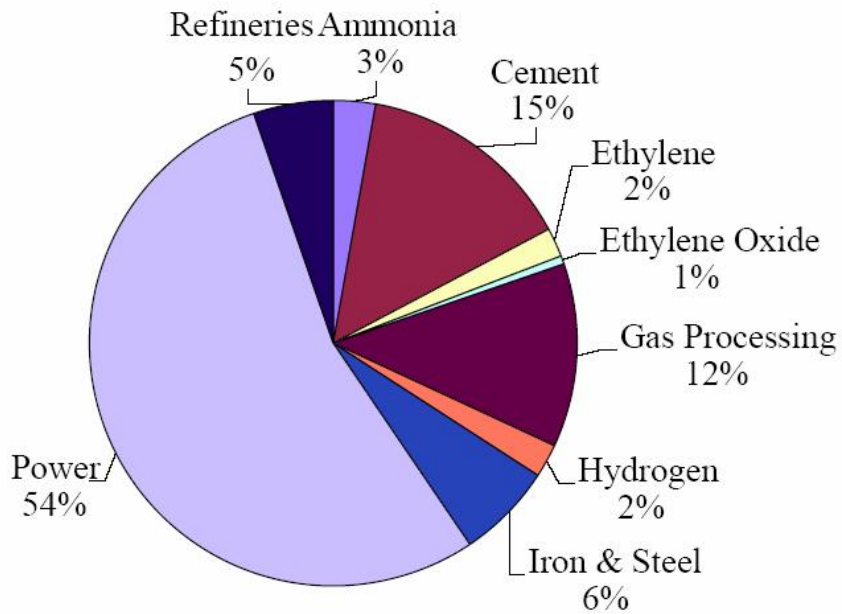
Στα επόμενα κεφάλαια θα περιγραφούν εκτενώς οι τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα. (Γ. Χατζηγιάννη,2007).



Εικόνα 1.3.2.1 Γεωγραφική κατανομή εκπομπών CO₂



Σχήμα 1.3.2.2 Εκπομπές CO₂ ανά περιοχή



Σχήμα 1.3.2.3 Εκπομπές CO₂ από παραγωγή ενέργειας-βιομηχανία

2.ΔΕΣΜΕΥΣΗ

Η διαδικασία δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂ περιλαμβάνει τρεις ανεξάρτητες και ολοκληρωμένες επεξεργασίες, οι οποίες είναι η δέσμευση, η μεταφορά του στη θέση αποθήκευσης και η αποθήκευση του.

Η διαδικασία της σύλληψης-δέσμευσης του CO₂ έχει ως σκοπό, το διαχωρισμό του CO₂ από τις πηγές του με φυσικό τρόπο, οι οποίες μπορεί να είναι βιομηχανικές μονάδες, μονάδες παραγωγής ενέργειας διυλιστήρια κτλ. Μετά τη δέσμευση του, το διοξείδιο του άνθρακα συμπιέζεται με σκοπό την παραγωγή ενός συμπιεσμένου υγρού που στη συνέχεια θα μεταφερθεί και θα αποθηκευτεί

Από τα στάδια που περιλαμβάνονται στην διαδικασία δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), το στάδιο της σύλληψης-δέσμευσης είναι το πιο δαπανηρό και αντιπροσωπεύει περίπου το 80% του συνολικού κόστους (Folger,2009).

Το κόστος δέσμευσης CO₂ αποτελείται από τον συνδυασμό του αρχικού κόστους κεφαλαίου, του κόστους λειτουργίας και συντήρησης καθώς και του κόστους που επιφέρει η μείωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από την μονάδα ηλεκτροπαραγωγής. Όλες οι διαθέσιμες τεχνολογίες δέσμευσης, καθώς και αυτές που βρίσκονται σε στάδιο ανάπτυξης, απαιτούν πρόσθετα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας για να λειτουργήσουν. Ακόμα, οι περισσότερες τεχνολογίες απαιτούν και μεγάλα ποσά θερμότητας και νερού για να πραγματοποιήσουν χημικές και διάφορες άλλες λειτουργίες, γεγονός που προσθέτει επιπλέον κόστος στη λειτουργική διαδικασία. Οι τεχνολογίες δέσμευσης βρίσκονται ακόμα υπό ανάπτυξη και θα πρέπει να μελετηθούν για να εφαρμοστούν σε μεγάλη κλίμακα, ωστόσο, ένα μεγάλο μέρος της προόδου που έχει γίνει είναι προκαταρκτική έρευνα και μικρότερα προγράμματα επίδειξης. Ενώ η έως τώρα έρευνα έχει δώσει πολύτιμες πληροφορίες για τις τεχνολογίες δέσμευσης, πολλές ερωτήσεις παραμένουν σχετικά με τις δαπάνες που συνδέονται με αυτήν την τεχνολογία (Folger,2009).

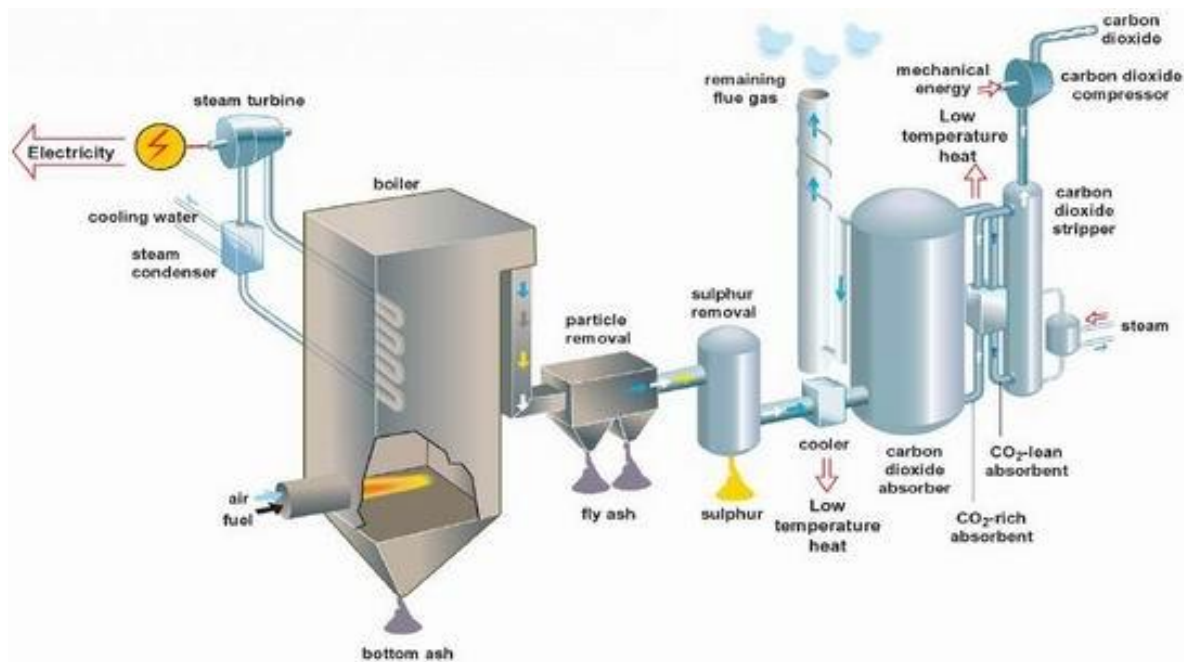
2.1.ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΑΥΣΗ

Η δέσμευση CO₂ μετά την καύση σημαίνει τον διαχωρισμό του από το καυσαέριο το οποίο παράγεται από εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας κωνιοποιημένου άνθρακα. Ο διαχωρισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί με διαλύτες, μεμβράνες, συστήματα απορρόφησης ή με κρυογενικές μεθόδους. Οι πιο πλήρως αναπτυγμένες τεχνολογίες περιγράφονται παρακάτω. Ενώ αρκετές τεχνολογίες δέσμευσης CO₂ μετά την καύση είναι διαθέσιμες, δεν υπάρχει κανένα οικονομικό κίνητρο ή νομική απαίτηση που να αναγκάζει τις βιομηχανίες να εφαρμόσουν τέτοια συστήματα. Αυτές οι τεχνολογίες εφαρμόζονται στην πλειοψηφία των υπαρχουσών βιομηχανιών.



Εικόνα 2.1 Μονάδα δέσμευσης μετά την καύση

Ωστόσο, υπάρχουν κάποια σημαντικά εμπόδια όσον αφορά τη χρήση της τεχνολογίας της δέσμευσης πριν την καύση. Ένα εκ των οποίων είναι ότι το καυσαέριο που εξέρχεται από την εγκατάσταση βρίσκεται σε ατμοσφαιρική πίεση, με συνέπεια να έχει μικρή θερμοδυναμική κατευθυντήρια δύναμη, με αποτέλεσμα να απαιτεί αύξηση πίεσης έτσι ώστε να μπορέσει να ακολουθήσει η διαδικασία δέσμευσης και αποθήκευσης. Η συμπίεση η οποία εμφανίζεται άμεσα μετά από τη δέσμευση, είναι ένα μεγάλο μέρος του κόστους της διαδικασίας αποθήκευσης.



Εικόνα 2.2 Σύστημα Δέσμευσης μετά την Καύση

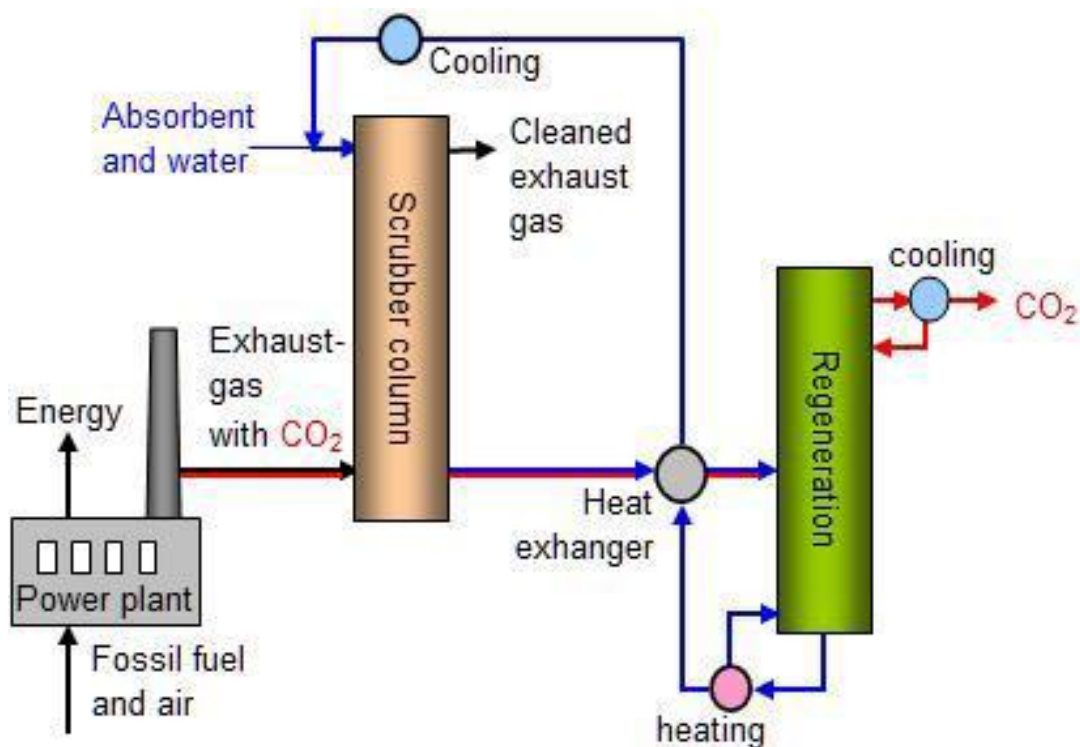
2.1.1. Απορρόφηση με χρήση υγρού διαλύματος (αμίνες).

Οι αμίνες είναι οργανικές ενώσεις οι οποίες αντιδρούν με το CO_2 με αποτέλεσμα να δημιουργούν υδροδιαλυτές ενώσεις. Δεδομένου το ότι το CO_2 είναι όξινο αέριο, αλκαλικοί διαλύτες όπως η Μονοεθаноλαμίνη, δημιουργούν χημικούς δεσμούς με το CO_2 , και το απορροφούν από το καυσαέριο σε μια στήλη απορρόφησης. Η διαδικασία απορρόφησης είναι αρκετά αποδοτική όσον αφορά τη δέσμευση. Στη συνέχεια, αναπτύσσεται υψηλή θερμοκρασία, έτσι ώστε να διαχωριστεί το CO_2 από τις αμίνες. Μετά το διαχωρισμό των δύο στοιχείων, οι αμίνες ανακυκλώνονται σε μια στήλη αναγέννησης για να επαναχρησιμοποιηθούν, ενώ το συμπυκνωμένο CO_2 συμπιέζεται έτσι ώστε να μπορέσει να μεταφερθεί και να αποθηκευτεί (Ciferno,2007).

Σ αυτή τη διαδικασία δέσμευσης, απαιτείται κάποιο ποσό ενέργειας για να επιτευχθεί η αναγέννηση των αμινών, καθώς και κάποιο ποσό για την συμπίεση του CO_2 .

Η διαδικασία διαχωρισμού του CO_2 από το καυσαέριο με τη χρήση της τεχνολογίας απορρόφησης με αμίνες, είναι η μόνη διαθέσιμη και πλήρως ανεπτυγμένη τεχνολογία δέσμευσης η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτήν την περίοδο. Ωστόσο, η συγκεκριμένη διαδικασία είναι αρκετά δαπανηρή διότι απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας για να λειτουργήσει και μεγάλα ποσά νερού που μπορούν να διπλασιάσουν τις γενικές απαιτήσεις ύδατος της εγκατάστασης. Επιπλέον, στο καυσαέριο περιέχονται μολυσματικοί παράγοντες όπως το διοξείδιο του θείου, το οξείδιο του αζώτου, οι υδρογονάνθρακες και άλλα στοιχεία τα οποία πρέπει να αφαιρεθούν πριν πραγματοποιηθεί η δέσμευση του CO_2 , διότι υπάρχει πιθανότητα να επηρεάσουν την απορροφητικότητα των διαλυτών ή να αποθηκευτούν αργότερα μαζί με το CO_2 , αποτέλεσμα που δεν επιθυμείται.

Το κόστος εφαρμογής της συγκεκριμένης τεχνολογίας εξαρτάται από τρεις παράγοντες, την αρχική κύρια επένδυση, τη λειτουργία και συντήρηση και τέλος τη μείωση της καθαρής παραγωγής ενέργειας των εγκαταστάσεων (Ciferno,2007).



Εικόνα 2.1.1 Σύστημα απορρόφησης με χρήση αμινών

2.1.2.Ιοντικά υγρά

Τα ιοντικά υγρά, βρίσκονται υπό αξιολόγηση αυτήν την περίοδο ως πιθανοί προηγμένοι διαλύτες και μελετούνται τα χημικά τους χαρακτηριστικά τα οποία αφορούν την διαδικασία δέσμευσης. Τα οφέλη της χρήσης ιοντικών υγρών για τη διαδικασία της δέσμευσης είναι οι πιθανές μειώσεις του κόστους μέσω της ανάπτυξης μιας διαδικασίας η οποία απαιτεί λιγότερη ενέργεια για την λειτουργία της αναγέννησης. Δεδομένου ότι η χρήση ιοντικών υγρών βρίσκεται υπό έρευνα δεν έχει γίνει κάποιος υπολογισμός δαπανών ο οποίος να μπορεί να χαρακτηριστεί αξιόλογος (Ciferno,2007).

2.1.3.Ανθρακικά άλατα

Το πανεπιστήμιο του Τέξας, έχει αναπτύξει πρόσφατα ένα σύστημα δέσμευσης CO₂, το οποίο βασίζεται στη χρήση ανθρακικών αλάτων. Αυτό το σύστημα είναι βασισμένο σε ένα διαλυτό ανθρακικό άλας που αντιδρά με το CO₂ δημιουργώντας το διττανθρακικό άλας. Κατά τη θέρμανση του το CO₂ διαχωρίζεται από το καυσάεριο και στη συνέχεια το διττανθρακικό άλας αναγεννάται και επαναφέρεται στην προηγούμενη μορφή του. Όπως και στο σύστημα ιοντικών υγρών, έτσι και εδώ απαιτείται λιγότερη ενέργεια για την αναγέννηση των ανθρακικών αλάτων. Αυτά τα συστήματα, δεν απαιτούν αύξηση της θερμοκρασίας για τη διαδικασία απορρόφησης και είναι αρκετά ανεκτικά στην περιεκτικότητα σε διοξείδιο του θείου, αντίθετα με τα συστήματα απορρόφησης με αμίνες (Baker,2009).

2.1.4.Φυσικοί διαλύτες

Οι φυσικοί διαλύτες χρησιμοποιούνται για την δέσμευση του CO₂ λόγω της δυνατότητάς τους να απορροφούν επιλεκτικά τον άνθρακα από το καυσαέριο χωρίς να πραγματοποιείται καμία χημική αντίδραση. Το ποσό του άνθρακα που απορροφάται εξαρτάται από το διαλύτη που χρησιμοποιείται, την πίεση του CO₂ στο καυσαέριο και τη θερμοκρασία του.

Οι φυσικοί διαλύτες είναι αποδεδειγμένα το ίδιο αξιόπιστοι με διαλύτες όπως Selexol και Rectisol, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό του SO₂ από το καυσαέριο για πάνω από 30 χρόνια. Τότε, μετά την απορρόφηση του SO₂ από το καυσαέριο, το CO₂ διοχετευόταν στην ατμόσφαιρα.

Η χρήση φυσικών διαλυτών είναι αρκετά αποτελεσματική στη δέσμευση του CO₂, αλλά απαιτούν μεταφορά θερμότητας διότι για να λειτουργήσουν θα πρέπει η θερμοκρασία του καυσαερίου να μειωθεί από 500F σε 100F ή και λιγότερο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειωθεί η αποδοτικότητα μιας εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας κατά 3-8%.

Αν και το σύστημα δέσμευσης με φυσικούς διαλύτες είναι δοκιμασμένο και έτοιμο για χρήση, είναι αρκετά ακριβό και απαιτεί υψηλό κεφάλαιο (Ciferno,2007).

2.1.5.Διαπερατές μεμβράνες

Οι ερευνητές εξετάζουν επίσης την πιθανή χρήση μεμβρανών για την δέσμευση του CO₂ από το καυσαέριο. Τα συγκεκριμένα συστήματα δέσμευσης χρησιμοποιούν διαπερατά ή ημι-διαπερατά υλικά που επιτρέπουν επιλεκτικά τη μεταφορά και το χωρισμό του CO₂ από το καυσαέριο. Αυτά τα συστήματα έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά σε εφαρμογές υψηλών πιέσεων, αλλά είναι και αρκετά υποσχόμενα και σε καταστάσεις δέσμευσης μετά την καύση. Τον Ιανουάριο του 2010, το εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας Cholla στο Holbrook της Arizona, άρχισε πειραματικά να χρησιμοποιεί ένα σύστημα ανόργανων μεμβρανών.

Τα συστήματα μεμβρανών έχουν πολλά πλεονεκτήματα όπως η μείωση του κόστους που απαιτείται για την εγκατάσταση ενός συστήματος απορρόφησης που απαιτείται στα συστήματα διαχωρισμού με αμίνες. Επίσης, στο σύστημα μεμβρανών δεν έχουμε καμία χημική αντίδραση και κανένα κινούμενο μέρος. Παρόλα αυτά η τεχνολογία δέσμευσης με διαπερατές μεμβράνες βρίσκεται ακόμα σε φάση ανάπτυξης και απαιτεί περισσότερη έρευνα πριν χρησιμοποιηθεί σε μεγάλη κλίμακα (Ciferno,2007).

2.1.6. Απορρόφηση με στερεά υλικά βασισμένα σε αμίνες

Η χρήση συστημάτων απορρόφησης με υγρό διάλυμα αμινών, δημιουργεί προβλήματα, τα οποία οφείλονται στο ότι απαιτείται ένα αρκετά μεγάλο ποσό νερού, έτσι ώστε να λειτουργήσουν. Σε μια προσπάθεια να υπερνικηθούν αυτά τα προβλήματα, οι ερευνητές εξετάζουν τη χρήση στερεών υλικών, τα οποία θα

αντιδρούν με το CO₂ με αποτέλεσμα να το δεσμεύουν. Αυτά τα στερεά υλικά, βασισμένα σε αμίνες, αντιδρούν με το CO₂ μέσω μιας ορισμένης διαδικασίας και δημιουργούν σταθερές χημικές ενώσεις και στη συνέχεια αναγεννιούνται με απολύτως διαφορετικές διαδικασίες

Επί του παρόντος, τα συγκεκριμένα συστήματα δέσμευσης βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο. Στόχος τους είναι η δημιουργία ενός στερεού συστήματος απορρόφησης που θα έχει λιγότερες ενεργειακές απαιτήσεις από τα συστήματα δέσμευσης με χρήση Μονοαθανολαμίνης (Figuera,2008).

2.1.7. Πολυμερείς Μembrάνες

Οι πολυμερείς μεμβράνες βρίσκονται υπό έρευνα για την δέσμευση του CO₂ από πηγές που χρησιμοποιούν ως καύσιμο συνθετικό αέριο. Πλεονέκτημά τους είναι ότι απαιτούν λιγότερη ενέργεια για να πραγματοποιηθεί η δέσμευση, σε σχέση με άλλες μεθόδους κι αυτό οφείλεται στο ότι δεν απαιτείται καμία τροποποίηση της θερμοκρασίας ή πίεσης. Επιπλέον, η συγκεκριμένη μέθοδος δεν απαιτεί συχνή συντήρηση. Ένα είδος πολυμερούς μεμβράνης που βρίσκεται υπό ανάπτυξη από τη NETL και δοκιμάστηκε σε προσομοιωτή, έχει καταδείξει μακροπρόθεσμη υδροθερμική σταθερότητα, ανοχή σε θείο, και γενικά μεγάλη διάρκεια ζωής.

Η συγκεκριμένη τεχνολογία με χρήση μεμβρανών (πολυμερών και ιοντικών υγρών) έχει χρησιμοποιηθεί για τη δέσμευση του CO₂ μετά την καύση, αλλά αντιμετωπίζει οπισθοδρομήσεις όσον αφορά τη χρήση της για δέσμευση πριν την καύση, λόγω του ότι υπάρχουν διαφορές στην θερμοκρασία και την πίεση του περιβάλλοντος. Η NETL, έχει θέσει ως στόχο να παραγάγει μια εμπορικά έτοιμη έκδοση αυτών των μεμβρανών μέχρι το 2012, η οποία θα έχει 90% ποσοστό δέσμευσης του CO₂ και λιγότερο από 10% απώλεια στην παραγόμενη από την εγκατάσταση ενέργεια (Figuera,2008).

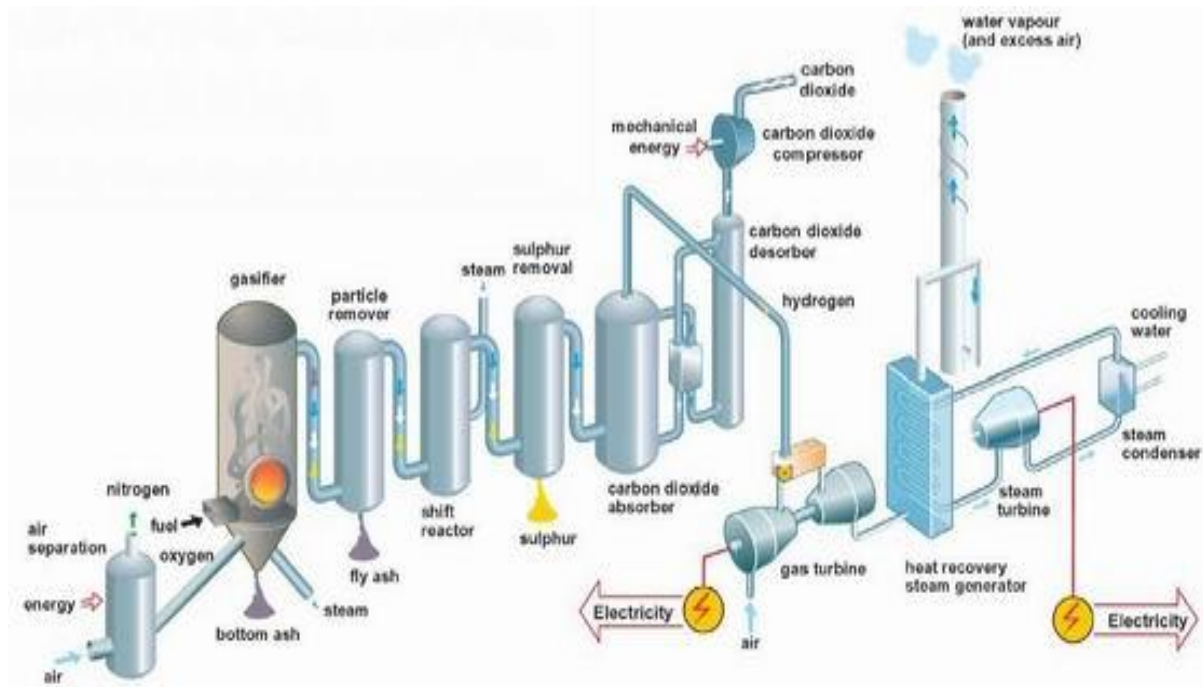
2.2.ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΥΣΗ

Η τεχνολογία δέσμευσης πριν από την καύση, είναι ένας αποδοτικός τρόπος για να δεσμεύσει το CO₂ και να το καταστήσει έτοιμο για αποθήκευση. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές μέθοδοι, μερικές εξ αυτών ήδη χρησιμοποιούνται και άλλες βρίσκονται ακόμα σε φάση εργαστηριακών δοκιμών. Σύμφωνα με αυτή την τεχνολογία, το διοξείδιο του άνθρακα απομακρύνεται από το καύσιμο πριν αυτό υποστεί καύση. Για παράδειγμα, στην διαδικασία συνδυασμένου κύκλου με αεριοποίηση το στερεό καύσιμο κονιορτοποιείται και διαλύεται σε νερό. Στη συνέχεια, έχουμε θέρμανση του διαλύματος με χρήση οξυγόνου ή αέρα περίπου στους 1300 K με αποτέλεσμα να παραχθεί ένα μίγμα αερίων αποτελούμενο από υδρογονάνθρακες και μονοξείδιο του άνθρακα. Μετά, μετατρέπεται το μονοξείδιο του άνθρακα (μέσω εξώθερμης αντίδρασης) σε νερό και CO₂. Τελικά, έχουμε την παραγωγή ενός αερίου που περιέχει H₂ και CO₂. Επειδή στο μίγμα αυτό η πίεση του CO₂ είναι υψηλότερη από το H₂, μπορούμε να τα διαχωρίσουμε μέσω φυσικής απορρόφησης ή ακόμα και με χρήση μεμβρανών.

Μια άλλη μέθοδος για τον διαχωρισμό του άνθρακα από το καύσιμο πριν την καύση, είναι η ταυτόχρονη πραγματοποίηση τριών αντιδράσεων στον ίδιο αντιδραστήρα, οι οποίες είναι η αεριοποίηση, η μετατροπή του CO₂ και η

απομάκρυνσή του από το καύσιμο. Για την διαδικασία της αεριοποίησης χρησιμοποιείται μια θερμοκρασία της τάξης των 1273K, για την μετατροπή του CO₂ 673K ενώ για την δέσμευση του χρησιμοποιείται CaO και η θερμοκρασία ανάγεται στους 1100K. Χρησιμοποιούνται δύο κλίνες, όπου η μία είναι για την αεριοποίηση του καυσίμου, τη μετατροπή του CO σε CO₂ και τη δέσμευση του ενώ η δεύτερη χρησιμοποιείται για την αναγέννηση του παραγόμενου CaCO₃ σε CaO.

Τέλος, το παραγόμενο καύσιμο που είναι πλούσιο σε H₂ εξέρχεται από τον πρώτο αντιδραστήρα ενώ το CO₂ εξέρχεται από τον δεύτερο. Με τη χρήση αυτής της μεθόδου έχουμε μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται, σε σχέση με τη συνηθισμένη μέθοδο δέσμευσης πριν από την καύση (Figuera,2008).



Εικόνα 2.2.1 Σύστημα δέσμευσης πριν την καύση

2.3.ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Σε ένα σύστημα ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιεί φυσικό αέριο (NGCC) έχουμε αρχικά την καύση του φυσικού αερίου σε ένα στρόβιλο καύσης. Η διαδικασία ηλεκτροπαραγωγής αρχίζει με την παραγωγή ενέργειας σε μια γεννήτρια ατμού διατήρησης σταθερής θερμοκρασίας. Μετά την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας χρησιμοποιείται ένα σύστημα δέσμευσης με χρήση αμινών (Μονοεθανολαμίνη) το οποίο διαχωρίζει το CO₂ από το καυσαέριο με σκοπό την μεταφορά και την αποθήκευσή του (Ciferno,2007).

2.4.ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΣΕ ΗΔΗ ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΡΒΟΥΝΟΥ

Η βιβλιογραφική ενασκόπηση για τη δέσμευση και αποθήκευση του CO₂, ολοκληρώνεται με τη δέσμευση σε ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις οι οποίες χρησιμοποιούν κάρβουνο. Αν και η κατασκευή νέων εγκαταστάσεων με καύση κάρβουνου έχει ελαττωθεί τα τελευταία είκοσι χρόνια, οι ήδη υπάρχουσες είναι αρκετές και είναι πιθανό να χρησιμοποιούνται για τις επόμενες δεκαετίες. Ο αριθμός στον οποίο ανέρχονται και η υποθετική συμβολή τους στην παραγωγή αερίων στο μέλλον, καθιστά τις εγκαταστάσεις με καύση κάρβουνου σημαντικό παράγοντα ως προς την σταθεροποίηση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Τα αποτελέσματα μιας έρευνας για τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας με κάρβουνο στην Αμερική, έδειξαν ότι 782 από αυτές λειτουργούν και παράγουν κατά τη θερινή περίοδο περισσότερα από 100MW. Η μέση ηλικία των εγκαταστάσεων αυτών είναι περίπου 40,4 έτη, μέσος όρος που επηρεάζεται κατά πολύ από το 50% των εγκαταστάσεων που ξεπερνούν την ηλικία 40 ετών. Η σημαντικότερη πληροφορία της έρευνας αυτής είναι η ικανότητα παραγωγής ενέργειας κατά ηλικία : το 70% της παραγωγικής ικανότητας αποδίδεται σε εγκαταστάσεις κάτω των 40 ετών όπου το 38,4% από αυτό βρίσκεται ανάμεσα στις ηλικίες 31-40 ετών.

Ωστόσο, υπάρχουν και κάποια προβλήματα όσον αφορά την εφαρμογή συστημάτων δέσμευσης στις συγκεκριμένες εγκαταστάσεις. Πρώτον, η υποδομή των συστημάτων δέσμευσης απαιτεί μεγάλο χώρο, που δεν είναι διαθέσιμος σε όλες τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις καύσης κάρβουνου. Δεύτερον, είναι αναγκαία και η εγκατάσταση κάποιων επιπλέον συσκευών ελέγχου ρύπανσης. Τρίτον, η διαδικασία διαχωρισμού του CO₂ από το καυσαέριο απαιτεί μεγάλα ποσά νερού, άρα θα πρέπει να υπάρχει και η δυνατότητα της εγκατάστασης να παρέχει τον απαιτούμενο όγκο νερού. Τέλος, υπάρχουν και άλλα διάφορης φύσεως προβλήματα, όπως οι μετατροπές και τροποποιήσεις του χώρου καθώς και το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια της κατασκευής των συστημάτων δεν θα πρέπει να διακοπεί η παραγωγή ενέργειας της εγκατάστασης (Ciferno,2007).

2.5. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΜΕ ΚΑΥΣΗ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΘΑΡΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ

Η συγκεκριμένη τεχνολογία δέσμευσης βασίζεται στο ότι κατά την καύση ενός καυσίμου (όπως λιγνίτης, υδρογονάνθρακες ή συνθετικό αέριο) με καθαρό οξυγόνο, παράγεται καυσαέριο που περιέχει διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Αν το καυσαέριο αυτό υποστεί ψύξη, τότε το νερό που περιέχει συμπυκνώνεται και έτσι έχουμε παραγωγή καθαρού αερίου CO₂. Στη συνέχεια, το CO₂ συμπιέζεται, μεταφέρεται σε

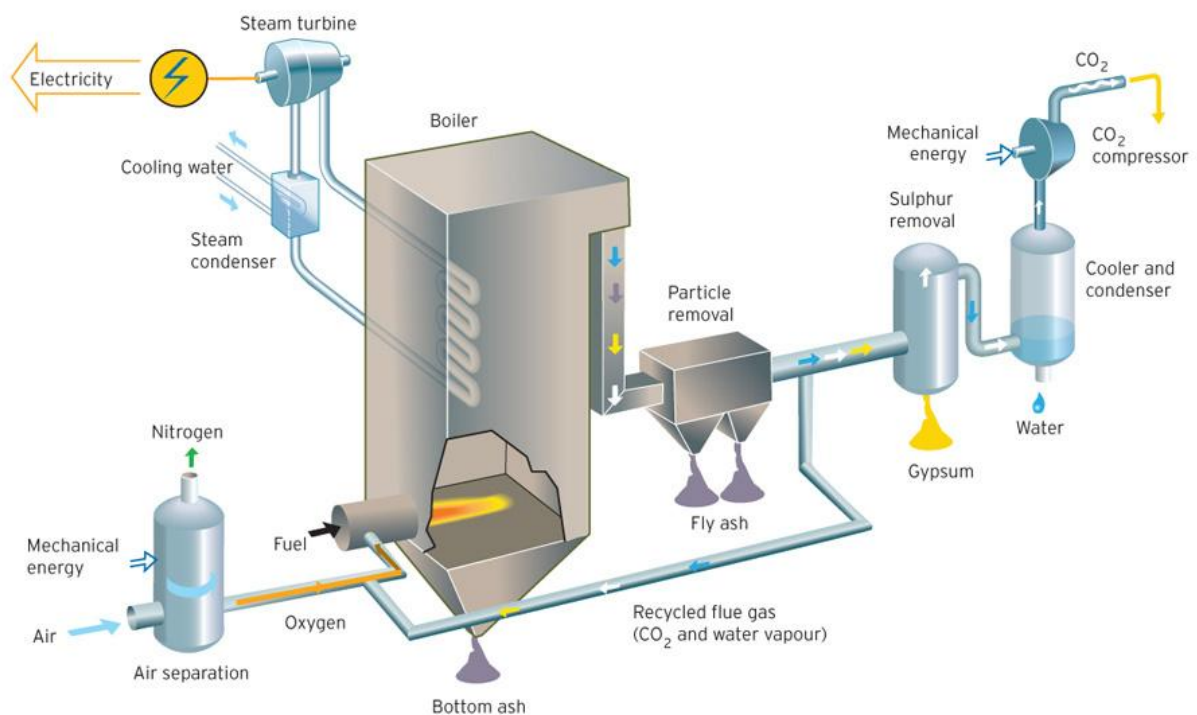
θέση αποθήκευσης και εκεί αποθηκεύεται. (www.netl.doe.gov).

Για την παραγωγή καθαρού οξυγόνου είναι απαραίτητο να υπάρχει μια μονάδα διαχωρισμού αέρα. Η πιο κατάλληλη τεχνολογία για το σκοπό αυτό είναι η κρυογενική μέθοδος, η οποία διαχωρίζει το άζωτο από τον αέρα. Στο πρώτο στάδιο της κρυογενικής μεθόδου έχουμε συμπίεση του αέρα με ενδιάμεσες ψύξεις, μετά έχουμε ψύξη αυτού. Στη συνέχεια, με τη μέθοδο της προσρόφησης απομακρύνεται η υγρασία και διάφορα σωματίδια, υγροποιείται ο αέρας και τέλος απομακρύνεται το άζωτο σε στήλη απόσταξης.

Με το διαχωρισμό του αέρα υπάρχει πιθανότητα να καταναλωθεί ακόμα και το 15% της παραγόμενης ενέργειας μιας εγκατάστασης παραγωγής, ποσοστό που κυμαίνεται ανάλογα με την καθαρότητα του οξυγόνου που θέλουμε να παραχθεί. Μια μονάδα διαχωρισμού μπορεί να παράγει έως 99,7% καθαρό οξυγόνο, αλλά η βέλτιστη επιλογή είναι 95%.

Ωστόσο, η καύση σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου αυξάνει κατά πολύ την θερμοκρασία στην εστία καύσης και για να αποφευχθεί η αύξηση αυτή ένα μέρος του καυσίμου ανακυκλοφορεί στον θάλαμο καύσης (www.netl.doe.gov).

Oxyfuel (O_2/CO_2 recycle) combustion capture



Εικόνα 2.5.1 Σύστημα Oxy-Fuel

3.ΜΕΤΑΦΟΡΑ

Οι επιλογές για τη μεταφορά του CO₂ αυτή την περίοδο, περιορίζονται στη μεταφορά μέσω ξηράς (αγωγί), μεταφορά οδικώς-σιδηροδρομικώς (τρένα και φορτηγά) και θαλάσσια μεταφορά (πλοία). Αντίθετα με την τεχνολογία δέσμευσης που βρίσκεται σε φάση ανάπτυξης, η τεχνολογία μεταφοράς του CO₂ είναι αρκετά ανεπτυγμένη. Τα τρέχοντα ζητήματα που συνδέονται με τη μεταφορά του CO₂ αφορούν την εγγύτητα των εγκαταστάσεων αποθήκευσης του CO₂ που παράγεται από τις πηγές. Νέες πολιτικές και κανονισμοί μπορούν να απαιτηθούν προκειμένου να επεκταθεί η μεταφορά μέσω σωληνώσεων του CO₂ και η υποδομή αποθήκευσης σε μεγάλη κλίμακα.

3.1.ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΕΣΩ ΞΗΡΑΣ

Το δεσμευμένο CO₂ μπορεί να μεταφερθεί μέσω ξηράς με τη χρήση αγωγών μεταφοράς αερίου CO₂ χαμηλής πίεσεως (μέγιστη πίεση 4,8 MPa), με αγωγούς μεταφοράς αερίου CO₂ υψηλής πίεσεως, (ελάχιστη πίεση 9,6 MPa) και με αγωγούς μεταφοράς κατεψυγμένου CO₂ σε υγρή μορφή. Τέλος, μέσω του οδικού δικτύου μπορεί να μεταφερθεί με φορτηγά μεγάλης χωρητικότητας και με φορτηγά τρένα (Folger,2009).

3.1.1.Αγωγοί

Η τεχνολογία μεταφοράς του CO₂ μέσω αγωγών, είναι παρόμοια με αυτή της μεταφοράς φυσικού αερίου. Αυτή την περίοδο, υπάρχει ολοκληρωμένη υποδομή αγωγών σε όλες τις ΗΠΑ που συνολικά ξεπερνούν τα 5.800 χιλιόμετρα. Αναφορικά, το 1972 δημιουργήθηκε το πρώτο μεγάλο δίκτυο αγωγών, για τη μεταφορά του CO₂ στις πετρελαιοπηγές του Τέξας, το οποίο είχε σκοπό την ενίσχυση της διαδικασίας εξόρυξης.

Οι αγωγοί μεταφοράς κατεψυγμένου CO₂ σε υγρή μορφή, αν και μπορούν να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες, είναι αδύνατο να χρησιμοποιηθούν λόγω του υψηλού κόστους τους και διαφόρων τεχνικών δυσκολιών.

Οι αγωγοί μεταφοράς αερίου CO₂ χαμηλής πίεσεως δεν είναι η καταλληλότερη επιλογή μεταφοράς λόγω του ότι το CO₂ στις συγκεκριμένες πιέσεις, έχει τη δυνατότητα να ρέει σε δύο φάσεις ταυτόχρονα, υγρό και αέριο. Άρα σαν καλύτερη επιλογή, χρησιμοποιούνται οι σωληνώσεις υψηλής πίεσεως, γιατί το CO₂ καταλαμβάνει μικρότερο όγκο κατά τη μεταφορά του, όντας συμπιεσμένο, και επίσης η υψηλή πίεση απαιτείται για να επιτευχθεί η φάση αποθήκευσης (Folger,2009).



Εικόνα 3.1.1 Μεταφορά μέσω αγωγών

3.1.2. Φορτηγά και τρένα

Για την μεταφορά του CO₂ με φορτηγά και τρένα, θα πρέπει να υπάρχουν εγκαταστάσεις ρευστοποίησης του, έτσι ώστε να μειωθεί ο όγκος του. Τεχνικά, η διαδικασία μεταφοράς με τα συγκεκριμένα μέσα είναι εφικτή, αλλά για το λόγο τον οποίο προαναφέρθηκε, θα αυξανόταν κατά πολύ το κόστος, άρα δεν υπάρχει πιθανότητα να χρησιμοποιηθεί καμία από τις δύο αυτές επιλογές για μεταφορά (www.ipcc.ch).



Εικόνα 3.1.2. Μεταφορά με φορτηγά

3.2.ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΕΣΩ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

Όταν ο κατάλληλος χώρος αποθήκευσης βρίσκεται σε θαλάσσιες περιοχές ή σε περιοχές που για να μεταφερθεί το δεσμευμένο CO₂ από τις πηγές χρειάζεται να διασχίσει τη θάλασσα, τότε η μεταφορά του γίνεται με πλοία. Οι διεργασίες που απαιτούνται για τη μεταφορά με πλοίο είναι η αποθήκευση, η φόρτωση και η διαδικασία ρευστοποίησης έτσι ώστε να μειωθεί ο όγκος του. Το υγροποιημένο πλέον CO₂ μεταφέρεται από τις μεγάλες σημειακές πηγές σε χώρες της Βόρειας Ευρώπης που αναλαμβάνουν τη διανομή του (www.ipcc.ch).

Η μεταφορά του CO₂ με πλοία είναι παρόμοια με τη μεταφορά υγροποιημένου αερίου πετρελαίου, άρα, μπορούν να εφαρμοστούν οι ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες για τη δημιουργία νέας υποδομής για τη μεταφορά του CO₂. Η Ιαπωνία και η Νορβηγία αυτή την περίοδο σχεδιάζουν τα μεγαλύτερα πλοία μεταφοράς CO₂ και τις ανάλογες εγκαταστάσεις ρευστοποίησης και προσωρινής αποθήκευσής του και δίνεται μεγάλη προσοχή στη μελέτη τους, διότι τα πλοία μεταφοράς είναι ευαίσθητα σε διάφορα ατυχήματα (www.ipcc.ch).

4. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Οι τεχνολογίες αποθήκευσης CO₂ περιλαμβάνουν την γεωλογική αποθήκευση, τη μετατροπή σε ορυκτά ανθρακικά άλατα και σε ωκεάνιες διαδικασίες.

4.1. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Υπάρχουν πέντε κύριοι γεωλογικοί σχηματισμοί στους οποίους μπορεί να εγχυθεί και να αποθηκευτεί το CO₂ που είναι: οι ταμειυτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου, οι βαθιοί υδροφόροι ορίζοντες, τα κοιτάσματα μη εξορυγμένου γαιάνθρακα οι περιοχές πλούσιες σε σχιστόλιθο και τέλος, οι περιοχές με μελανόλιθο.

Κάθε ένας από αυτούς τους σχηματισμούς έχει διαφορετική χωρητικότητα όσον αφορά τον όγκο του CO₂ που θα παγιδέψει και θα εκμεταλλευτεί και επιπλέον, κάθε μια μέθοδος ακολουθεί διαφορετική διαδικασία αποθήκευσης και έχει διαφορετικό κόστος. Η επιλογή του κατάλληλου γεωλογικού σχηματισμού για αποθήκευση του CO₂ προκύπτει από την ικανότητα του να το παγιδεύσει αποτελεσματικά και από την χωρητικότητά του έτσι ώστε να μπορέσει να δεχτεί τον όγκο του CO₂ που προορίζεται για αποθήκευση (www.ipcc.ch).

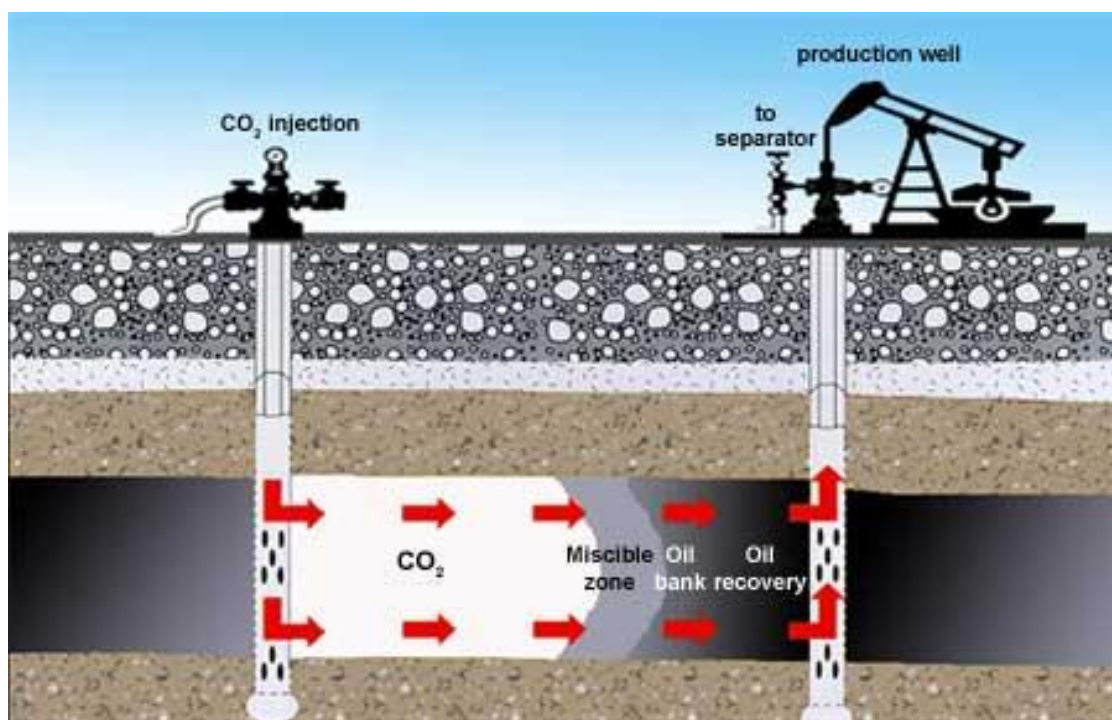
Η διαδικασία γεωλογικής αποθήκευσης περιλαμβάνει την έγχυση του CO₂ σε φρεάτια, τα οποία βρίσκονται στην ξηρά ή παράκτια τα οποία τρυπιούνται ή καλύπτονται με μια πορώδη μεμβράνη για να μπορέσει να εισέλθει το CO₂ στον εκάστοτε σχηματισμό. Το CO₂ θα πρέπει πρώτα να συμπιεστεί ώστε να ρευστοποιηθεί και να γίνει πυκνότερο έτσι ώστε να μπορέσει να εγχυθεί στο έδαφος. Η συμπίεση που θα πρέπει να υποστεί είναι ανάλογη του βάθους έγχυσης. Ανάλογα με την περιοχή και το σχηματισμό, η μεμβράνη θα πρέπει να παράσχει διαφορετικές ικανότητες κάλυψης κι αυτό γιατί υπάρχει διαφορετική συγκέντρωση σε κάθε περιοχή αποθήκευσης. Η πίεση επιτρέπει στο CO₂ να εισέλθει σε πόρους του σχηματισμού στον οποίο εγχέεται, με αποτέλεσμα να μετατοπίζει άλλα ρευστά τα οποία καταλαμβάνουν αυτούς τους πόρους. Το ποσό διανομής του ρευστού CO₂ και της συγκέντρωσης πίεσης εξαρτάται από το ποσοστό εγχύσεων, τη διαπερατότητα του κάθε σχηματισμού και την παρουσία ή απουσία διαπερατών εμποδίων μέσα σε αυτόν καθώς επίσης και στη γεωμετρία του περιφερειακού υπογείου συστήματος ύδατος. Στις παράκτιες περιοχές αποθήκευσης, το CO₂ μπορεί να μεταφερθεί μέσω αγωγών, ωστόσο είναι αρκετά δύσκολη διαδικασία.

Γενικά στην Αμερική, έχουν προσδιοριστεί διάφορες θέσεις στην ξηρά ως πιθανές περιοχές για αποθήκευση, αλλά οι βαθιοί υδροφόροι ορίζοντες κρατούν την πλειοψηφία ικανότητας αποθήκευσης (www.ipcc.ch).

4.1.1. Ταμιευτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου

Οι ταμιευτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου περιέχουν έναν πορώδη βράχο ο οποίος συγκρατούσε επί πολλά χρόνια το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο. Γύρω από το βράχο υπάρχει μια στεγανή επίστρωση η οποία λειτουργεί ως σφραγίδα και παγιδεύει το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Η ίδια αυτή επίστρωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την παγίδευση του CO₂ που εγχέεται στον βράχο. Εκτός από την μακροπρόθεσμη αποθήκευση, η διαδικασία έγχυσης του CO₂ στον ταμιευτήρα βοηθά στην ευκολότερη πρόσβαση και ανάκτηση των αποθεμάτων πετρελαίου. Η ενισχυμένη ανάκτηση πετρελαίου εμφανίζεται σε πηγές που συγκρατούν απρόσιτα αποθέματα πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Το CO₂ ενεργεί εντατικά για να ωθήσει το ακατέργαστο πετρέλαιο προς την επιφάνεια του ταμιευτήρα, έτσι ώστε να το καταστήσει ευκολότερο προς ανάκτηση. Αυτό δεν διευκολύνει μόνο την ανάκτηση του, αλλά απαιτεί και λιγότερη ενέργεια για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της ανάκτησης.

Η διαδικασία ενισχυμένης ανάκτησης αναπτύσσεται σχετικά γρήγορα αλλά το ποσό του CO₂ που μπορεί να αποθηκευτεί με αυτόν τον τρόπο, είναι σαφώς ελάχιστο σε σχέση με το ποσό που μπορεί να αποθηκευτεί σε υδροφόρους ορίζοντες και επιπλέον, η αποθήκευση σε ταμιευτήρες πετρελαίου μακροπρόθεσμα δεν είναι και τόσο ασφαλής (www.netl.doe.gov).

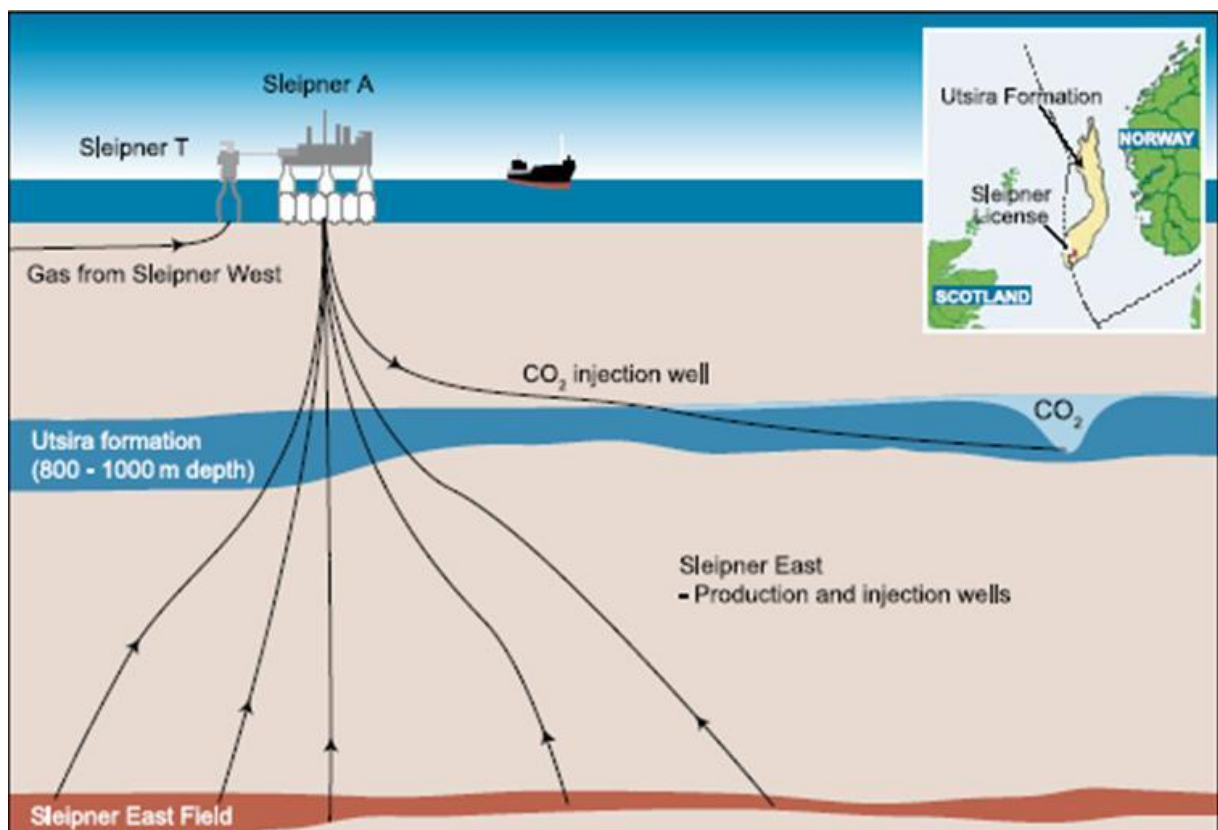


Εικόνα 4.1.1. Ενισχυμένη ανάκτηση πετρελαίου (Enhanced Oil Recovery)

4.1.2.Υδροφόροι ορίζοντες

Οι βαθιοί υδροφόροι ορίζοντες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν πιθανές περιοχές αποθήκευσης CO₂ αποτελούνται από ένα πορώδη βράχο που είναι διαποτισμένος με άλμη και στο εξωτερικό του είναι στεγανοποιημένος, έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί σαν μηχανισμός παγίδευσης του CO₂ μόλις αυτό εγχυθεί.

Η συγκεκριμένη τεχνολογία αποθήκευσης, παρέχει μια υψηλή ικανότητα αποθήκευσης και είναι αρκετά πιο διαδεδομένη από άποψη θέσεως, σε σύγκριση με την διαδικασία αποθήκευσης σε ταμειυτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Ωστόσο, η ικανότητα των υδροφόρων οριζόντων να παγιδεύουν το CO₂ και να το κρατούν στη θέση αποθήκευσης δεν είναι και τόσο κατανοητή, όσο των άλλων τεχνολογιών γεωλογικής αποθήκευσης. Παρόλα αυτά, θεωρούνται ως η πιο ελπιδοφόρος επιλογή για αποθήκευση σήμερα κι αυτό γιατί υπάρχουν σε αφθονία στον κόσμο, σε σχέση με άλλους γεωλογικούς σχηματισμούς αποθήκευσης (www.netl.doe.gov).

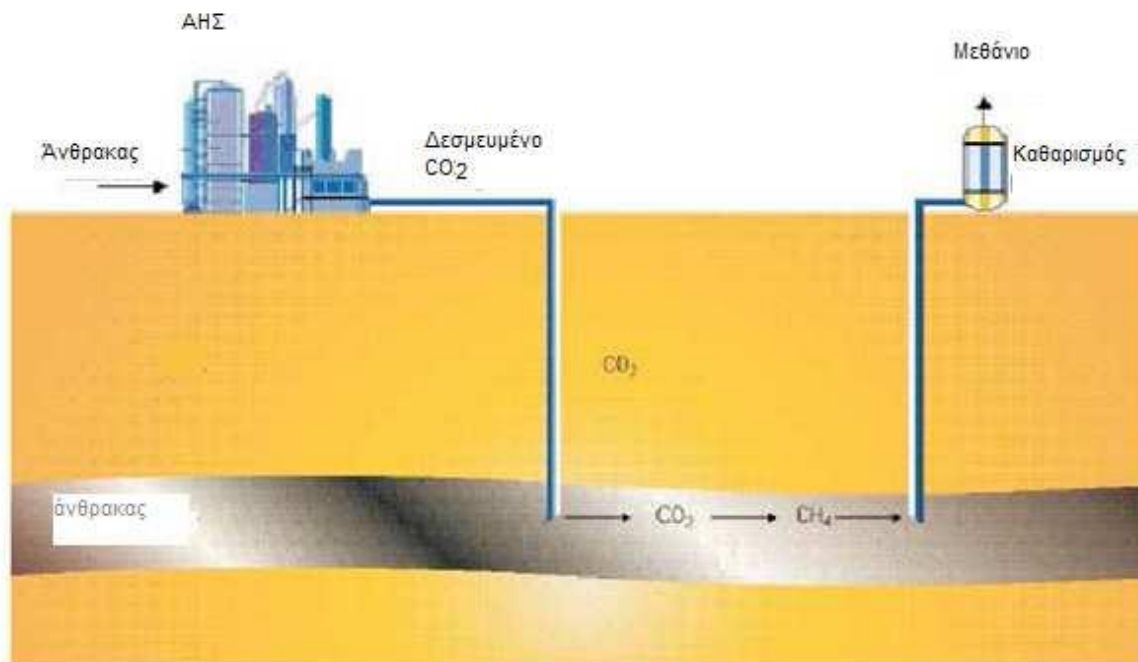


Εικόνα 4.1.2 Αποθήκευση σε υδροφόρους ορίζοντες

4.1.3. Σε κοιτάσματα μη εξορυγμένου γαιάνθρακα

Τα κοιτάσματα μη εξορυγμένου γαιάνθρακα έχουν την ιδιότητα να απορροφούν το CO₂ με ταυτόχρονη απελευθέρωση μεθανίου, το οποίο στη συνέχεια ανακτάται σαν ελεύθερο αέριο. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται ενισχυμένη ανάκτηση μεθανίου σε κοιτάσματα γαιάνθρακα και συνεισφέρει κατά πολύ στη διαδικασία αποθήκευσης CO₂ επειδή είναι λιγότερο δαπανηρή διότι το βάθος αποθήκευσης είναι πιο ρηχό σε σχέση με τη διαδικασία αποθήκευσης σε ταμιευτήρες πετρελαίου.

Ωστόσο, για την επιλογή αποθήκευσης σε κοιτάσματα γαιάνθρακα χρειάζεται να γίνει περισσότερη έρευνα όσον αφορά τη αποθηκευτική τους ικανότητα, τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ CO₂ και γαιάνθρακα και τέλος, την ταυτόχρονη διεργασία ανάκτησης μεθανίου (www.netl.doe.gov).



Εικόνα 4.1.3 Αποθήκευση σε κοιτάσματα μη εξορυγμένου γαιάνθρακα

4.1.4. Περιοχές Σχιστόλιθου και Μελανόλιθου

Οι σχηματισμοί σχιστόλιθου και μελανόλιθου είναι μια πρόσθετη επιλογή γεωλογικής αποθήκευσης του CO₂, κι αυτό οφείλεται στο ότι υπάρχουν σε μεγάλη ποσότητα, τουλάχιστον στην Αμερική. Ο σχιστόλιθος είναι ένας κοινός τύπος ιζηματώδους βράχου που αποτελείται από λεπτά οριζόντια στρώματα και έχουν σχετικά μικρή διαπερατότητα. Τα οργανικά υλικά που περιέχονται στα στρώματα αυτά, παρέχουν μέσα για την προσρόφηση του CO₂ διά μέσου μιας διαδικασίας παρόμοιας μ' αυτή της ενισχυμένης ανάκτησης μεθανίου από κοιτάσματα γαιάνθρακα. Δηλαδή, έχουμε μια ενισχυμένη ανάκτηση αερίου από το σχιστόλιθο και το συνολικό κόστος αποθήκευσης του CO₂ μειώνεται. Αντίθετα, θα ήταν αρκετά

δύσκολο να εγχυθούν σε σχιστόλιθο μεγάλες ποσότητες CO₂, λόγω της χαμηλής διαπερατότητας του (www.netl.doe.gov).

Σαν μια εναλλακτική επιλογή αποθήκευσης υπάρχει και ο μελανόλιθος, που δημιουργείται από σχηματισμούς λάβας. Έχει χημική σύσταση κατάλληλη να μετατρέψει το εγχυμένο CO₂ σε ορυκτή μορφή, δηλαδή σε ανθρακικό άλας. Αυτό το αποτέλεσμα, θα απομόνωνε οριστικά το CO₂ από την ατμόσφαιρα. Ωστόσο, αυτή η τεχνολογία αποθήκευσης απαιτεί περισσότερη έρευνα, αλλά είναι ευρέως κατανοητό ότι η διαδικασία στερεοποίησης απαιτεί χιλιάδες χρόνια.

Ο μελανόλιθος όμως είναι αρκετά πορώδης, κι αυτό έχει ως συνέπεια μια πιθανή διαρροή του CO₂ πριν προλάβει να στερεοποιηθεί, επομένως είναι απαραίτητο να υπάρχει και ένα στρώμα βράχου που να τον καλύπτει για να αποφευχθεί η αυτή η διαρροή. Τέλος, η τεχνολογία αποθήκευσης σε μελανόλιθο είναι απίθανο να εφαρμοστεί, κι αυτό οφείλεται στην έλλειψη κατανόησης της συγκεκριμένης τεχνολογίας και στο υψηλό κόστος της, σε σχέση με άλλες τεχνολογίες αποθήκευσης (www.netl.doe.gov).

4.2. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΣΕ ΩΚΕΑΝΟΥΣ

Η αποθήκευση σε ωκεανούς με χρήση έγχυσης έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με την γεωλογική και τη γεωχημική αποθήκευση, αλλά παρουσιάζει λιγότερα προβλήματα από αυτές. Το CO₂, σε συνθήκες υψηλής πίεσης και χαμηλής θερμοκρασίας γίνεται πυκνότερο από το νερό. Λόγω αυτών των συνθηκών, όταν εγχέεται σε μεγάλα θαλάσσια βάθη, άνω των 3000 μέτρων, τείνει να βυθιστεί και να φτάσει στον πυθμένα της θάλασσας (www.ipcc.ch).

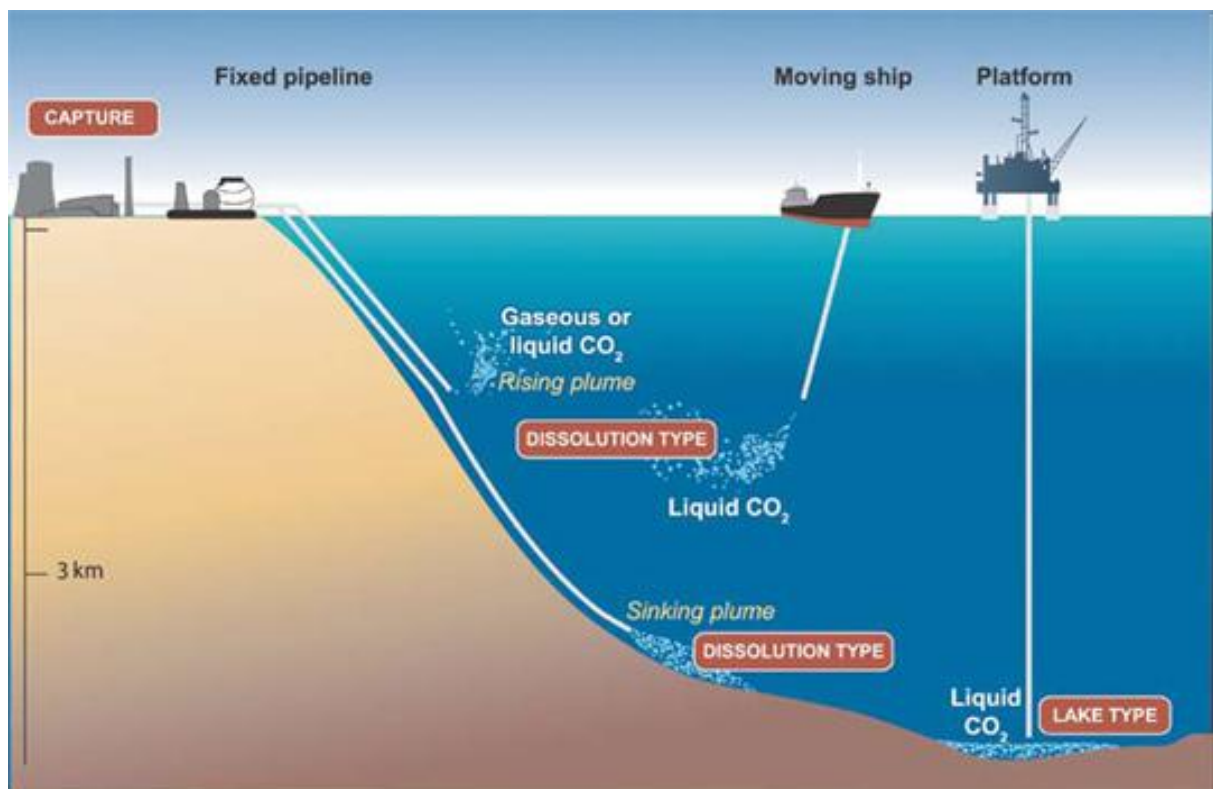
Δεδομένου ότι τα θαλάσσια ρεύματα αλλάζουν, το CO₂ αναμιγνύεται με το ρεύμα και τελικά απελευθερώνεται. Για να αποφευχθεί αυτό, η έγχυση πραγματοποιείται κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας. Όταν το CO₂ εγχέεται σε θαλάσσια βάθη τουλάχιστον 3000 μ. , γίνεται και πυκνότερο από το ρευστό το οποίο καταλαμβάνει χώρο στον πορώδη βράχο αποθήκευσης. Έτσι, το ρευστό αυτό, λόγω της μικρότερης πυκνότητάς του, λειτουργεί σαν πώμα για να συγκρατεί το CO₂ στο χώρο αποθήκευσης. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «Βαρυτική σταθερότητα» και είναι αυτό που διαφοροποιεί την θαλάσσια με την γεωλογική αποθήκευση.

Δοκιμές έχουν δείξει ότι η κινητική αντίδραση στερεοποίησης του CO₂, σε περιβαλλοντική θερμοκρασία και υποκρίσιμη πίεση, γίνεται πολύ αργά. Για να γίνει οικονομικά αποδοτική αυτή η τεχνολογία αποθήκευσης, θα πρέπει να αυξηθεί η ταχύτητα κινητικής αντίδρασης σε μεγάλο βαθμό. Έχει αποδειχτεί, ότι η διαδικασία αντίδρασης επιταχύνεται όταν έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης, σε συνδυασμό με το ανακάτωμα του διεσπαρμένου πηλού και αερίου με τη στήλη νερού. Σ' αυτή την περίπτωση έχουμε κατά 90% μετατροπή του CO₂ σε ορυκτό ανθρακικό άλας μέσα σε 24 ώρες σε μια θερμοκρασία περίπου 185 °C και μερική πίεση 11,6 MPa. Αντίθετα, σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος ή και μεγαλύτερες και σε πίεση κάτω της κρίσιμης, δηλαδή κάτω των 7,4 MPa , η αντίδραση πραγματοποιείται πολύ αργά. Οι ίδιες δοκιμές έδειξαν ότι σε θερμοκρασία 150 °C και μερική πίεση του CO₂ 5,2 MPa είχε ως αποτέλεσμα την μετατροπή του CO₂ σε ανθρακικό άλας κατά 10% σε 144 ώρες. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι όταν αυξάνονται οι θερμοκρασίες και οι πιέσεις τόσο αυξάνεται η ταχύτητα αντίδρασης.

Επιπλέον, έχει προταθεί, ότι αν κατά την αποθήκευση του CO₂ σε ωκεανούς αποθηκευτούν μαζί του και άλλα απόβλητα, θα υπήρχε οικονομικό όφελος.

Παραδείγματος χάριν, μαζί με το CO₂ θα μπορούσε να αποθηκευτεί και σουλφίδιο του υδρογόνου (H₂S), το διοξείδιο του θείου (SO₂) ή το διοξείδιο του αζώτου (NO₂). Αύτη η περίπτωση βέβαια, απαιτεί εκτενέστερη έρευνα και αυτή την περίοδο θεωρείται πάρα πολύ περίπλοκη, πολυδάπανη και δεν γνωρίζουμε τις συνέπειες της συνδυαστικής αποθήκευσης.

Τέλος, η αποθήκευση σε ωκεανούς είναι αρκετά ασφαλής σε θέμα διαρροής, έχει την ικανότητα παραμονής εκεί για πολλά χρόνια χωρίς να επιτρέπει στο CO₂ να διαφύγει στην ατμόσφαιρα. Εάν η τεχνολογία προχωρήσει όσον αφορά το θέμα των κινητικών των αντιδράσεων της αποθηκευτικής διαδικασίας, τότε είναι πιθανό η ωκεάνια αποθήκευση να παίξει σημαντικό ρόλο στην αποθήκευση του άνθρακα (www.ipcc.ch).



Εικόνα 4.2 Ωκεάνια αποθήκευση

4.3. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΜΕΣΩ ΟΡΥΚΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η χρήση της τεχνολογίας ορυκτοποίησης είναι άλλη μια πιθανή επιλογή για την αποθήκευση του CO₂. Η ορυκτή αποθήκευση του CO₂ περιλαμβάνει υδατικές εξώθερμες αντιδράσεις του CO₂ υπερβασικά ή πυριτικά ορυκτά πετρώματα που περιέχουν οξείδια ασβεστίου ή μαγνησίου, προκειμένου να σχηματισθούν φιλικά προς το περιβάλλον και θερμοδυναμικά σταθερά ανθρακικά ορυκτά. Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά υποσχόμενη διότι παρέχει μεγάλη αποθηκευτική ικανότητα και η ποσότητα των υπερβασικών πετρωμάτων είναι άφθονη παγκοσμίως. Επιπλέον, το CO₂ αποθηκεύεται μόνιμα και ασφαλώς και τα ορυκτά που προκύπτουν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για άλλους σκοπούς.

Τα υπερβασικά ορυκτά πλούσια σε οξείδια Ca και Mg που μπορούν να επιλεγθούν για την ορυκτοποίηση είναι οι Περιδοτίτες, Σερπεντινίτες, Χαρτζβουργίτες, Λερζόλιθοι και οι Δουνίτες. Πριν από τη χρησιμοποίησή τους για την ορυκτοποίηση του CO₂ υπόκεινται σε επεξεργασίες με σκοπό την επιτάχυνση της αντίδρασης όπως, μείωση του μεγέθους των κόκκων τους, θέρμανση για να απομακρυνθεί το νερό και χημικές διεργασίες απομάκρυνσης στοιχείων που επιβραδύνουν την ταχύτητα ορυκτοποίησης (www.ipcc.ch).

5.ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

5.1.ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ

5.1.1.Υγεια

Αυτήν την περίοδο, λίγα είναι γνωστά σχετικά με τους κινδύνους για την υγεία που δημιουργούνται από τη χρήση αμινών, στα περισσότερα συστήματα δέσμευσης CO₂. Κάποιοι τύποι αμινών, όπως και αρκετά υποκατάστατά τους, μπορούν να έχουν αρκετά αρνητικά αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία, όπως ενοχλήσεις, ευαισθησίες, καρκινοπάθειες και τοξικοπάθειες. Ωστόσο, αυτές οι επιπτώσεις στην υγεία, είναι η χειρότερη των περιπτώσεων και εξαρτώνται από τον τύπο αμινών που χρησιμοποιούνται για την δέσμευση καθώς και από το ποσό εκπομπής αμινών στην ατμόσφαιρα.

Οι ερευνητικές δραστηριότητες έχουν επικεντρωθεί στην ανάπτυξη νέων βελτιωμένων τύπων αμινών και μείγματα αυτών, για τη δέσμευση του CO₂. Ενώ ο κύριος σκοπός της έρευνας είναι η μείωση της ενέργειας που απαιτείται κατά τη διαδικασία δέσμευσης, αντικείμενο της είναι και η ελαχιστοποίηση των επιδράσεων στην ανθρώπινη υγεία (Anderson, S. and Newell, R.,2004)

5.1.2.Περιβαλλον

Η κατασκευή και λειτουργία συστημάτων δέσμευσης CO₂ δημιουργεί και προβλήματα που σχετίζονται με το περιβάλλον. Ενώ προσφέρουν ιδιαίτερα οικολογικά οφέλη, μέσω της μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, τα συστήματα δέσμευσης μετά την καύση θα μπορούσαν να επιβαρύνουν το περιβάλλον μέσω της πιθανής εκπομπής επεξεργασμένου αερίου, αποβλήτων διαδικασίας και άλλων αερίων που απελευθερώνονται τυχαία. Παραδείγματος χάριν, οι αμίνες, θα μπορούσαν να έχουν αρνητικές επιπτώσεις και στο θαλάσσιο περιβάλλον, γεγονός που επηρεάζει άμεσα τα ζώα και διάφορους άλλους οργανισμούς.

Κατά τη λειτουργία του, ένα σύστημα δέσμευσης CO₂ απαιτεί και σημαντικά ποσά ενέργειας, έτσι, μειώνεται η αποδοτικότητα της εκάστοτε εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας και για να μπορέσει να παράγει το απαιτούμενο ποσό ενέργειας, χρησιμοποιεί περισσότερα καύσιμα (Anderson, S. and Newell, R.,2004).

5.2.ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

5.2.1.Αγωγοί

Η κατασκευή, η δρομολόγηση και η συντήρηση των αγωγών μεταφοράς CO₂, μπορεί να επιδράσει αρνητικά στο περιβάλλον καθώς και να αποτελέσει απειλή για την ανθρώπινη υγεία και ασφάλεια, εάν υπάρξει μια πιθανή διαρροή. Οι κίνδυνοι όσον αφορά τους τοπικούς πληθυσμούς, κυμαίνονται από την ασφυξία της χλωρίδας και της πανίδας της περιοχής, μέχρι και το «ξίνισμα» του χώματος, της επιφάνειας της γης και των υπόγειων υδάτων.

Επιπλέον, εάν στο CO₂ συμπεριλαμβάνονται και ακαθάριστες ουσίες όπως H₂S, τότε αυτό θα μπορούσε να έχει επιπτώσεις σε περίπτωση μιας διαρροής ή ρήξης των σωλήνων. Αναφορικά, το κατώτερο όριο έκθεσης σε H₂S ενός ανθρώπινου οργανισμού είναι τα 100 PPM σε αντίθεση με το CO₂ που το κατώτερο όριο του είναι 40000 PPM.

Τώρα, όσον αφορά την αστοχία των σωληνώσεων, είναι ορισμός που αποδίδεται σε περίπτωση που κατά την διαρροή των αερίων προκλήθηκε θάνατος, εισαγωγή σε νοσοκομείο ασθενών, ή φθορά ιδιοκτησίας τουλάχιστον 50000 δολαρίων. Το ποσοστό αστοχίας των σωληνώσεων ανερχόταν σε 0,001 χλμ ετησίως το 1972, ενώ μειώθηκε σε 0,0002 χλμ το 2002. Γενικά η αστοχία αγωγών είναι πιο εμφανής σε σωληνώσεις διαμέτρου μικρότερης των 100 χιλιοστών, ενώ για διαμέτρους άνω των 500 χιλιοστών το ποσοστό αστοχίας μειώνεται σε μόλις 0,00005 χλμ ετησίως (www.ipcc.ch).

5.2.2.Πλοία

Κατά τη μεταφορά του CO₂ με πλοίο, υπάρχει μια συνολική απώλεια στο περιβάλλον της τάξης του 3-4% ανά 1000 χλμ ταξιδιού, ποσοστό που περιλαμβάνει και την εξάτμιση του CO₂ κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Μέσω της μείωσης της εξάτμισης, θα μπορούσε να επιτευχθεί και μια μείωση του συγκεκριμένου ποσοστού σε 1-2% ανά 1000 χλμ.

Τα συστήματα μεταφοράς με πλοίο θα μπορούσαν να αποβούν καταστροφικά μέσω σύγκρουσης, βύθισης και πυρκαγιάς. Το υγρό CO₂ δεν είναι τόσο κρύο όσο το υγροποιημένο φυσικό αέριο, και ούτε είναι εύφλεκτο, αν και πυκνότερο. Έτσι, στην περίπτωση σύγκρουσης, υπάρχουν μικρότερες πιθανότητες πυρκαγιάς ή έκρηξης σε σχέση με το φυσικό αέριο ή ακόμα και με το πετρέλαιο. Αλλά, λόγω της πυκνότητάς του, το CO₂ μπορεί να προκαλέσει ασφυξία καθώς επίσης και να σταματήσει τη λειτουργία του κινητήρα του πλοίου (www.ipcc.ch).

5.3.ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

5.3.1.Γεωλογική

Οι κίνδυνοι που συνδέονται με την γεωλογική αποθήκευση CO₂, αναφέρονται στο ζήτημα της διαρροής του από τη θέση αποθήκευσης. Το CO₂ μπορεί να διαρρεύσει από μια περιοχή αποθήκευσης με διάφορους τρόπους, όπως από πόρους και ρωγμές του ταμιευτήρα αποθήκευσης, καθώς και από ταμιευτήρες και φρεάτια αποθήκευσης τα οποία είναι κατασκευασμένα από τον άνθρωπο. Επιπλέον, οι τύποι κινδύνων, ποικίλλουν ανάλογα με το αν η διαρροή είναι σύντομη και απότομη ή αν είναι βαθμιαία και μακροπρόθεσμη.

Ως αποτέλεσμα μιας απότομης διαρροής, η κύρια ανησυχία συνδέεται με τον κίνδυνο που προκύπτει για τις διάφορες μορφές ζωής του τόπου. Σε κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες, η συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι περίπου 0,04%. Αν αυτό το ποσοστό αυξηθεί περίπου στο ποσοστό 3% έχει ως συνέπεια την απώλεια ακοής, την εξασθένηση της όρασης και την απώλεια προσανατολισμού. Στα ποσοστά μεταξύ 7% και 10% το CO₂ προκαλεί ασφυξία και μπορεί να αποβεί θανάσιμο (Bachu,2008).

Σε μια πιθανή διαρροή, το CO₂, δεδομένου ότι είναι πυκνότερο από τον ατμοσφαιρικό αέρα, θα είχε την τάση να ρεύσει στις χαμηλότερες περιοχές. Άρα, οι περιοχές αποθήκευσης χαμηλού υψόμετρου και περιορισμένου χώρου διατρέχουν περισσότερο κίνδυνο. Ωστόσο, έχουν αναπτυχθεί επαγγελματικά πρότυπα όσον αφορά την αποθήκευση του CO₂ και κανόνες ασφαλείας ο οποίοι είναι παρόμοιοι με αυτούς της βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Οι παράγοντες που καθορίζουν την συγκέντρωση CO₂ είναι το μέγεθος και η ταχύτητα της διαρροής. Σε περίπτωση μιας μεγάλης και γρήγορης διαρροής υπάρχει η δυνατότητα να προκληθεί ατμοσφαιρική μίξη, συγκεντρώνοντας το CO₂ σε μια μικρή περιοχή. Αντίθετα, σε περίπτωση μιας μικρής διαρροής, το CO₂ διασκορπίζεται αργά στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα να μην υπάρχει κάποια αλλαγή στη συγκέντρωση του επομένως ο κίνδυνος είναι μικρότερος. Η μακροπρόθεσμη έκθεση σε ανυψωμένα επίπεδα συγκέντρωσης CO₂ μπορεί να επηρεάσει και το οικοσύστημα. Αυτό συμβαίνει γιατί μειώνεται το Ph του χώματος και αλλάζει η επίγεια χημεία. Η αλλαγή αυτή έχει ως συνέπεια και την καταστροφή των ριζών των δέντρων και γενικά των φυτών. Θα πρέπει λοιπόν να γίνεται έλεγχος στις περιοχές αποθήκευσης έτσι ώστε να διατηρούνται τα επίπεδα συγκέντρωσης σε αποδεκτό ποσοστό (Bachu,2008).

Μια άλλη σημαντική ανησυχία που σχετίζεται με την γεωλογική αποθήκευση είναι η πιθανή μόλυνση του νερού. Η αυξημένη συγκέντρωση CO₂ διαλυμένου σε νερό, δημιουργεί το ανθρακικό οξύ το οποίο δημιουργεί την κινητοποίηση διαφόρων τοξικών μετάλλων, θειικού άλατος και άλλων στοιχείων τα οποία δίνουν στο νερό μια περίεργη μυρωδιά και χρώμα. Στη χειρότερη περίπτωση, αν φτάσει η μόλυνση σε επικίνδυνα επίπεδα, τότε το νερό μπορεί να χαρακτηριστεί ακατάλληλο για κατανάλωση ή για άρδευση (www.ipcc.ch)

Η έγχυση του CO₂ μπορεί να οδηγήσει επίσης και στη μετατόπιση της άλμης. Η άλμη, έχει την ιδιότητα κατά τη μετατόπιση της να οδηγείται σε ρηχούς υδροφόρους ορίζοντες, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η αλμυρότητα, γεγονός που πάλι μπορεί να καταστήσει το νερό ακατάλληλο για κατανάλωση και γενικά για

χρήση. Ωστόσο, η μόλυνση των υπόγειων νερών μέσω της μετατόπισης της άλμης, είναι αρκετά σπάνια, όσον αφορά τη γεωλογική αποθήκευση του CO₂.

Τέλος, ένας άλλος παράγοντας που δημιουργεί κινδύνους και ανησυχία σχετικά με την γεωλογική αποθήκευση του CO₂ είναι η σεισμική δραστηριότητα. Στον ταμειωτήρα αποθήκευσης, η πίεση είναι ιδιαίτερα αυξημένη και σε περίπτωση που υπερβεί κάποιο όριο δημιουργούνται σπασίματα και έχουμε μια μικρή εδαφική μετακίνηση. Μέσω αυτών των σπασιμάτων, το CO₂ μπορεί να διαφύγει και στη συνέχεια να διοχετευτεί ξανά στην ατμόσφαιρα (Bachu,2008).

Μεγαλύτερη σεισμική δραστηριότητα μπορεί να προκύψει λόγω της ενεργοποίησης ελαττωμάτων από την αυξημένη πίεση. Τα ελαττώματα αυτά έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν σεισμούς, με αποτέλεσμα να προκαλέσουν ζημιές στην επιφάνεια της γης και ενδεχομένως διαρροή διοξειδίου του άνθρακα. Ωστόσο, βιομηχανικές μελέτες έχουν δείξει πως ο σεισμικός κίνδυνος είναι ελάχιστος και δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την αποθήκευση CO₂. Ο έλεγχος είναι ιδιαίτερα αυστηρός όσον αφορά τα φρεάτια έγχυσης και μπορεί να δείξει αν οι πιέσεις έχουν υπερβεί τα ασφαλή επίπεδα. Επιπλέον, μπορούν να εφαρμοστούν και ρυθμιστικά όρια σχετικά με την πίεση κατά την έγχυση έτσι ώστε να αποφευχθεί η οποιαδήποτε πρόκληση σεισμικής δραστηριότητας από τις αυξημένες πιέσεις.

Σε παγκόσμια κλίμακα, το αρχικό μακροχρόνιο ζήτημα σχετικά με την γεωλογική αποθήκευση είναι το ενδεχόμενο μια διαρροή να επηρεάσει αρνητικά ως προς την υπερθέρμανση του πλανήτη. Επομένως, αν η διαρροή από την αποθήκευση είναι πάρα πολύ μεγάλη, η αποτελεσματικότητα της αποθήκευσης CO₂ μειώνεται δραματικά (www.ipcc.ch)

Ενώ οι κίνδυνοι διαρροής είναι πολύ σημαντικοί και πρέπει να εξεταστούν, πολλές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί για να υπολογισθεί η πιθανότητα διαρροής από μια γεωλογική περιοχή. Συγκεκριμένα, η IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) αξιολόγησε στοιχεία από φυσικά και τεχνητά συστήματα, φυσικές, χημικές και μηχανικές διαδικασίες, πρότυπα μεταφοράς του CO₂ και στοιχεία από τα τρέχοντα γεωλογικά προγράμματα αποθήκευσης. Από αυτές τις μελέτες, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι αν επιλεγεί η κατάλληλη περιοχή αποθήκευσης, οι κίνδυνοι διαρροής είναι ιδιαίτερα χαμηλοί. Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά μιας επιλεγμένης περιοχής, το σύστημα εγχύσεως και η μηχανική των θέσεων αποθήκευσης είναι τρία από τα κρίσιμα στοιχεία που επηρεάζουν τη δυνατότητα διαρροής. Αν αυτά τα στοιχεία εξεταστούν κατάλληλα, τότε είναι πιθανόν να διατηρηθεί το αποθηκευμένο CO₂ ασφαλές σε ποσοστό 90% κατά τη διάρκεια των πρώτων 100 ετών. Αυτά τα προκαταρκτικά αποτελέσματα, δείχνουν ότι οι κίνδυνοι από τη γεωλογική αποθήκευση είναι ελάχιστοι, εφόσον τηρούνται οι κατάλληλες τεχνικές ελέγχου (Herzog,2002).

5.3.2.Ορυκτοποίηση

Η διαδικασία της ορυκτοποίησης έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ανθρακικών ορυκτών, που πραγματοποιείται από το συνδυασμό του CO₂ με μέταλλα. Η πλειοψηφία των μετάλλων αυτών είναι δισθενή κατιόντα, συμπεριλαμβανομένου του ασβεστίου, μαγνησίου και σιδήρου. Η μεγαλύτερη πηγή κατιόντων είναι τα ορυκτά πυριτικά άλατα και για την ανάκτηση αυτών απαιτείται εξόρυξη μεγάλης κλίμακας. Η ποσότητα των ορυκτών που θα πρέπει να εξορυχτεί θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από την ποσότητα του άνθρακα που χρησιμοποιείται σαν καύσιμη ύλη, δηλαδή θα απαιτούνταν περίπου 2-2,6 τόνοι πυριτικών ορυκτών για να

δεσμευτεί ένας τόνος CO₂. Η διαδικασία εξόρυξης επίσης θα επέφερε κάποιες περιβαλλοντικές αλλαγές, συμπεριλαμβανομένης της αφαίρεσης εδάφους καθώς και την αποθήκευση των πυριτικών και ανθρακικών αλάτων στην περιοχή.

Τέλος, το κόστος της αποθήκευσης μέσω ορυκτοποίησης θα πρέπει να αξιολογηθεί με βάση το γεγονός ότι οι διαδικασίες όπως, η ορυκτή προεπεξεργασία και η εξόρυξη, έχουν πιθανότατα μεγαλύτερο ενεργειακό κόστος όσον αφορά το περιβάλλον, από το ενδεχόμενο της μη αποθήκευσης του CO₂ (Herzog, 2002).

5.3.3. Αποθήκευση σε ωκεανούς

Ένα μειονέκτημα της αποθήκευσης σε ωκεανούς είναι ότι υπάρχει η πιθανότητα να μην είναι πραγματικά μόνιμη. Λόγω των ωκεάνιων ρευμάτων, το CO₂, μετά από μερικές εκατοντάδες χρόνια, θα μπορούσε να απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα. Η συνολική ικανότητα ωκεάνιας αποθήκευσης CO₂ έχει υπολογιστεί μεταξύ 1000 και 10.000 γιγατόνων, πράγμα που σημαίνει ότι αν προσεγγιστικά οι εκπομπές CO₂ είναι 6,2 γιγατόνοι ετησίως, η ωκεάνια αποθήκευση θα μπορούσε να λειτουργήσει για περίπου 200 έως 1500 χρόνια.

Επιπλέον, είναι πιθανή η δημιουργία διαρροής σε διαφορετικά βάθη και ποσοστά. Διάφορες μελέτες σε πρότυπα έχουν δείξει ότι η διατήρηση της αποθήκευσης αυξάνεται ανάλογα με το βάθος, με ποσοστό 70% για αποθήκευση σε βάθος μεγαλύτερο των 3000 μέτρων μετά την πάροδο 500 ετών. Ακόμα και σε μικρές χρονικές περιόδους όμως, όταν προκύπτουν ετήσιες διαρροές σε ποσοστό 0,1% σε βάθος 3000 μέτρων, μία έγχυση 500 γιγατόνων θα είχε διαρροή 0,5 γιγατόνων το χρόνο. Αρα, υπό τους ευνοϊκότερους όρους, η ωκεάνια αποθήκευση απλά καθυστερεί την απελευθέρωση μιας μερίδας της αρχικής ποσότητας του CO₂ που αποθηκεύτηκε (Herzog, 2002).

Στα χαμηλότερα ωκεάνια βάθη, το περιβάλλον είναι ιδιαίτερα σταθερό και τα φυσιοχημικά χαρακτηριστικά αλλάζουν μόλις και μετά βίας σε σχέση με το χρόνο. Η δυνατότητα των θαλάσσιων όντων να προσαρμοστούν είναι λιγότερο ζωτικής σημασίας από την δυνατότητα να ανεχτούν αυστηρές περιβαλλοντικές διαταραχές, όπως μια αλλαγή των επιπέδων pH. Η αύξηση του CO₂ χαμηλώνει το pH, το οποίο θα μπορούσε αμέσως να αλλάξει την παραγωγικότητα των φυκωδών και ετεροτροφικών βακτηριακών ειδών, τη διαδικασία βιολογικής αποτίτάνωσης και το μεταβολισμό των πολυάριθμων θαλάσσιων ειδών.

Επιπλέον, η ποικιλομορφία των ειδών αυξάνεται στα χαμηλότερα βάθη ενώ η πυκνότητα μειώνεται κάνοντας τους βαθύβιους οργανισμούς πιο τρωτούς από αυτούς που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια. Οι οργανισμοί που βρίσκονται στον πάτο της θάλασσας είναι ιδιαίτερα τρωτά δεδομένου ότι η έγχυση του CO₂ που προορίζεται να σχηματίσει ένα είδος λίμνης, είτε θα τους έτρεπε προς φυγή, είτε θα σκότωνε όποιον οργανισμό εισερχόταν τυχαία στην περιοχή. Εντούτοις, λόγω των ανθρωπογενών εκπομπών CO₂, το pH της επιφάνειας των ωκεανών έχει μειωθεί κατά 0.1 μονάδες. Η έγχυση άνθρακα σε μεγάλα θαλάσσια βάθη θα μπορούσε να αλλάξει αυτή την τιμή.

Ένα πρόσφατο πείραμα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η αποθήκευση σε ωκεανούς θα μπορούσε να επηρεάσει αρνητικά το περιβάλλον, καθώς υπάρχει πιθανότητα η θερμοκρασία και μόνο να επηρεάσει τα θαλάσσια όντα ως προς την ανοχή στο CO₂. Οι εγχύσεις του CO₂ θα πραγματοποιούνταν σε χαμηλά βάθη με χαμηλές θερμοκρασίες, όπου πειράματα έδειξαν ότι η χαμηλή θερμοκρασία μειώνει

την αντοχή στο CO₂. Η ελάττωση της παραγωγικότητας και τις διάρκειας ζωής θα μπορούσαν να χαρακτηρίσουν την ωκεάνια αποθήκευση σαν παράγοντα μείωσης της βιοποικιλότητας. Η δομή της τροφικής αλυσίδας θα μπορούσε να αλλάξει επιβλαβώς, με λιγότερη διαθέσιμη τροφή για τις υψηλές κατηγορίες, πράγμα που θα μπορούσε να επηρεάσει αρνητικά την αλιευτική βιομηχανία (Herzog,2002).

6.ΚΟΣΤΟΣ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ-ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ CO₂

6.1.ΓΕΝΙΚΑ

Η μέση τιμή κόστους της δέσμευσης και αποθήκευσης του CO₂ από εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας της τάξης των 500MW είναι τα 50 € ανά 1 τόνο CO₂ , όπου από αυτά, τα 32-33 € αντιστοιχούν στο κόστος δέσμευσης. Πιο αναλυτικά, για τη δέσμευση και τη συμπίεση του CO₂ σε πίεση 110 bar απαιτούνται περίπου 25 € και για την συμπίεση του στην ίδια πίεση το κόστος εκτιμάται στα 7 €. Για τη μεταφορά του CO₂ με αγωγούς και σε απόσταση 100 Km, το κόστος κυμαίνεται μεταξύ 3-7 €/ tCO₂ . Για την αποθήκευσή του απαιτείται ένα κόστος μεταξύ 3-10 €/ tCO₂.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το κόστος ηλεκτροπαραγωγής της εγκατάστασης αυξάνεται κατά 0,01-0,03 €/ KWh.

Ο κυριότερος στόχος που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση τόσο μεσοπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα είναι να μειωθεί το κόστος δέσμευσης κατά 3 έως 13 € ανά τόνο CO₂ ,από το σημερινό κόστος και ο βαθμός δέσμευσης να ξεπερνά το 90%. Ωστόσο υπάρχουν 3 τεχνολογίες δέσμευσης που χαρακτηρίζονται ως οι πιο οικονομικές (Ε.Κακαράς,2005).

6.1.1.Απορρόφηση με χρήση αμινών

Η τεχνολογία δέσμευσης με χρήση υγρού διαλύματος (αμινών) , είναι εμπορικά διαθέσιμη για χρήση, με σκοπό την απομάκρυνση του CO₂ από καυσαέρια εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας. Το κόστος αγοράς υγρού διαλύματος (αμινών) ανέρχεται περίπου σε 810 €/t και για μια εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας 320MW που θα δεσμευτεί το 90% του παραγόμενου CO₂, απαιτούνται 2750 τόνοι αμινών. Επομένως, σε ένα σταθμό που χρησιμοποιεί για καύση άνθρακα, η διαδικασία δέσμευσης επιφέρει μια αύξηση 0,04 €/ KWh. Ενώ το πρόσθετο κόστος κεφαλαίου ανέρχεται σε 1310 €/ KW (Ε.Κακαράς,2005).

6.1.2. Απορρόφηση με χρήση αμινων σε σταθμό κονιορτοποιημένου καυσίμου

Σε ένα σταθμό κονιορτοποιημένου καυσίμου με παραγωγή 500 MWe, για κόστος καυσίμου έως 4 €/ GJ, το κόστος δέσμευσης με τεχνολογία απορρόφησης με χρήση αμινών, έχει μια μέση τιμή 50 €/tCO₂. Το κόστος αυτό επιφέρει μια αύξηση της τιμής της παραγόμενης ενέργειας κατά 0,03 €/ KWh.

Για την μεταποίηση ενός τέτοιου σταθμού παραγωγής και την ενσωμάτωση συστήματος δέσμευσης σ' αυτόν απαιτείται μια αύξηση κόστους κεφαλαίου κατά 77%, ενώ έχουμε μια μείωση της παραγωγής ενέργειας της τάξης των 25% (E.Κακαράς,2005).

6.1.3. Τεχνολογία καύσης σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου

Η χρήση της τεχνολογίας δέσμευσης με καύση σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου (oxy-fuel) δημιουργεί απαιτήσεις σε επενδυτικό κεφάλαιο και σε κατανάλωση ενέργειας λόγω του ότι κατά τη διαδικασία δέσμευσης υπάρχει ανάγκη από μεγάλα ποσά οξυγόνου.

Η εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας σε σταθμό παραγωγής ενέργειας της τάξης των 500MW και με απαίτηση ποσοστού δέσμευσης 80% του παραγόμενου CO₂, το κόστος δέσμευσης ανέρχεται σε 7-17 €/tCO₂ χωρίς σ' αυτό να έχει προστεθεί και το κόστος συμπίεσης

Σε περίπτωση σταθμού παραγωγής ενέργειας της τάξης των 400MW και με απαίτηση δέσμευσης σε ποσοστό 90% του παραγόμενου CO₂, το κόστος δέσμευσης ανέρχεται σε 28€/ tCO₂. Η συγκεκριμένη τεχνολογία δέσμευσης επιφέρει αύξηση του κόστους της παραγόμενης ενέργειας κατά 0,02€/ KWh.

Σύμφωνα με μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε λιγνιτική μονάδα της Γερμανίας με παραγωγή 865MW, η χρήση της τεχνολογίας δέσμευσης σε καθαρές συνθήκες οξυγόνου επέφερε μείωση της αποδοτικότητας κατά 8,4%.

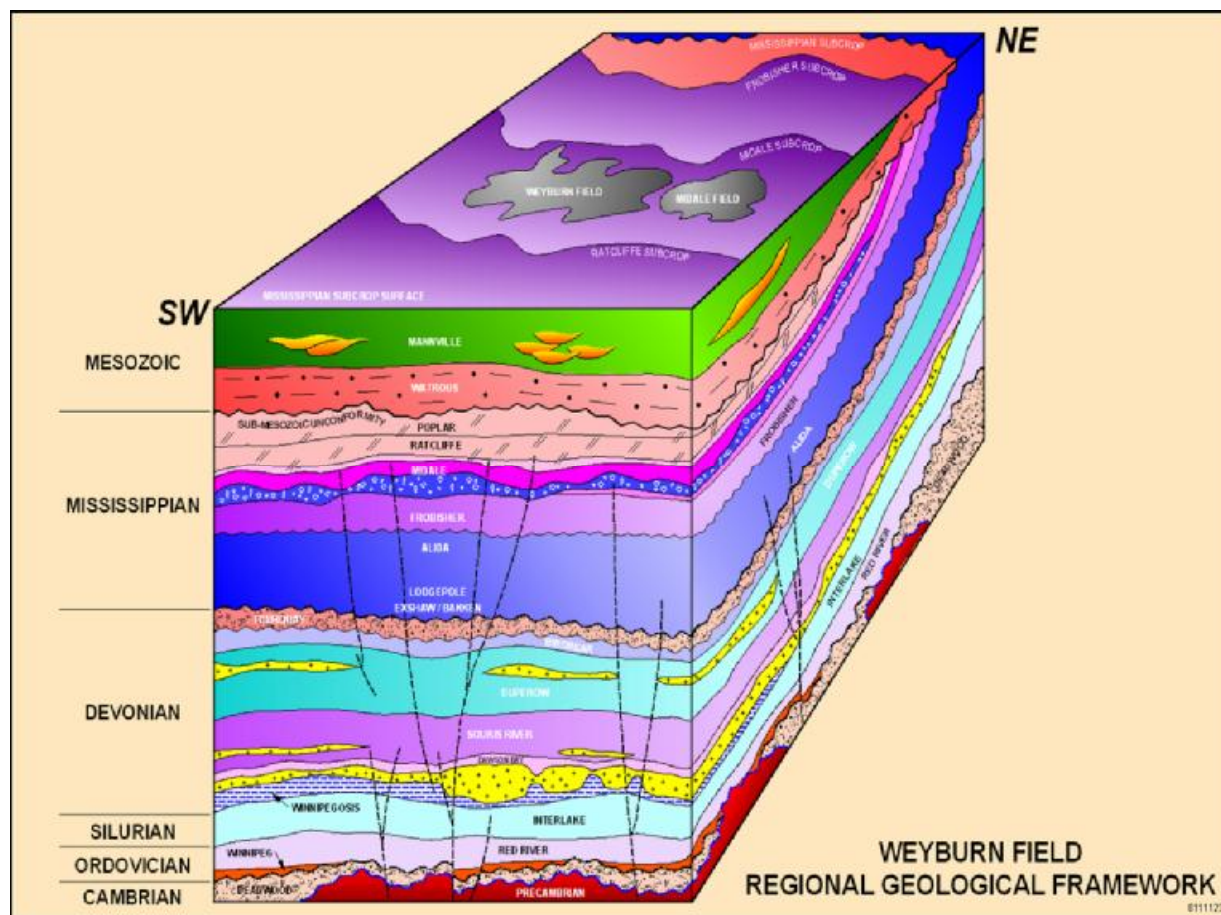
Με την εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας απαιτείται μια αύξηση κεφαλαίου κατά 23% ,το κόστος παραγωγής ενέργειας αυξάνεται κατά 0,017 €/KWh ,ενώ μειώνονται κατά 5% η εκπομπές του CO₂, σε σχέση με ένα σταθμό παραγωγής χωρίς δέσμευση.

Το συνολικό κόστος δέσμευσης ανέρχεται σε 6,5 €/tCO₂ χωρίς να συμπεριλαμβάνεται στην τιμή αυτή το κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης το οποίο ανέρχεται στα 10 €/tCO₂. Για να μεταφερθεί το ήδη δεσμευμένο CO₂ σε απόσταση 100 km και να αποθηκευτεί το συνολικό κόστος κυμαίνεται μεταξύ των 14-20 €/tCO₂ (E.Κακαράς,2005).

7. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ CO₂

7.1. WEYBURN

Ένας από τους μεγαλύτερους ταμειυτήρες ακατέργαστου πετρελαίου στον Καναδά είναι η περιοχή των πετρελαϊκών κοιτασμάτων στο Weyburn. Η περιοχή αυτή καλύπτει πάνω από 70 τετραγωνικά μίλια στο νοτιοανατολικό Saskatchewan και περιέχει περίπου 1,4 δισεκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου. Αρχικά, έχουμε παραγωγή ακατέργαστου πετρελαίου μέσης βαρύτητας και με χαμηλή αναλογία πετρελαίου-φυσικού αερίου. Στα κοιτάσματα αυτής της περιοχής εφαρμόζεται η τεχνολογία της ενισχυμένης ανάκτησης πετρελαίου, δηλαδή το CO₂ εγχέεται στον ταμειυτήρα με αποτέλεσμα να ωθεί το πετρέλαιο προς το έδαφος ευκολότερα, έτσι ώστε να αυξάνονται οι ρυθμοί παραγωγής (www.bellona.org).



Σχήμα 7.1 Τομή προγράμματος Weyburn

7.2.SLEIPNER

Όταν αναφερόμαστε στο πρόγραμμα Sleipner εννοούμε το εμπορικότερο πρόγραμμα σε παγκόσμιο επίπεδο που λειτουργεί για την αποθήκευση του CO₂ με σκοπό την μείωση των αερίων που εκπέμπονται και συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Στο δυτικό Sleipner, η παραγωγή φυσικού αερίου έχει ως αποτέλεσμα και την παραγωγή ενός ανεπιθύμητου προϊόντος, δηλαδή του CO₂. Το παραγόμενο φυσικό αέριο στην περιοχή έχει αρκετά μεγάλη περιεκτικότητα σε CO₂, της τάξης του 9%, αλλά για να μπορέσει το φυσικό αέριο να προωθηθεί στην αγορά θα πρέπει να μειωθεί αυτή η περιεκτικότητα σε 2,5%. Το παραγόμενο CO₂, διοχετεύεται και αποθηκεύεται σε υδροφόρο ορίζοντα βάθους 800 μέτρων κάτω από τον πυθμένα της Βόρειας Θάλασσας, στο σχηματισμό Utsira. Κάθε χρόνο, στον συγκεκριμένο σχηματισμό, αποθηκεύονται περίπου 1 εκατομμύριο τόνοι CO₂ που έχουν αφαιρεθεί από το φυσικό αέριο. (www.ipcc.ch).

The Sleipner field – CO₂ Treatment and Injection



Εικόνα 7.2 Το πρόγραμμα Sleipner

7.3.SNOHVIT

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα αποθήκευσης είναι το δεύτερο μεγαλύτερο παγκοσμίως, που χρησιμοποιεί τεχνολογία υποθαλάσσιας αποθήκευσης CO₂. Το ποσό του CO₂ που παράγεται με το φυσικό αέριο, εγχέεται σε θέση αποθήκευσης η οποία βρίσκεται 2600 μέτρα κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας. Η

περιεκτικότητα του φυσικού αερίου σε CO₂ ανέρχεται σε ποσοστό 5-8% και μειώνεται με το διαχωρισμό των δύο αυτών στοιχείων με χρήση αμινών σε στήλες απορρόφησης-αναγέννησης (www.ipcc.ch).

7.4.NASCENT

Το πρόγραμμα Nascent έχει ως σκοπό την αντιμετώπιση προβλημάτων που σχετίζονται με την γεωλογική αποθήκευση του CO₂, όπως η σταθερότητα της υπόγειας αποθήκευσης, η μακροπρόθεσμη ασφάλεια και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που θα επιφέρει μια πιθανή διαρροή ενός υπόγειου ταμιευτήρα.

Χώρες όπως Γαλλία, Ιταλία και Ελλάδα είναι μερικές από αυτές που περιέχουν φυσικές συσσωρεύσεις CO₂. Πιο ειδικά, στη Φλώρινα υπάρχει, αποθηκευτικός ορίζοντας, χαμηλής πίεσεως και υψηλής συγκέντρωσης CO₂ διαλυμένο στο νερό. Βρίσκεται σε ποτάμιες αποθέσεις του Μειόκαινου, σε βάθος 180 και 260 μέτρων, ανάμεσα σε στρώματα λιγνίτη. Το CO₂, υπάρχει πιθανότητα να έχει διαμορφωθεί λόγω της αλλαγής και μετακίνησης του ασβεστόλιθου μέσω ρηγμάτων στα τριτογενή ιζήματα ή μπορεί αιτία της διαμόρφωσης αυτής να είναι η ηφαιστειογενής δραστηριότητα στη λεκάνη της Αλμωπίας που βρίσκεται 25 χλμ ανατολικά. (www.ipcc.ch)

7.5.GESTCO

Το πρόγραμμα Gestco δημιουργήθηκε για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας της γεωλογικής αποθήκευσης σε ευρεία κλίμακα. Στο πρόγραμμα αυτό έλαβαν μέρος επιλεγμένες χώρες όπως Ηνωμένο Βασίλειο, Ελλάδα, Δανία και Γερμανία και διερευνήθηκε η δυνατότητα τεσσάρων τύπων αποθήκευσης (Γ.Χατζηγιάννη,2007).



Εικόνα 7.5 Περιοχές μελέτης του προγράμματος Gestco

8.ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Το Ελληνικό κράτος είναι ένας από τους μεγαλύτερους πολέμιους της δέσμευσης και αποθήκευσης του διοξειδίου του άνθρακα στην Ευρωπαϊκή Ένωση και η άρνηση αυτή προκύπτει από το γεγονός ότι η Ελλάδα έχει έντονη σεισμική δραστηριότητα, πράγμα που θα καθιστούσε μια ενδεχόμενη αποθήκευση του CO₂ αρκετά επικίνδυνη. Σύμφωνα με τους ειδικούς στο αντικείμενο της δέσμευσης και αποθήκευσης, η έντονη σεισμική δραστηριότητα της Ελλάδας δημιουργεί αρκετές ανησυχίες αλλά δεν αποτελεί μεγάλο εμπόδιο στην εφαρμογή αποθήκευσης μεταξύ των ελληνικών συνόρων.

Δεδομένου ότι στη σύγχρονη εποχή η χώρα θα κλιθεί να θέσει σε εφαρμογή νέες τεχνολογίες, με σκοπό την αποτελεσματική μείωση των ρύπων, θα πρέπει να εξετάσει και να συζητήσει σε βάθος την τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂ και ειδικότερα το κομμάτι της αποθήκευσης. (www.bellona.org).

Όσον αφορά τη χρήση καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, η Ελλάδα βασίζεται κυρίως στο λιγνίτη, και κατατάσσεται ως η δεύτερη μεγαλύτερη χώρα παραγωγής λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Τα προαναφερθέντα δεδομένα δεν πρόκειται να αλλάξουν στο σύντομο μέλλον κι αυτό διότι η ΔΕΗ έχει ανακοινώσει το σχεδιασμό κατασκευής τουλάχιστον δύο νέων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι το 2014 που θα χρησιμοποιούν ως καύσιμο λιγνίτη. Επί του παρόντος, είναι αρκετά δύσκολη και περίπλοκη η κατάργηση του λιγνίτη ως κύρια πηγή παραγωγής ενέργειας και μπορεί να χαρακτηριστεί πολιτικά επικίνδυνη διότι τα εργοστάσια λιγνίτη απασχολούν αρκετούς εργαζόμενους σε διάφορες περιοχές της χώρας. Σύμφωνα με τα γενικά δεδομένα, η Ελλάδα θα συνεχίσει να χρησιμοποιεί το λιγνίτη ως μέσο παραγωγής ενέργειας για τουλάχιστον 45 χρόνια ακόμα.

Η αυξημένη απαίτηση και εξάρτηση της Ελλάδας από λιγνίτη θα έπρεπε να έχει προκαλέσει συζητήσεις περί των προοπτικών ανάπτυξης της τεχνολογίας δέσμευσης και αποθήκευσης στη χώρα και επιπλέον να έχει γίνει μια προσπάθεια για έρευνα πιθανών περιοχών αποθήκευσης. Αν και η Ευρωπαϊκή Ένωση υποστηρίζει έμπρακτα αυτή την τεχνολογία, δεν έχει γίνει κάτι το αξιόλογο στη χώρα και αυτό οφείλεται όπως προαναφέρθηκε στην σεισμικότητα και στο γεγονός ότι δεν υπάρχουν πιθανές περιοχές αποθήκευσης. Ωστόσο, η τεχνολογία αποθήκευσης χρησιμοποιείται εδώ και χρόνια σε χώρες με μεγαλύτερη σεισμική δραστηριότητα από την Ελλάδα χωρίς να υπάρχει κανένα απολύτως πρόβλημα και επιπλέον, οι πιθανοί χώροι αποθήκευσης βρίσκονται σε περιοχές της Ελλάδας με χαμηλή σεισμική δραστηριότητα.

Δυο ινστιτούτα ερευνών που δραστηριοποιούνται στο χώρο της δεσμευσης και αποθήκευσης CO₂, το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών και το Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης δημοσίευσαν έρευνες οι οποίες περιέχουν τουλάχιστον πέντε πιθανούς αποθηκευτικούς χώρους στην Ελλάδα που μπορούν να δεχτούν συνολικά 2300 εκατομμύρια τόνους CO₂ (Γ.Χατζηγιάννη,2007).

8.1. ΠΙΘΑΝΟΙ ΧΩΡΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Οι πιθανοί χώροι αποθήκευσης CO₂ που βρίσκονται στο ελληνικό έδαφος είναι πέντε. Οι τέσσερις εξ αυτών βρίσκονται στη Δυτική Μακεδονία, όπου εκεί βρίσκονται τα περισσότερα λιγνιτικά εργοστάσια της Ελλάδας και παράγεται το 70% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και 80% του συνολικού CO₂ και ένας βρίσκεται στην Πελοπόννησο. Ο μεγαλύτερος ταμιευτήρας για αποθήκευση CO₂ βρίσκεται στην περιοχή του Πρίνου με χωρητικότητα 17 μεγατόνους. Τέλος, όσον αφορά την αποθήκευση σε υδροφόρους ορίζοντες, πιθανοί χώροι είναι η περιοχή της Αλεξάνδρειας και του Λουδία με χωρητικότητα 2,2, γιγατόνους (Γ.Χατζηγιάννη,2007).



Εικόνα 9.1. Εγκαταστάσεις διυλιστηρίων πετρελαίου

9.ΙΣΤΟΡΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

Η βιομηχανία πετρελαίου ξεκίνησε όταν ο Edwin L. Drake άνοιξε το πρώτο πηγάδι πετρελαίου με επιτυχία στο Titusville της Πενσυλβάνιας των ΗΠΑ το 1859. Πολύ γρήγορα άλλοι ακολούθησαν το παράδειγμά του και η περιοχή γέμισε πηγάδια. Μόλις 10 χρόνια μετά το χρυσό πυρετό της Καλιφόρνιας, η Πενσυλβάνια έχει το δικό της πυρετό: του μαύρου χρυσού. Άλλοι όπως ο John D. Rockefeller συσώρευσαν τεράστιες περιουσίες, ενώ άλλοι όπως ο "Συνταγματάρχης" Drake, πέθαναν στην ψάθα.

Το πετρέλαιο χρησιμοποιήθηκε από αρχαιοτάτων χρόνων αλλά σε περιορισμένη κλίμακα. Οι Αιγύπτιοι κάλυπταν τις μούμιες όπως και τους αρμούς των ογκόλιθων των πυραμίδων με άσφαλτο. Οι Βαβυλώνιοι, οι Ασσύριοι και οι Πέρσες το χρησιμοποίησαν να στρώνουν τους δρόμους και στη κατασκευή τοίχων και κτηρίων. Οι βάρκες στον Ευφράτη ποταμό ήταν κατασκευασμένες από πλεχτό χόρτο αλειμμένο με άσφαλτο. Οι Κινέζοι το βρήκαν σκάβοντας για νερό και το χρησιμοποίησαν για θέρμανση.

Νομάδες της ερήμου το χρησιμοποίησαν για να θεραπεύσουν τις καμήλες τους από την τριχόπτωση. Ο Κάρολος 5^{ος} της Αγίας Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας χρησιμοποίησε το πετρέλαιο να γιατρέψει τους ρευματισμούς του. Από αρχαιοτάτων χρόνων, πολλοί λαοί πίστευαν ότι το πετρέλαιο έχει θεραπευτικές ιδιότητες. Βάζα με πετρέλαιο πωλούνταν εκτεταμένα μέχρι το 19^ο αιώνα σαν το θαυματουργό υγρό το οποίο γιάτρευε κάθε ασθένεια. Οι Ιθαγενείς της Αμερικής το χρησιμοποίησαν ως χρώμα, καύσιμο και φάρμακο.

Βρισκόμαστε στα 1800 και οι Αμερικανοί φαλινοθήρες πρέπει να πάνε μακριά μέχρι το Βόρειο Ειρηνικό ωκεανό, στον Αρκτικό Κύκλο για να βρουν φάλαινες σε ικανοποιητικό αριθμό. Ο στόλος αριθμεί πάνω από 700 σκάφη που εμπλέκονται στο κυνήγι της φάλαινας. Και αυτό λόγω του λαδιού που βγαίνει από τη κοιλιά της φάλαινας (sperm oil) και χρησιμοποιείται στις λάμπες φωτισμού. Κεριά κατασκευάζονται επίσης, από το λίπος της φάλαινας ονομαζόμενο spermaceti. Στα 1840 οι φάλαινες της Γροιλανδίας έχουν εκλείψει σχεδόν τελείως λόγω του κυνηγιού και το κόστος των ταξιδιών στο Βόρειο Ειρηνικό σπρώχνουν τις τιμές του λαδιού τόσο ψηλά που καθίσταται επιτακτικό πλέον η εύρεση εναλλακτικής πηγής φωτισμού. Το φωταέριο (αέριο προερχόμενο από την πύρωση του άνθρακα με ατμό) ήδη χρησιμοποιείται στις πόλεις της Ευρώπης και της Αμερικής αλλά οι αχανείς εκτάσεις γύρω και πέρα απ'αυτές είναι που ζητούν εναλλακτικές πηγές φωτισμού (Λυγερός Α.Ι.,1984).

9.1.Ο ΜΑΥΡΟΣ ΧΡΥΣΟΣ

Ένας δικηγόρος, ο George Bissell, θεωρεί ότι το πετρέλαιο μπορεί να μετατραπεί σε κεροζίνη για χρήση στις λάμπες φωτισμού. Μια ανάλυση του πετρελαίου που έγινε από τον Benjamin Silliman, Jr. καθηγητή Χημείας και Γεωλογίας στο Πανεπιστήμιο του Yale επιβεβαίωσαν τους ισχυρισμούς του George Bissell. Το πετρέλαιο για χιλιάδες χρόνια ήταν δυσεύρετο. Οι άνθρωποι το εύρισκαν όταν έβγαινε στην επιφάνεια (Μέση Ανατολή, Λιβύη) ή όταν διέρρεε σε πηγάδια νερού.

Στα 1854 ο Bissell και ένας φίλος του σχηματίζουν την ανεπιτυχή εταιρεία Pennsylvania Rock Oil Company. Χωρίς κανείς τους να απογοητευτεί, στα 1858 ο Bissell και μια ομάδα επιχειρηματιών σχηματίζουν την εταιρεία Seneca Oil Company. Προσλαμβάνουν επίσης έναν πρώην κατασκευαστή σιδηροδρόμων, ονόματι Edwin Drake να ανοίξει πηγάδι πετρελαίου στη πλαγιά ενός απόμερου χειμάρρου στο Titusville της Πενσυλβάνια των ΗΠΑ. Από το ίδιο μέρος ένας αλατωρύχος είχε στείλει ένα δείγμα - ουσία σε κάποιους καπιταλιστές στη Βοστώνη αλλά για αυτούς η μαύρη λάσπη ήταν απλώς ένας ρύπος. Ο "Συνταγματάρχης" Drake, όπως τον προσφωνούσαν τα αφεντικά του για να εντυπωσιάσουν τους ντόπιους, καλεί σε βοήθεια τον θείο Billy Smith και τους δυο γιους του οι οποίοι έχουν εμπειρία στο άνοιγμα πηγαδιών αλατιού. Στα 1859 συνεργείο βρίσκει πετρέλαιο σε βάθος μόλις 21 μέτρων.

Το πηγάδι του "Συνταγματάρχη" παράγει 35 βαρέλια την ημέρα και πουλάει προς 20 δολάρια το βαρέλι. Τα νέα του πηγαδιού γρήγορα εξαπλώνονται στη χώρα και караβάνια από τυχοδιώκτες κατακλύζουν την περιοχή. Η Πενσυλβάνια ζει τον δικό της πυρετό, αυτό του μαύρου χρυσού λίγα μόλις χρόνια μετά τον πυρετό του χρυσού στη Καλιφόρνια. Οι γύρω λόφοι έχουν καλυφθεί από επίδοξους εκατομμυριούχους οι οποίοι προσπαθούν να αποφασίσουν που να ανοίξουν το πηγάδι τους. Μερικοί χρησιμοποιούν "θεικές" ράβδους σε σχήμα Υ, άλλοι ακολουθούν το παράδειγμα του Drake και σκάβουν κοντά στο νερό, μια τεχνική που απέκτησε το παρατσούκλι "χειμαρρολογία". Πολλοί βρίσκουν πετρέλαιο αλλά σε βάθος 120 ή 150 μέτρων κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Ο Drake ήταν απλώς πολύ τυχερός να βρει πετρέλαιο τόσο ψηλά.

Για το άνοιγμα των πηγαδιών, χυτοσίδηροι σωλήνες 6 ιντσών βυθίζονταν στο έδαφος ενώ ένα τρυπάνι σαν βίδα έσκαβε και έβγαζε χώματα και πέτρες από το εσωτερικό του σωλήνα. Πολλοί ανακάλυπταν, προς απογοήτευσή τους, όταν χτυπούσαν τη φλέβα πετρελαίου δεν είχαν τρόπο να σταματήσουν τη διαρροή. Μέχρι να χρησιμοποιηθούν τάπες στα πηγάδια, τεράστιες ποσότητες πετρελαίου χύθηκαν στον παρακείμενο χείμαρρο, εξ' ου και το όνομα του Χείμαρρος Πετρελαίου (Oil Creek).

Οι νέοι παραγωγοί φωτιστικού λαδιού πωλούσαν κάθε σταγόνα που έβγαζαν από το έδαφος εκτός από το ελαφρύτερο και πηκτικότερο μέρος του πετρελαίου. Αυτό το μέρος του πετρελαίου δεν ήταν καλό για φωτισμό και για αρκετό χρονικό διάστημα ήταν απόρριμμα (Λυγερός Α.Ι., 1984).

9.2.0 ΠΡΩΤΟΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑΓΩΓΟΣ

Η μεταφορά του πετρελαίου ήταν επίσης ένα πρόβλημα. Το 1865 ο Samuel Van Syckel, ένας έμπορος πετρελαίου, άρχισε την κατασκευή αγωγού διατομής δύο ιντσών ο οποίος συνδεόταν με τον σιδηροδρομικό σταθμό μετεκφόρτωσης 10 χιλιόμετρα πιο μακριά. Οι φορτηγατζήδες όμως που μετέφεραν πριν το πετρέλαιο δεν είδαν με καλό μάτι τα σχέδια του Syckel και κατέστρεψαν τον αγωγό. Τελικά ο Van Syckel έφερε αρματωμένους φρουρούς, τελείωσε τον αγωγό και έφτιαξε μεγάλη περιουσία. Με το 1865 οι πετρελαιοπηγές παρήγαγαν 3.5 εκατομμύρια βαρέλια το χρόνο και η μαζική παραγωγή του πετρελαίου έσπρωξε τις τιμές στα 0.10 δολάρια το βαρέλι (Λυγερός Α.Ι., 1984).

9.2.1. Πόσο πετρέλαιο υπάρχει;

Ο Andrew Carnegie (ο γνωστός από το Carnegie Hall της Νέας Υόρκης) ήταν μεγαλομέτοχος στην Columbia Oil Company. Ο Carnegie πίστευε ότι τα κοιτάσματα πετρελαίου θα στέρευαν σύντομα λόγω της εντατικής εξόρυξης. Έπεισε μάλιστα (αποφάσισε) όπως η Columbia Oil σκάψει ένα μεγάλο λάκκο ικανό για 100,000 βαρέλια πετρελαίου ώστε να κάνει την καλή όταν τα πηγάδια της χώρας στερέψουν. Ατυχώς για αυτόν υπήρχε περισσότερο πετρέλαιο απ' ό,τι πίστεψε! Αλλά μη τον λυπάστε επειδή είχε μια ατυχία στη ζωή του! Συνέχισε και έκανε τα εκατομμύρια του στη χαλυβουργία.

Σε αντίθεση ο "Συνταγματάρχης" Drake αφοσιώθηκε στις επιχειρήσεις πετρελαίου. Έσκαψε τη χώρα ψάχνοντας για πελάτες που θα ήθελαν να αγοράσουν το αργό του πετρέλαιο. Η κακή μυρωδιά, το λασπώδες μαύρο χρώμα και η υψηλή πτητικότητα ενός συστατικού του που το ονόμαζαν νάφθα δεν βοήθησαν τις πωλήσεις. Ήταν φανερό ότι κάποιος έπρεπε να διυλίσει το αργό πετρέλαιο και να βρει την αγορά (Λυγερός Α.Ι., 1984).

9.2.2. Τα Πρώτα Διυλιστήρια Πετρελαίου

Το 1860 υπάρχουν 15 διυλιστήρια σε λειτουργία στις ΗΠΑ. Είναι γνωστά ως αποστακτήρες "τσαγιέρες" καθόσον αποτελούνται από ένα σιδερένιο δοχείο και ένα μακρύ σωλήνα που λειτουργεί σαν συμπυκνωτήρας (δανεική τεχνολογία από τους αποστακτήρες whisky). Η δυναμικότητα αυτών των αποστακτήρων κυμαίνεται μεταξύ 1 και 100 βαρέλια την ημέρα. Φωτιά με κάρβουνο θερμαίνει αυτά τα δοχεία και τρία κλάσματα πετρελαίου παράγονται. Το πρώτο που βράζει και είναι το ελαφρύτερο είναι η νάφθα. Μετά ακολουθεί η κεροζίνη ή "πετρέλαιο λάμπας" (φωτιστικό πετρέλαιο) και τελευταία το βαρύ πετρέλαιο και η πίσσα τα οποία μένουν ως κατάλοιπα στον πυθμένα του δοχείου. Αυτά τα πρώτα διυλιστήρια παράγουν περίπου 75% κεροζίνη που πωλείται με μεγάλο κέρδος.

Η έλλειψη φυσικών πηγών για τα μέσα φωτισμού επέφερε μεγάλη

ζήτηση σε κεροζίνη. Η νάφθα και τα κλάσματα πίσσας απλά ρίχνονταν στο χείμαρρο Oil Creek (η περιβαλλοντική συνείδηση ακόμα κοιμάται). Η λάσπη του "Συνταγματάρχη" τελικά "έσβησε" τη βιομηχανία της φάλαινας μέσα σε μια νύχτα.

Το 1869 ο Robert Chesebrough βρίσκει τον τρόπο πως να φτιάχνει ζελέ πετρελαίου (petroleum jelly) και ονομάζει το νέο του προϊόν Vaseline. Τα βαριά συστατικά του πετρελαίου αρχίζουν να χρησιμοποιούνται σαν λιπαντικά ή σαν κεριά για κεριά και σαν τσίχλα. Η πίσσα χρησιμοποιείται σαν μονωτικό στέγης. Τα πιο πτητικά συστατικά έχουν ακόμα μικρή αξία. Περιορισμένη χρήση βρίσκουν η βενζίνη σαν αναισθητικό και το υγραέριο (Liquid Petroleum Gas -LPG) στις μηχανές παγοποιίας. Η τεχνική της διύλισης πετρελαίου βρίσκει μεγάλη επιτυχία και το 1865 βρίσκει 194 διυλιστήρια να λειτουργούν στις ΗΠΑ.

Αργότερα το "σκουπίδι", η νάφθα μετατρέπεται σε χρήσιμα προϊόντα. Ποια είναι η κινητήρια δύναμη για αυτή την αξιοποίηση; Είναι κάτι που έχει μεσολαβήσει στην άλλη πλευρά του Ατλαντικού αυτή τη φορά. Κάτι που θα αλλάξει τον άνθρωπο και τις σχέσεις του με το περιβάλλον, τους συνανθρώπους του και αυτή τη σχέση με τον εαυτό του τον ίδιο και αυτό είναι η γέννηση της Αυτοκίνησης όπως θα δούμε παρακάτω. (Λυγερός Α.Ι., 1984).



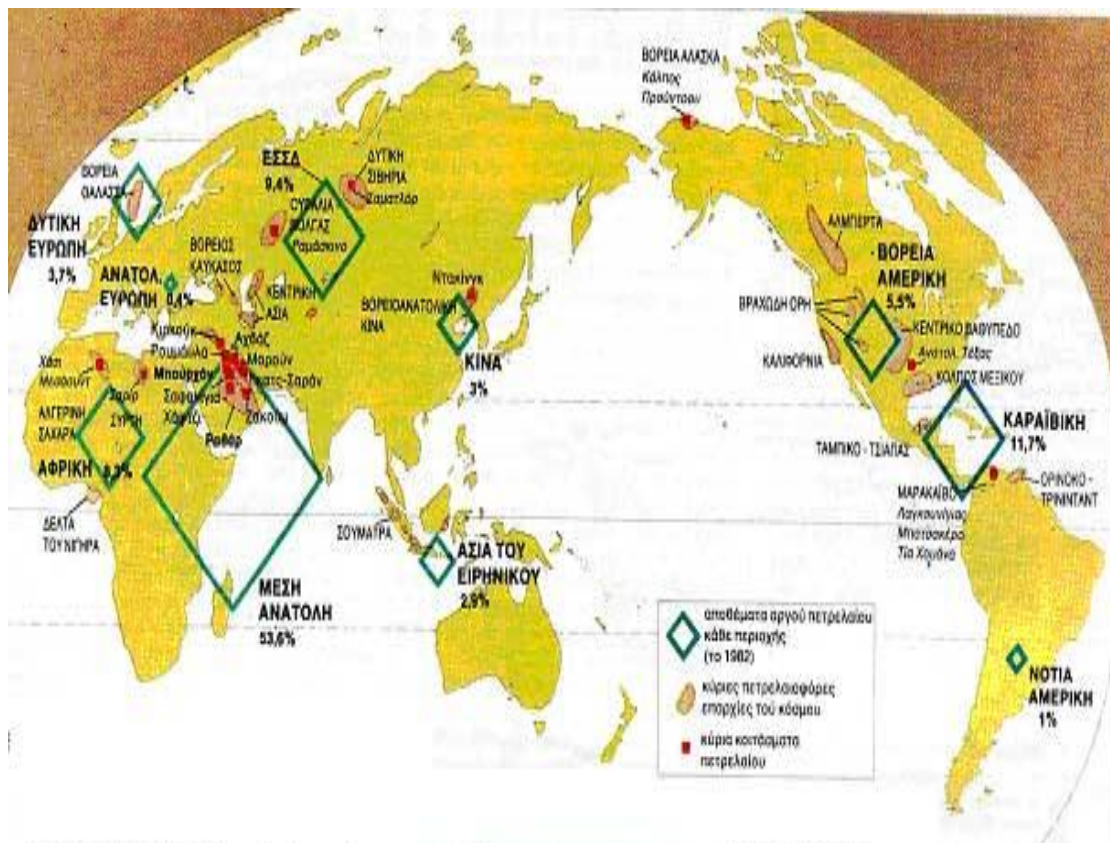
Εικόνα 9.2.2. Μια από τις πρώτες εγκαταστάσεις εξόρυξης

9.2.3. John D. Rockefeller

Το 1862 ο John D. Rockefeller χρηματοδοτεί το πρώτο του διυλιστήριο στις ΗΠΑ σαν μια δευτερεύουσα επένδυση. Γρήγορα όμως ανακάλυψε το δυναμικό της πετρελαϊκής βιομηχανίας. Παράλληλα είδε και την αστάθεια αυτής της βιομηχανίας. Ο καθένας μπορούσε να ανοίξει πηγάδι και η υπερπαραγωγή κατέκλυζε τη χώρα. Έφτασαν εποχές σε περίοδο υπερπαραγωγής πετρελαίου που το αργό πετρέλαιο ήταν φθηνότερο από το νερό! Ο Rockefeller από πολύ νωρίς κατάλαβε ότι

το κλειδί στον έλεγχο αυτής της βιομηχανίας ήταν η διύλιση και η μεταφορά του αργού πετρελαίου και όχι η παραγωγή του. Έναν έλεγχο που τελικά τον επέβαλλε καθ' ολοκληρία.

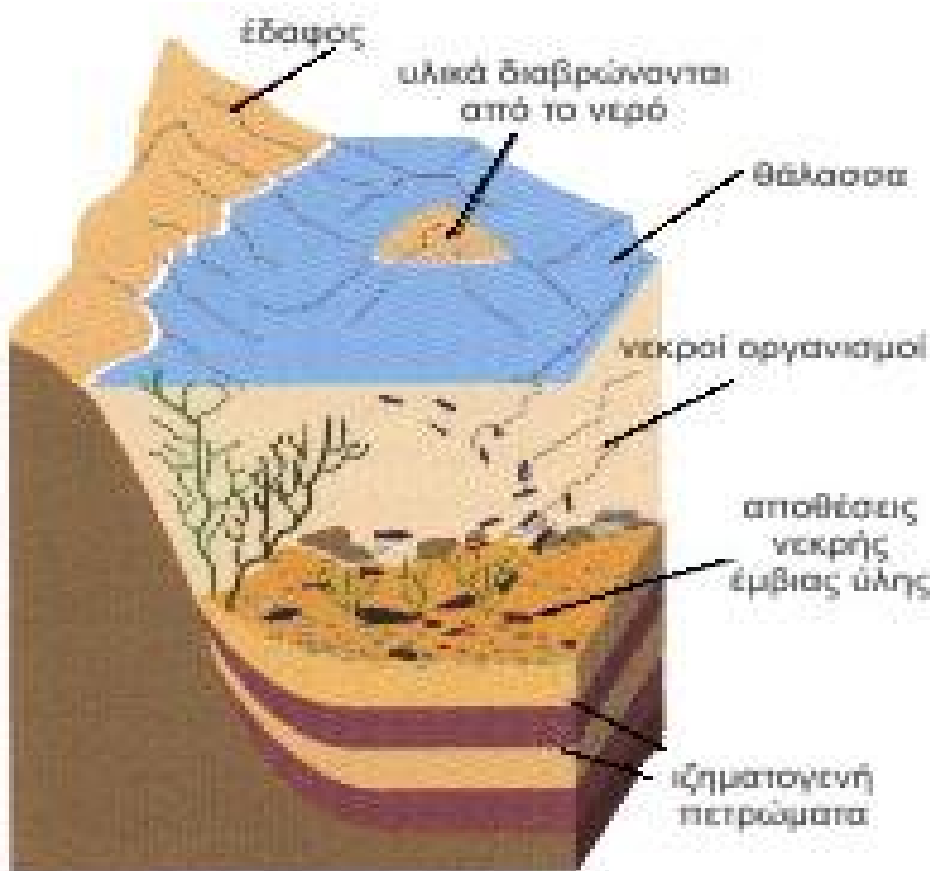
Στα 1870 ιδρύει την εταιρεία Standard Oil, η οποία τότε ήλεγχε το 10% της ικανότητας διύλισης πετρελαίου των ΗΠΑ. Τα μεταφορικά έξοδα συχνά αποτελούσαν το 20% του κόστους παραγωγής και ο Rockefeller έκανε συμφωνίες κάτω από το τραπέζι με τους σιδηροδρόμους να του δώσουν κρυφές επιστροφές χρημάτων για τα μεταφερόμενα αγαθά (μάλλον και σιδηρόδρομοι ήταν στο παιχνίδι). Αυτή η φθηνή μεταφορά προϊόντων έδωσε την ευκαιρία στην Standard Oil να "πατήσει" τον ανταγωνισμό και ο Rockefeller επεκτείνεται σθεναρά, εξαγοράζοντας τους ανταγωνιστές του αριστερά και δεξιά. Γρήγορα η Standard Oil κατασκευάζει ένα δίκτυο από σιδηρένιες "αρτηρίες" οι οποίες διοχετεύουν το πετρέλαιο στις ανατολικές πολιτείες των ΗΠΑ. Αυτό το σύστημα αγωγών αποτρέπει την εξάρτηση της Standard Oil από τους σιδηροδρόμους και ελαττώνει το μεταφορικό κόστος ακόμα περισσότερο. Στα 1880 η Standard Oil ελέγχει το 90% της ικανότητας διύλισης πετρελαίου της χώρας. Λόγω του τεραστίου μεγέθους της η Standard Oil μονοπωλεί την αγορά πετρελαίου εξασφαλίζοντας τη συνέχεια των κερδών της και ο John D. Rockefeller γίνεται ο πλουσιότερος άνθρωπος στον κόσμο (Λυγερός Α.Ι.,1984).



Εικόνα 9.2.3 Αποθέματα αργού πετρελαίου το 1902.

10.ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ

Περί της ερμηνείας της δημιουργίας του πετρελαίου υπάρχουν πολλές και μάλιστα αλληλοσυγκρουόμενες θεωρίες. Παλαιότερα παραδέχονταν οι χημικοί και γεωλόγοι ερευνητές του αντικειμένου ότι το πετρέλαιο σχηματίσθηκε από ανθρακομεταλλικές ενώσεις, τα λεγόμενα καρβίδια, όπως ακριβώς από το ανθρακαργίλιο που σχηματίζεται το μεθάνιο, από το ανθρακασβέστιο το ακετυλένιο, και από άλλα καρβίδια άλλοι κατώτεροι υδρογονάνθρακες όπως αυτοί που απαντώνται στο πετρέλαιο. Αν και η θεωρία αυτή ανάγει στη δημιουργία του πετρελαίου από ανόργανες πρώτες ύλες, είναι πράγματι ευφυής, παρά ταύτα σήμερα έχει σχεδόν τελείως εγκαταλειφθεί. Δύο από τους ισχυρότερους λόγους που αποτελούν τα επίμαχα και ισχυρά επιχειρήματα υπέρ της ακολουθούμενης σύγχρονης θεωρίας είναι η παρουσία αζωτούχων ενώσεων αφενός, και η εμφάνιση οπτικής στροφικής ικανότητας ορισμένων πετρελαίων αφετέρου. Η δεύτερη αυτή θεωρία, που είναι και γενικότερα παραδεκτή ανάγει την δημιουργία του πετρελαίου σε φυτικές και ζωϊκές πρώτες ύλες (www.inegsee.gr).



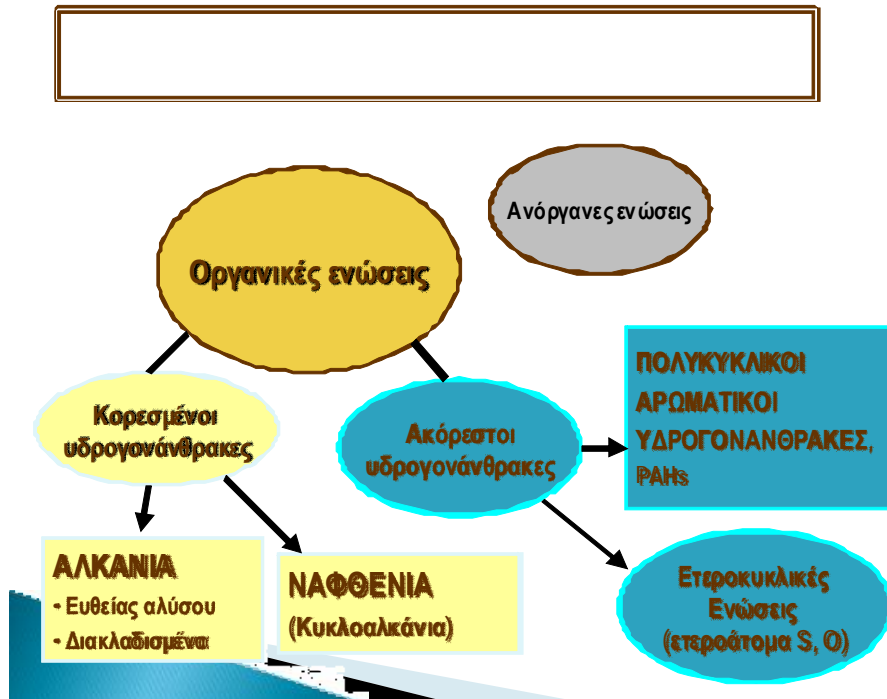
Εικόνα 10.1. Ο τρόπος δημιουργίας πετρελαίου

Ο Γεωλόγος Ποτονιέ ξεκίνησε να δέχεται πως το πετρέλαιο είναι προϊόν αποσύνθεσης ατελέστατων ζωικών και φυτικών οργανισμών που εγκλείστηκαν μέσα στα πετρώματα σε μεγάλο βάθος στη Γη. Οπαδοί αυτού δέχονται επίσης πως οι εν λόγω οργανισμοί ήταν κυρίως θαλάσσιοι (θαλασσόβιοι) ανάλογοι μ' εκείνους που αποτελούν το πλαγκτόν, όπου τα λείψανα αυτών παρασύρθηκαν από θαλάσσια ρεύματα και ανέμους και συγκεντρώθηκαν κατά μεγάλες ποσότητες στους πυθμένες θαλασσίων λεκανών (κόλπων, λιμνοθαλασσών κ.λπ). Οι λεκάνες δε αυτές στη συνέχεια από διάφορες αναστατώσεις της επιφάνειας της Γης αποκλείστηκαν και καταχώθηκαν. Έτσι εκ του αποκλεισμένου αυτού οργανικού υλικού προέκυψε εξ αποσύνθεσης, υπό την επίδραση αναεροβίων βακτηρίων, το πετρέλαιο.

Η θεωρία αυτή βασίστηκε επίσης στο γεγονός ότι στα διάφορα πετρέλαια βρέθηκαν επίσης ίχνη χλωροφύλλης και αιμίνης. Η ύπαρξη των ενώσεων αυτών αποδεικνύει αφενός τη φυτική και ζωική προέλευση, αφετέρου ότι η δημιουργία αυτή έγινε κάτω από ήπια βιολογική δράση, δεδομένου ότι οι ενώσεις αυτές αποσυντίθενται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 250 βαθμών. Η θεωρία δε αυτή ενισχύεται ακόμη περισσότερο και από το γεγονός ότι τα πετρέλαια σήμερα εντοπίζονται πάντα σε τυπικά ιζηματογενή πετρώματα που συνοδεύονται και από αλμυρό νερό (www.inegsee.gr).

10.1.ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ

Τα κύρια συστατικά του πετρελαίου είναι οι τρεις ομάδες υδρογονανθράκων, δηλαδή α) οι κεκορεσμένοι με δομή απλής αλυσίδας του τύπου C_nH_{2n+2} , β) οι ναφθένες με δομή κορεσμένου κλειστού δακτυλίου της πολυμεθυλενικής σειράς C_nH_{2n} γ) οι αρωματικοί ακόρεστοι υδρογονάνθρακες με δομή κλειστού δακτυλίου του τύπου C_nH_{2n} . Εκτός απ' αυτά το πετρέλαιο περιέχει σε μικρές ποσότητες οξυγόνο, σε μορφή ιδίως ναφθενικών οξέων, άζωτο ενωμένο σε διάφορες βάσεις και θείο που βρίσκεται είτε σε ελεύθερη μορφή, είτε σαν συστατικό οργανικών ενώσεων. Στα περισσότερα πετρέλαια υπάρχει επίσης και χλωριούχο νάτριο. Τα περισσότερα πετρέλαια είναι μίγματα παραφινέλαιων, ναφθέλαιων και αρωματικών σε διαφορετικές αναλογίες και κανένα πετρέλαιο δεν έχει την ίδια σύσταση με άλλο, αν προέρχονται από διαφορετικά κοιτάσματα. Οι πιο κοινοί υδρογονάνθρακες τόσο στο αργό πετρέλαιο όσο και στο φυσικό αέριο είναι οι παραφίνες. Το αργό πετρέλαιο μπορεί επίσης να περιέχει και μικρές ποσότητες από ανθεκτικά στην αποσύνθεση οργανικά υπολείμματα, όπως κομμάτια ξύλου, ρητίνες, γαιάνθρακες και λιγνίτες, καθώς και πολλά άλλα υπολείμματα πρωτόγονων μορφών ζωής (www.inegsee.gr).



Σχήμα 10.1. Χημική σύσταση πετρελαίου

10.2. ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Συνήθως ως πετρέλαιο εννοούμε τα υγρά αποθέματα που περιλαμβάνουν το αργό πετρέλαιο, αέρια (φυσικά αέρια) και στερεά (άσφαλτο ή πίσσα).

Είναι γενικά αποδεκτό ότι το πετρέλαιο δημιουργήθηκε με την αποσύνθεση θαλασσιών, κυρίως, ζώων και φυτών, που θάφτηκαν κάτω από διαδοχικές στιβάδες λάσπης, πριν από 400-500 εκατομμύρια χρόνια. Η αρχική προϋπόθεση για μια τέτοια γένεση πετρελαίου είναι μια ρηχή θάλασσα με νερά πλούσια σε ζώα και φυτά, από μικροσκοπικά μέχρι μεγάλα. Η δεύτερη προϋπόθεση είναι ότι πεθαίνοντας οι οργανισμοί, βουλιάζουν στο βυθό και θάβονται σε λάσπη. Το οξυγόνο στο βυθό πρέπει να είναι περιορισμένο ώστε η αποσύνθεση των οργανισμών να είναι αργή. Με το πέρασμα του χρόνου, λάσπη και πηλός, κάθονται πάνω σ' αυτές τις αποθέσεις, δημιουργώντας τεράστιες πιέσεις. Κάτω απ' αυτές τις συνθήκες, χημικές διεργασίες μετατρέπουν τους οργανισμούς σε πετρέλαιο και αέριο.

Το πετρέλαιο είναι υγρό ελαιώδες ή παχύρρευστο, με καστανό χρώμα, χαρακτηριστική δυσάρεστη οσμή, αδιάλυτο στο νερό και ελαφρότερο απ' αυτό. Έχει πυκνότητα από 0,73gr/cm³ μέχρι 1,04gr/cm³ και η θερμαντική ικανότητά του φτάνει σε 10.400kcal/gr -11.000kcal/gr. Αποτελείται από υδρογονάνθρακες (ενώσεις άνθρακα και υδρογόνου που σε κανονικές θερμοκρασίες και πιέσεις μπορεί να είναι αέριες, υγρές ή στερεές, ανάλογα με την πολυπλοκότητα των μορίων τους) που βρίσκονται συγκεντρωμένοι σε διάφορα βάθη, κάτω από το έδαφος ή τη θάλασσα. Επειδή το πετρέλαιο βρίσκεται πάντα σε θερμοκρασία ανώτερη από το σημείο ζέσης μερικών συστατικών του είναι αδύνατος ο καθορισμός ενός σημείο ζέσης, κοινού για όλα τα συστατικά του αργού πετρελαίου. Για τον ίδιο λόγο είναι αδύνατο να μιλήσουμε και για σημείο πήξης, αφού τα διάφορα συστατικά του στερεοποιούνται σε

11.ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΕΞΟΡΥΞΗ

11.1.ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ

Η παρουσία πετρελαϊκού κοιτάσματος στο υπέδαφος δεν αποκαλύπτει πάντοτε και επιφανειακές ενδείξεις. Συνεπώς η ανακάλυψη τέτοιων κοιτασμάτων μπορεί να γίνει τελείως συμπτωματικά. Τέτοια περίπτωση ήταν στην Αργεντινή το 1908 όταν σε γεώτρηση για πόσιμο νερό ανακαλύφθηκε πετρέλαιο. Επιφανειακές ενδείξεις πάντως μπορεί να θεωρηθούν οι ακόλουθες: Εκτεταμένη γυμνή όψη επιφάνειας όπου δεν παρατηρείται βλάστηση και ύπαρξη πηγών αλμυρών ή θειούχων θερμών υδάτων.

Παρατηρούμενα εξερχόμενα αέρια από το υπέδαφος, συχνά αποτελούν σοβαρή εξωτερική εκδήλωση πετρελαϊκού κοιτάσματος. Επίσης τα ιλυώδη ή βορβορώδη ηφαιστεια βρίσκονται κοντά σε τέτοια κοιτάσματα, όπως στην περίπτωση του Καυκάσου.

Αναβλύσεις πετρελαίου ή πίσσας αποτελούν την κυριότερη επιφανειακή εκδήλωση ύπαρξης κοιτάσματος. Είναι, όμως, αδύνατον με μόνον αυτή την παρατήρηση να εξαχθούν συμπεράσματα επί της οικονομικής εκμετάλλευσης του τυχόν υπάρχοντος κοιτάσματος

Η αναζήτηση κοιτασμάτων πετρελαίου απαιτεί ειδικές γεωλογικές και γεωφυσικές μελέτες, οι οποίες εντοπίζουν περιοχές με μεγάλη πιθανότητα παρουσίας πετρελαιοφόρου κοιτάσματος. Η πιθανότητα βέβαια να βρεθεί πετρέλαιο μετά από γεώτρηση είναι 1 προς 10. Η έρευνα για πετρέλαιο διενεργείται σε δύο φάσεις: η πρώτη αποτελείται από τις γεωλογικές και γεωφυσικές μελέτες και η δεύτερη περιλαμβάνει μία ή περισσότερες ερευνητικές γεωτρήσεις.

Το πετρέλαιο και τα αέρια μπορούν να συγκεντρωθούν σε κοιτάσματα αν υπάρχουν ορισμένες γεωλογικές συνθήκες.

- 1) Η παρουσία ενός βράχου που χρησιμεύει ως αποθήκη και έχει πόρους συνδεδεμένους μεταξύ τους ή ρωγμές και κενά.
- 2) Η παρουσία πάνω από τη βραχο-σχηματισμού αδιάβροχου (που συχνά λέγεται καπέλο)
- 3) Η ύπαρξη ενός «κλεισίματος», δηλαδή ενός γεωλογικού σχηματισμού που εμποδίζει τη διαφυγή υγρών και αερίων.

Συνήθως τα αποθέματα βρίσκονται σε αντίκλινα ή σε σημεία όπου π.χ. εξαιτίας μιας καθίζησης υπάρχει ασυνέχεια στα πετρώματα.

Η έρευνα για την ανακάλυψη του πετρελαίου περιλαμβάνει : α) φωτογράφιση του χώρου, όπου φαίνονται καθαρά οι πιθανές τοποθεσίες για γεώτρηση, β) γεωλογική έρευνα, οπότε γίνεται χαρτογράφηση των πετρωμάτων και γ) γεωφυσική έρευνα. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η σεισμική, η σταθμική, η μαγνητική, η ηλεκτρική κ.α.

Η πιο γνωστή και η πιο χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η σεισμική. Η σεισμική μελέτη ενός πεδίου γίνεται με μια σειρά μικρών εκρήξεων, κοντά στην

επιφάνεια του εδάφους. Σεισμόμετρα καταγράφουν τα κύματα που φτάνουν σ' αυτά με ανάκλαση, πάνω σε ορισμένα πετρώματα. Με βάση το χρόνο που έκαναν τα κύματα να διανύσουν τις αποστάσεις και τις διαφορετικές ταχύτητες με τις οποίες διαπερνούν στρώματα με διαφορετική πυκνότητα, γίνεται χαρτογράφηση του υπεδάφους.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τους ερευνητές παρουσιάζουν οι περιθωριακές ημίκλειστες θάλασσες, όπως η Βόρεια Θάλασσα, ο Περσικός κόλπος, η Θάλασσα της Ιρλανδίας, ο Κόλπος του Χάντσον, ο Κόλπος του Αγίου Λαυρεντίου, ο Εύξεινος Πόντος, η Κασπία, η ερυθρά Θάλασσα, η Αδριατική και η Θάλασσα των Βαλεαρίδων. Όλες αυτές οι θάλασσες παρουσιάζουν κατάλληλες ιζηματοδομές για την παγίδευση του πετρελαίου και έχουν σχετικά μικρά βάθη. Η περιορισμένη τους τοπογραφία ευνοεί τη συγκέντρωση και διατήρηση του οργανικού υλικού των πετρελαίων και αναμένεται η παρουσία ευνοϊκών δομών αποθήκευσης. Τα περιβάλλοντα είναι επίσης ευνοϊκά για απόθεση εβαπορίτων και σε μερικές από αυτές έχουν ήδη χαρτογραφηθεί διαπυρικές δομές αλατιού και αργιλικών σχιστόλιθων, ενώ και άλλες περιθωριακές λεκάνες χαρακτηρίζονται από την συνέχιση των πτυχώσεων των γειτονικών χέρσων.

Το σκηνικό λοιπόν της έρευνας για πετρέλαιο μεταφέρεται στα υποθαλάσσια ηπειρωτικά περιθώρια και στις εσωτερικές θάλασσες που αναμένεται να δώσουν μεγάλο αριθμό νέων παραγωγικών πετρελαιοφόρων περιοχών τα επόμενα χρόνια (www.neo.gr).

11.2.ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΥΡΕΣΗΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

Ανεξάρτητα όμως των παραπάνω ενδείξεων οι γεωλόγοι ερευνητές αναγκάζονται ν' ακολουθήσουν διάφορες μεθόδους ικανές προς εξαγωγή σαφέστερων συμπερασμάτων, όπως τη σεισμική, την ηλεκτρική, τη σταθμική, τη ραδιενεργή μέθοδο, καθώς και τους δύο τρόπους γεώτρησης, τύπου "κέιμπ τουλ" και η τύπου "ρόταρυ". Στην πράξη, σπάνια χρησιμοποιείται μία μοναδική μέθοδος. Συνήθως χρησιμοποιείται, ανάλογα με την θέση έρευνας, συνδυασμός περισσότερων της μιας μεθόδων.

Σεισμική μέθοδος. Αυτή η μέθοδος βασίζεται κυρίως στην ταχύτητα μετάδοσης των δονήσεων ενός τεχνητού σεισμού, ο οποίος προκαλείται, συνήθως, με χρήση κατάλληλων εκρηκτικών. Πραγματοποιείται με δύο τρόπους: είτε της διάθλασης είτε της ανάκλασης των σεισμικών κυμάτων και, βεβαίως, με αντίστοιχα σεισμικά όργανα, δεδομένου ότι τα σεισμικά κύματα δεν διέρχονται εξολοκλήρου από υγρά. Η μέθοδος αυτή έχει το μειονέκτημα ότι αντί πετρελαϊκού κοιτάσματος μπορεί να εντοπίσει μεγάλες ποσότητες υπόγειων υδάτων.

Ηλεκτρική μέθοδος. Αυτή η μέθοδος βασίζεται κυρίως στο γεγονός ότι ο φλοιός της Γης έχει ορισμένες ηλεκτρικές σταθερές, μία εκ των οποίων είναι και η αντίσταση διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος. Έτσι, με δεδομένο ότι το πετρέλαιο δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού, η ένδειξη μεγαλύτερης σχετικής αντίστασης μπορεί να θεωρηθεί ένδειξη παρουσίας πετρελαϊκού κοιτάσματος.

Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος. Αυτή βασίζεται σε ευαίσθητα όργανα, τα καλούμενα μαγνητόμετρα, που μπορούν να μετρήσουν με σχετικά μεγάλη ακρίβεια την ένταση του μαγνητικού πεδίου της Γης από τόπο σε τόπο.

Σταθμική ή βαρυτομετρική μέθοδος. Αυτή βασίζεται στην μέτρηση της έντασης του πεδίου βαρύτητας στα διάφορα σημεία της επιφάνειας της Γης.

Ραδιενεργή μέθοδος. Η μέθοδος αυτή κρίνεται πολύ αξιόπιστη και εφαρμόζεται με επιτυχία σε τοποθεσίες με ήπιο ανάγλυφο.

Γενικά, όμως, θα πρέπει να σημειωθεί ότι, παρά την επικρατούσα άποψη, το πετρέλαιο δεν είναι και τόσο σπάνιο πέτρωμα, αφού δεν υφίσταται, σχεδόν, καμία χώρα που να μην έχει ίχνη πετρελαίου ή ασφάλτου ή φυσικά γήινα αέρια, πλην όμως η δυνατότητα εκμετάλλευσης αυτών είναι που το προσδιορίζει ως σπάνιο (υφιστάμενη ποσότητα και κόστος εξόρυξης) (www.neo.gr).

11.3. ΔΙΥΛΙΣΗ

Σ' ένα σύγχρονο διυλιστήριο πετρελαίου γίνεται ένα μεγάλο πλήθος διεργασιών που στόχο έχουν να μεγιστοποιήσουν την παραγωγή καυσίμων και πρώτων υλών με τον πλέον οικονομικό τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη την εκάστοτε νομοθεσία, είτε για βελτιωμένα καύσιμα, είτε για την προστασία του περιβάλλοντος.

Στις αποστακτικές στήλες (distillation column, still) του αργού πετρελαίου γίνονται οι κυριότερες διεργασίες σ' ένα διυλιστήριο. Οι στήλες αυτές χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό του αργού πετρελαίου σε κλάσματα ανάλογα του σημείου βρασμού τους, ώστε οι διεργασίες που ακολουθούν να έχουν τροφοδοσία που να ικανοποιεί τις ιδιαίτερες προδιαγραφές της περαιτέρω διεργασίας.

Απόδοση και οικονομία επιτυγχάνονται αν η απόσταξη του αργού πετρελαίου γίνει σε δύο στάδια. Πρώτα η απόσταξη του συνόλου του αργού πετρελαίου γίνεται πρακτικά σε ατμοσφαιρική πίεση και έπειτα, το κλάσμα πυθμένος της ατμοσφαιρικής στήλης - ρεύμα με υψηλό σημείο βρασμού, τροφοδοτεί μια δεύτερη στήλη που λειτουργεί σε υψηλό κενό (χαμηλή πίεση).

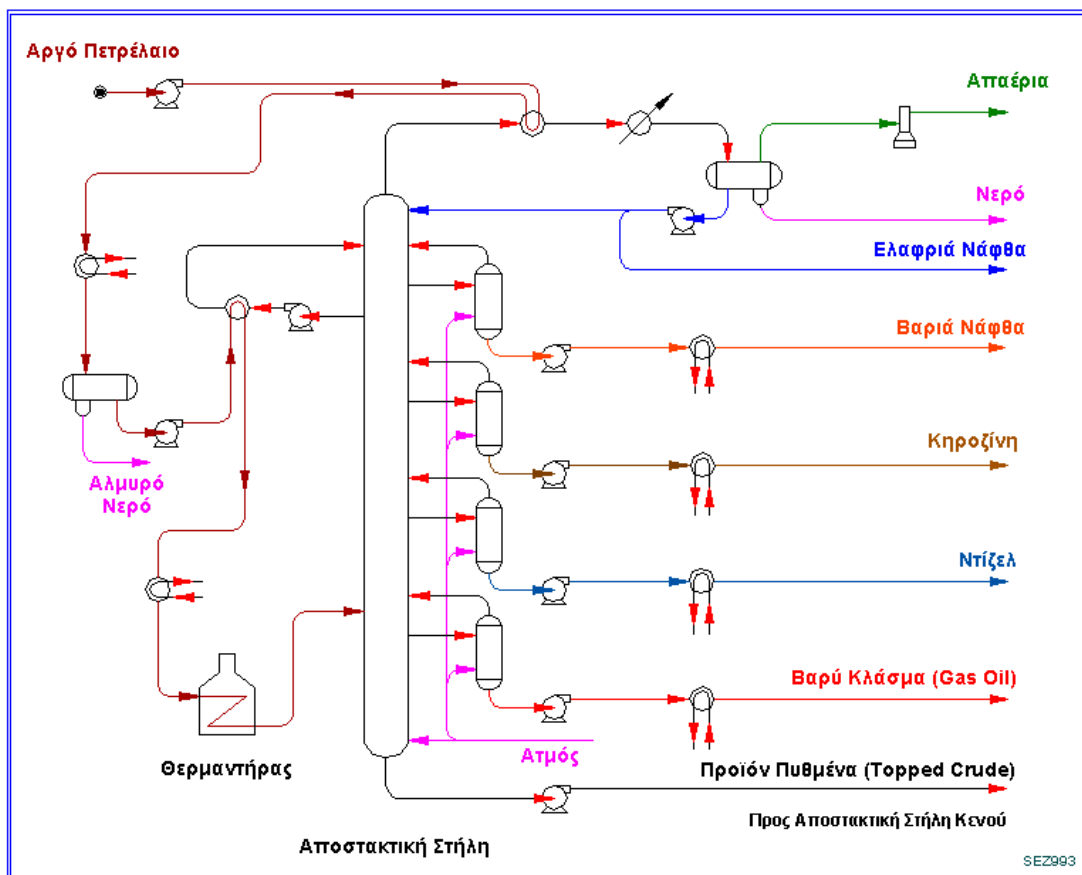
Η στήλη κενού απαιτείται διότι ο θερμικός διαχωρισμός των βαρέων κλασμάτων σε ατμοσφαιρική πίεση απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες όπου γίνεται παράλληλα και θερμική διάσπαση των κλασμάτων αυτών με αποτέλεσμα την υποβάθμιση των προϊόντων, απώλεια υδρογονανθράκων και απόθεση "μάκας" στον εξοπλισμό λόγω σχηματισμού κωκ. Ως γνωστόν, η θερμοκρασία βρασμού (σημείο βρασμού) ελαττώνεται με την ελάττωση της (συνολικής ή μερικής) πίεσης. Έτσι τα βαρύτερα κλάσματα στη στήλη κενού, βράζουν σε μικρότερη θερμοκρασία και αποφεύγεται η θερμική τους διάσπαση. Όμοια δράση έχει, όπως θα δούμε, και η προσθήκη ατμού στη στήλη (www.teikoz.gr).

11.3.1. Προθέρμανση αργού πετρελαίου

Το αργό πετρέλαιο πριν εισέλθει στην ατμοσφαιρική στήλη προθερμαίνεται σε μια σειρά από εναλλάκτες θερμότητας στους 550 °F περίπου με θερμική εναλλαγή με τα προϊόντα και τα ρεύματα επαναρροής της στήλης. Έπειτα, το αργό πετρέλαιο θερμαίνεται σε φούρνο/κλίβανο (direct-fire-furnace) στους 650 - 750 °F και στη συνέχεια τροφοδοτεί την ατμοσφαιρική στήλη. Η θερμοκρασία εξόδου του αργού πετρελαίου από τον φούρνο είναι αρκετά υψηλή ώστε να έχουν ατμοποιηθεί όλα τα προϊόντα που αφαιρούνται πάνω από το δίσκο τροφοδοσίας και ένα 10-20% επιπλέον από τα προϊόντα πυθμένος. Αυτό το 10-20% "επιπλέον" επιτρέπει την κλασμάτωση ακριβώς πάνω από το δίσκο της τροφοδοσίας και να παρέχει

εσωτερική επαναροή σε περίσσεια των πλευρικών ρευμάτων που αφαιρούνται.

Είναι σκόπιμο να τοποθετηθεί ένα δοχείο διαχωρισμού (flash drum) μεταξύ των εναλλακτών θερμότητας προθέρμανσης και του φούρνου θέρμανσης. Τα κλάσματα χαμηλού σημείου βρασμού που ατμοποιούνται με την προθέρμανση στους εναλλάκτες διαχωρίζονται στο δοχείο διαχωρισμού και οδηγούνται κατ' ευθείαν στο δίσκο τροφοδοσίας της ατμοσφαιρικής στήλης. Το υγρό ρεύμα από το δοχείο διαχωρισμού αντλείται μέσω του φούρνου στην αποστακτική στήλη. Έτσι απαιτούνται μικρότεροι και φθηνότεροι φούρνοι για τη θέρμανση της τροφοδοσίας της ατμοσφαιρικής στήλης. (www.teikoz.gr).



Σχήμα 11.3.1. Διαδικασία διύλισης

11.3.2. Ατμοσφαιρική Στήλη Αργού Πετρελαίου

Η επαναροή της στήλης επιτυγχάνεται με την συμπύκνωση των ατμών της κορυφής (overhead vapor) και με την επιστροφή τμήματος του υγρού ρεύματος στην κορυφή της στήλης. Πλάγια υγρά ρεύματα αφαιρούνται από τη στήλη. Αυτά τα ρεύματα είναι πλούσια σε συστατικά χαμηλού σημείου βρασμού. Αυτά τα "ελαφρά" (light ends) απογυμνώνονται σε μικρές στήλες (side strippers) με 4 έως 10 δίσκους με ατμό που εισάγεται κάτω από τον δίσκο πυθμένος. Ο ατμός και τα "ελαφρά" επανεισάγονται στην ατμοσφαιρική στήλη σε μια θέση πάνω από το σημείο λήψης

του υγρού ρεύματος.

Κάθε ένα από τα πλευρικά ρεύματα προϊόντων ελαττώνει την επαναρροή κάτω από το σημείο της υγρής λήψης. Μέγιστη επαναρροή και κλασμάτωση επιτυγχάνεται με την ολική αφαίρεση της θερμότητας (πλήρης συμπύκνωση) στην κορυφή της στήλης. Αυτό όμως οδηγεί σε "κωνικού τύπου" υγρή φόρτωση της στήλης που απαιτεί πολύ μεγάλη διάμετρο στήλης στην κορυφή. Για να ελαττωθεί η διάμετρος στην κορυφή της στήλης και η υγρή φόρτωση καθ' ύψος της στήλης χρησιμοποιούνται πλάγια ρεύματα επαναρροής για αφαίρεση θερμότητας και δημιουργία ικανοποιητικής επαναρροής κάτω από τα σημεία υγρής λήψης των απογυμνωτών. Έτσι υγρό ρεύμα αφαιρείται από τη στήλη, ψύχεται σε εναλλάκτη θερμότητας και επιστρέφει στη στήλη. Αυτό το ψυχρό ρεύμα υγροποιεί περισσότερους ατμούς τώρα και αυξάνει την επαναρροή στη στήλη κάτω από το σημείο της επιστροφής του σ' αυτήν. Επίσης αυξάνει και η ενεργειακή απόδοση της στήλης με αυτές τις βοηθητικές επαναρροές (rump-around). Αν η ικανοποιητική επαναρροή παραγόταν στην κορυφή της στήλης, όλη η θερμότητα θα έπρεπε να εξαχθεί στο σημείο φυσαλίδας (bubble-point) του προϊόντος κορυφής (overhead vapor). Με τις βοηθητικές επαναρροές σε χαμηλότερα σημεία της στήλης, οι θερμοκρασίες εναλλαγής είναι υψηλότερες και ένα μεγαλύτερο κλάσμα της θερμικής ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

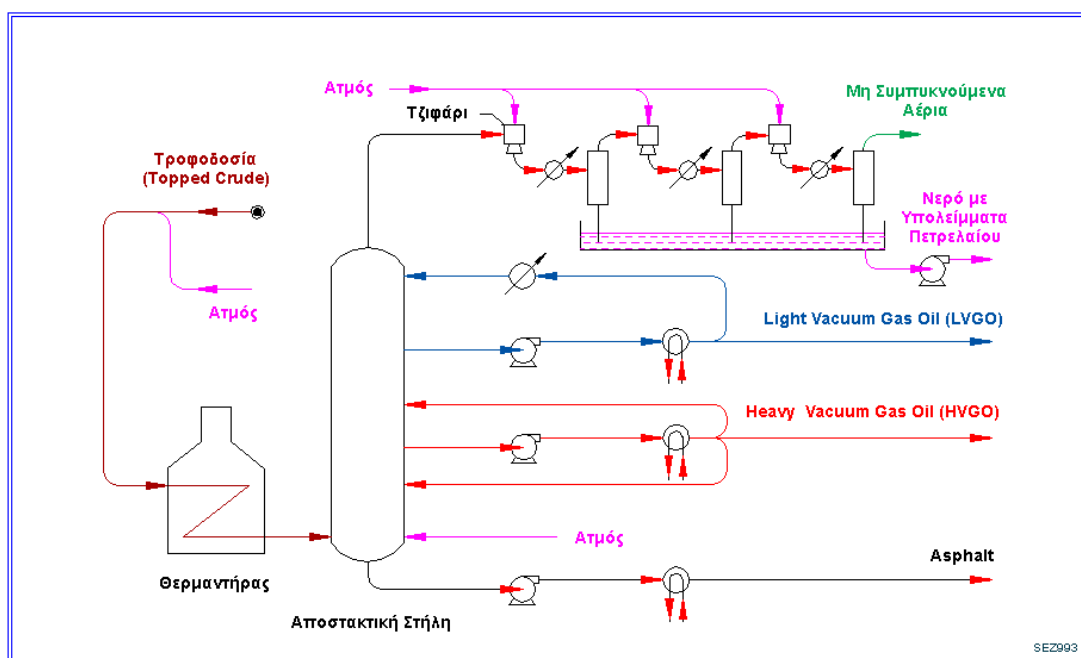
Συνήθως οι ατμοσφαιρικές στήλες αργού πετρελαίου δεν χρησιμοποιούν αναβραστήρα (rectifying column), λειτουργούν δηλαδή σαν πύργοι απορρόφησης με συμπυκνωτήρα (refluxed absorber). Αντί αναβραστήρα λοιπόν, προστίθενται μερικοί δίσκοι κάτω από το δίσκο τροφοδοσίας και ατμός εισέρχεται κάτω από τον τελευταίο δίσκο. Οι ατμοσφαιρικές στήλες περιέχουν 30 έως 50 δίσκους, ενώ ένας απογυμνωτής (side-stripper) 4 έως 10 δίσκους. Στον συμπυκνωτήρα της κορυφής της στήλης υγροποιούνται το πεντάνιο και τα βαρύτερα. Αυτή είναι η "ελαφριά" βενζίνη (LSR gasoline) και περιέχει προπάνιο και βουτάνια. Αυτό το ρεύμα τροφοδοτεί ένα σταθεροποιητή (stabilizer column) στο τμήμα επεξεργασίας αερίων (gas plant) του διυλιστηρίου, όπου αφαιρούνται βουτάνια και προπάνιο από την "ελαφριά" βενζίνη (LSR-Light Straight Run) (www.teikoz.gr).

11.3.3. Στήλη Κενού Αργού Πετρελαίου

Όπως είδαμε, λόγω της θερμικής διάσπασης της τροφοδοσίας σε υψηλή θερμοκρασία χρησιμοποιείται αποστακτική στήλη σε κενό. 25 με 40 mmHg είναι η πίεση λειτουργίας της στήλης κενού. Με την εισαγωγή ατμού η πίεση ελαττώνεται ακόμα περισσότερο 10 mmHg ή ακόμα χαμηλότερα και έτσι διευκολύνεται η ατμοποίηση της τροφοδοσίας. Η εισαγωγή του ατμού στην είσοδο του φούρνου θέρμανσης της τροφοδοσίας της στήλης κενού, αυξάνει την ταχύτητα της τροφοδοσίας στους αυλούς του φούρνου και έτσι ελαχιστοποιείται η απόθεση κωκ στο φούρνο. Τυπική αναλογία προστιθέμενου ατμού είναι 10 έως 50 lb/bbl τροφοδοσίας, ενώ τυπική θερμοκρασία εξόδου από το φούρνο είναι 730 - 850 °F. Η πτώση πίεσης στις γραμμές της κορυφής της στήλης, στον συμπυκνωτήρα και σ' όλον τον εξοπλισμό μεταξύ εξοπλισμού δημιουργίας κενού και στήλης είναι ένας καθοριστικός παράγοντας κόστους. Η ελάχιστη πτώση πίεσης οδηγεί και σε σημαντική ελάττωση του λειτουργικού κόστους της στήλης.

Η ελαττωμένη πίεση οδηγεί όμως σε αυξημένες ογκομετρικές ροές των ατμών στη στήλη και κατά συνέπεια απαιτεί διάμετρο στήλης πολύ μεγαλύτερη από αυτήν

της ατμοσφαιρικής στήλης. Έχουν κατασκευαστεί και στήλες κενού με διάμετρο 12 m. Η λειτουργική πίεση επιτυγχάνεται με εκβολείς ατμού ("τζιφάρια") και ατμοσφαιρικούς συμπυκνωτές ή αντλίες κενού και επιφανειακούς συμπυκνωτές. Ο αριθμός των βαθμίδων και το μέγεθος των εκβολέων καθορίζουν την τελική πίεση και την ποιότητα των ατμών. Για στήλες σε 25 mmHg, τρεις εκβολείς αρκούν. Η πρώτη βαθμίδα συμπυκνώνει τον ατμό και συμπιέζει τα μη συμπυκνωμένα αέρια. Η δεύτερη και η τρίτη βαθμίδα απομακρύνουν τα μη συμπυκνούμενα αέρια από τους συμπυκνωτές. Το κενό όμως που επιτυγχάνεται περιορίζεται από την μερική πίεση των υδρατμών στους συμπυκνωτήρες. Όσο πιο ψυχρό είναι το νερό ψύξης στους συμπυκνωτήρες, τόσο χαμηλότερη είναι και η πίεση της στήλης. Τελευταία επιδιώκεται η χρήση αντλιών κενού με επιφανειακούς συμπυκνωτήρες, ώστε να ελαχιστοποιείται η ρύπανση του νερού με τα παράγωγα του πετρελαίου (www.teikoz.gr).



Σχήμα 11.3.3. Διαδικασία διύλισης

11.3.4.Η διαδικασία διύλισης

Ένα βαρέλι ακατέργαστου πετρελαίου περιέχει μίγμα όλων των ειδών υδρογονανθράκων σε αυτό. Με τη διύλιση το πετρέλαιο χωρίζεται σε όλες τις χρήσιμες ουσίες. Οι χημικοί χρησιμοποιούν τα ακόλουθα βήματα: Ο παλαιότερος και πιο κοινός τρόπος να χωριστεί στα διάφορα συστατικά (αποκαλούμενα μέρη), είναι να γίνει αξιοποιώντας τις διαφορετικές θερμοκρασίες βρασμού των συστατικών. Αυτή η διαδικασία καλείται κλασματική απόσταξη. Θερμαίνεται αρχικά το ακατέργαστο πετρέλαιο, αφήνεται να βγάλει ατμό και έπειτα ο ατμός συμπυκνώνεται.

Οι νεώτερες τεχνικές χρησιμοποιούν τη χημική επεξεργασία σε μερικά από τα μέρη για να κάνουν άλλα μέρη, σε μια διαδικασία αποκαλούμενη μετατροπή. Η χημική επεξεργασία, παραδείγματος χάριν, μπορεί να σπάσει τις μακρύτερες χημικές αλυσίδες σε πιο μικρές. Αυτό επιτρέπει στα διυλιστήρια να μετατρέψουν τα καύσιμα

diesel σε βενζίνη ανάλογα με την απαίτηση για βενζίνη.

Τα διυλιστήρια πρέπει να επεξεργαστούν τα μέρη για να αφαιρέσουν τις προσμίξεις. Τα διυλιστήρια αναμιγνύουν τα διάφορα μέρη (επεξεργασμένα, μη επεξεργασμένα) για να κάνουν τα επιθυμητά προϊόντα. Παραδείγματος χάριν, διαφορετικά μίγματα αλυσίδων δημιουργούν βενζίνη με διαφορετικές τιμές οκτανίου (www.teikoz.gr).



Σχήμα 11.3.4. Κλάσματα διύλισης

11.4. ΚΛΑΣΜΑΤΑ ΔΙΥΛΙΣΗΣ

11.4.1. Βενζίνη

Η βενζίνη είναι το σημαντικότερο κλάσμα της διύλισης του πετρελαίου. Από χημικής σκοπιάς η βενζίνη είναι μίγμα υδρογονανθράκων με 5 έως 12 άτομα άνθρακα στο μόριό τους. Οι μέσες τιμές των ιδιοτήτων της βενζίνης πλησιάζουν αυτές του οκτανίου. Λόγω, της ευρύτατης χρήσης της βενζίνης, η βενζίνη που παράγεται με κλασματική απόσταξη δεν φτάνει για την κάλυψη των αναγκών της αγοράς. Έτσι οδηγηθήκαμε στην παραγωγή βενζίνης από ανώτερα κλάσματα πετρελαίου.

Τα ανώτερα κλάσματα πετρελαίου υποβάλλονται σε μια κατεργασία που

ονομάζεται πυρόλυση. Θερμαίνεται το ανώτερο κλάσμα του πετρελαίου παρουσία καταλυτών (Al_2O_3 και SiO_2) οπότε διασπάται σε υδρογονάνθρακες με λιγότερα άτομα άνθρακα. Παράδειγμα το δεκατριάνιο:
 $\text{C}_{13}\text{H}_{18} \rightarrow \text{C}_8\text{H}_{18} + \text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$
(βενζίνη) (πρώτες ύλες πετροχημείας)

Η βενζίνη που παίρνουμε από την πυρόλυση είναι καλύτερης ποιότητας από τη βενζίνη που παίρνουμε με κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου. Με ανάμειξη των δυο αυτών ειδών βενζίνης παίρνουμε τη βενζίνη που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή ζωή.

Η ποιότητα της βενζίνης καθορίζεται από τη συμπεριφορά της κατά την καύση σε πρότυπο βενζινοκινητήρα. Μετριέται δε με ένα δείκτη που ονομάζεται αριθμός οκτανίου. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός οκτανίου μιας βενζίνης, τόσο καλύτερης ποιότητας είναι. Οι υδρογονάνθρακες με ευθύγραμμη αλυσίδα έχουν μικρό αριθμό οκτανίων. Αντίθετα οι υδρογονάνθρακες με πολλές διακλαδώσεις έχουν μεγάλο αριθμό οκτανίων. Το κανονικό επτάνιο έχει αριθμό οκτανίου -0-. Το 2,3 διμέθυλο πεντάνιο έχει αριθμό οκτανίου -88-. Το 2,2,4 τριμέθυλο πεντάνιο έχει αριθμό οκτανίου -100- (www.teikoz.gr).

11.4.2. Νάφθα

Νάφθα είναι το κλάσμα της απόσταξης του αργού πετρελαίου που βρίσκεται μεταξύ της βενζίνης και της κηροζίνης. Το κλάσμα αυτό αποτελείται κυρίως από αλκάνια με 5 έως 9 άτομα άνθρακα (www.teikoz.gr).

11.4.3. Πετροχημικά

Πετροχημεία είναι ο κλάδος της βιομηχανικής χημείας, που περιλαμβάνει το σύνολο των μεθόδων παραγωγής χημικών προϊόντων με πρώτη ύλη το πετρέλαιο. Οι πρώτες ύλες της πετροχημείας είναι αέριοι υδρογονάνθρακες που προέρχονται κυρίως από το πετρέλαιο και την πυρόλυση της νάφθας. Κατά την πυρόλυση της νάφθας προκύπτουν τα εξής προϊόντα:

- Αέριο νάφθας, που χρησιμοποιείται κυρίως ως καύσιμο και περιέχει περίπου CH_4 (75%), H_2 (5%), C_4H_{10} (5%).
- Βενζίνη.
- Κατώτεροι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες όπως αιθένιο, προπένιο, βουτένιο, 1,3 βουταδιένιο. Μαζί μ' αυτούς παράγεται μικρή ποσότητα αρωματικών υδρογονανθράκων με σημαντικότερο το βενζόλιο.

Με βάση τους μικρούς αυτούς υδρογονάνθρακες (μεθάνιο, αιθένιο, προπένιο, βουτένιο, 1,3 βουταδιένιο, βενζόλιο) μπορούν να παρασκευαστούν πλήθος οργανικών ενώσεων ακόμα και πολύπλοκης δομής μεγαλομόρια, τεράστιας τεχνολογικής και οικονομικής σημασίας. (Απορρυπαντικά, αζωτούχα λιπάσματα, πολυμερή, υφαντικές ίνες κ.ά.) (www.teikoz.gr).

11.4.4. Φυσικό αέριο

Συνήθως το πετρέλαιο συνυπάρχει με αέριο μίγμα, κυρίως υδρογονανθράκων, που ονομάζεται φυσικό αέριο. Το φυσικό αέριο είναι μίγμα αέριων υδρογονανθράκων με κύριο συστατικό το μεθάνιο CH_4 (μέχρι και 90%). Το φυσικό αέριο ως καύσιμο παρουσιάζει δυο πλεονεκτήματα έναντι του πετρελαίου.

1. Είναι καθαρό καύσιμο-καίγεται εύκολα και πλήρως προς CO_2 -και επειδή δεν περιέχει S ή N_2 δεν παράγει κατά την καύση ρυπογόνα αέρια όπως SO_2 , CO , NO_x .
2. Έχει μεγάλη θερμαντική ικανότητα (9000-12000 Kcal) για κάθε κυβικό μέτρο καυσίμου.

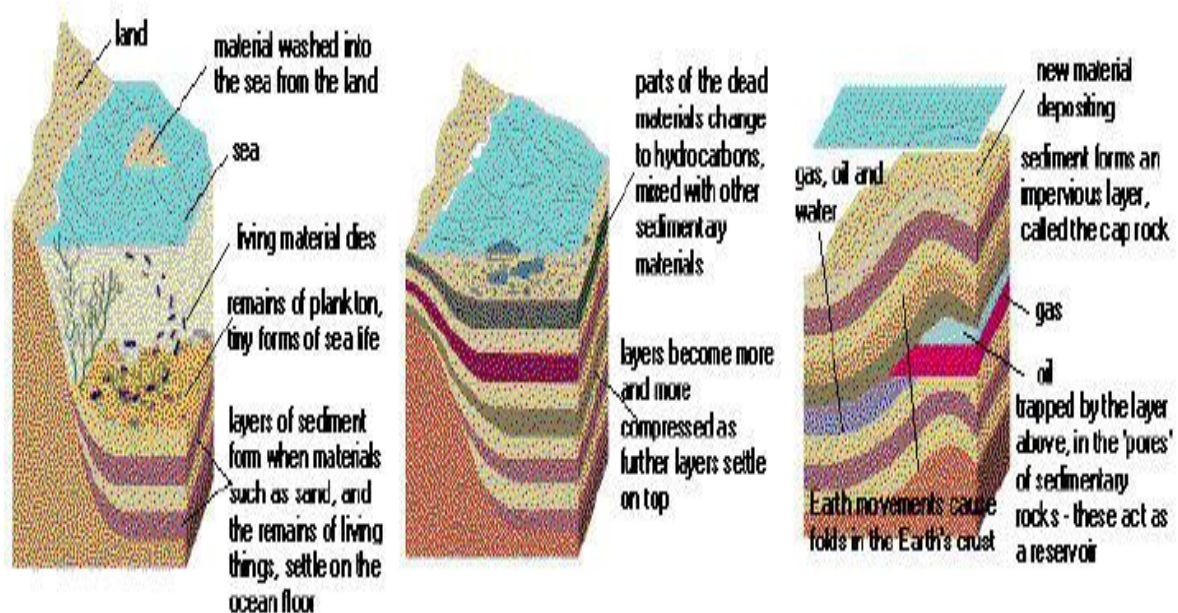
Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται και ως πρώτη ύλη στη βιομηχανία πετροχημικών προϊόντων (www.teikoz.gr).



Σχήμα 11.4.4. Κλάσματα διύλισης

11.5.ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

Όταν η τοποθεσία έχει επιλεγεί, πρέπει να ερευνηθεί για να καθοριστούν τα όρια της και να γίνουν μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Συμφωνίες μίσθωσης και δικαίωμα πρόσβασης στην τοποθεσία, πρέπει να λαμβάνονται και να αξιολογούνται νομικά. Για τοποθεσίες εκτός της ακτής(off-shore), πρέπει να λαμβάνεται και να προσδιορίζεται νόμιμη δικαιοδοσία. (www.encapgroup.com)



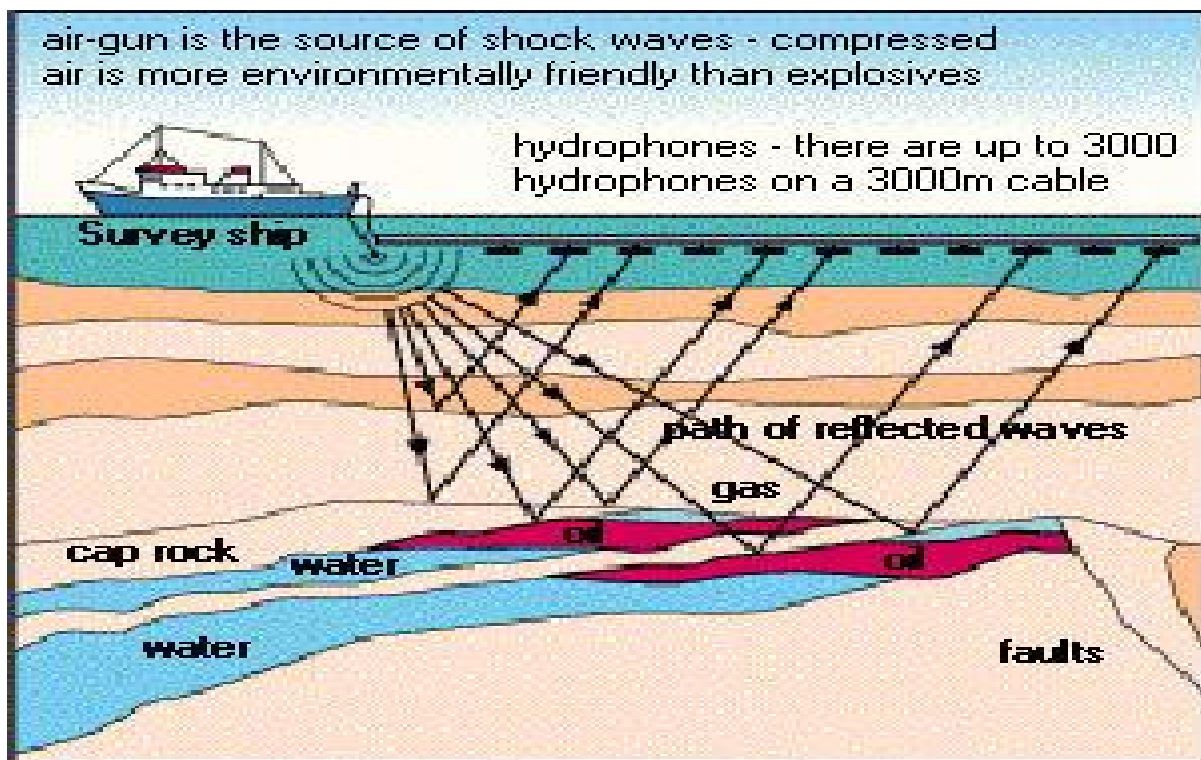
Εικόνα 11.5.1. Σχηματισμοί πετρελαίου από νεκρούς οργανισμούς και αρχαίες θάλασσες

Αφού καθοριστούν οι νόμιμες διαδικασίες, το προσωπικό αρχίζει να προετοιμάζει τη συγκεκριμένη τοποθεσία.

- Το κομμάτι της γής καθαρίζεται, χωρίζεται σε επίπεδα και δημιουργούνται δρόμοι πρόσβασης
- Επειδή το νερό χρησιμοποιείται στη γεώτρηση πρέπει να υπάρχει μια πηγή νερού κοντά. Αν δεν υπάρχει πηγή νερού μέσω γεώτρησης δημιουργούν ένα πηγάδι.
- Σκάβουν ένα κοίλωμα, το οποίο χρησιμοποιούν για τη συγκέντρωση των πετρωμάτων και της λάσπης κατά τη διαδικασία της γεώτρησης, περιφραγμένο με πλαστικό για τη προστασία του περιβάλλοντος. Αν η

τοποθεσία είναι οικολογικά ευαίσθητη περιοχή, όπως π.χ μια λίμνη, τότε τα πετρώματα και η λάσπη πρέπει να μεταφέρονται σε άλλη περιοχή και όχι στο συγκεκριμένο κοίλωμα.

Αφού ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία, ανοίγονται κοιλάματα για τη τοποθέτηση της εξέδρας και του κύριου κοιλώματος. Ένα ορθογωνικό κοίλωμα, που ονομάζεται "κελάρι", σκάβεται γύρω από τη θέση του κύριου κοιλώματος. Το "κελάρι" παρέχει χώρο εργασίας στους εργαζόμενους και στα εξαρτήματα γεωτρήσεων. Το προσωπικό τότε αρχίζει τη γεώτρηση του κύριου κοιλώματος συχνά με ένα μικρό φορητό τρυπάνι και όχι τη κύρια εξέδρα. Το πρώτο μέρος της οπής είναι μεγαλύτερο και πιο ρηχό από το μεγαλύτερο μέρος της, και επενδυμένο με μια σωλήνα μεγάλης διαμέτρου. Πρόσθετα κοιλάματα είναι σκαμμένα στο πλάι για τη προσωρινή αποθήκευση του εξοπλισμού, μέχρις ότου η διαδικασία διάνυξης οπών ολοκληρωθεί και τοποθετηθεί η κεντρική εξέδρα (www.encargroup.com).



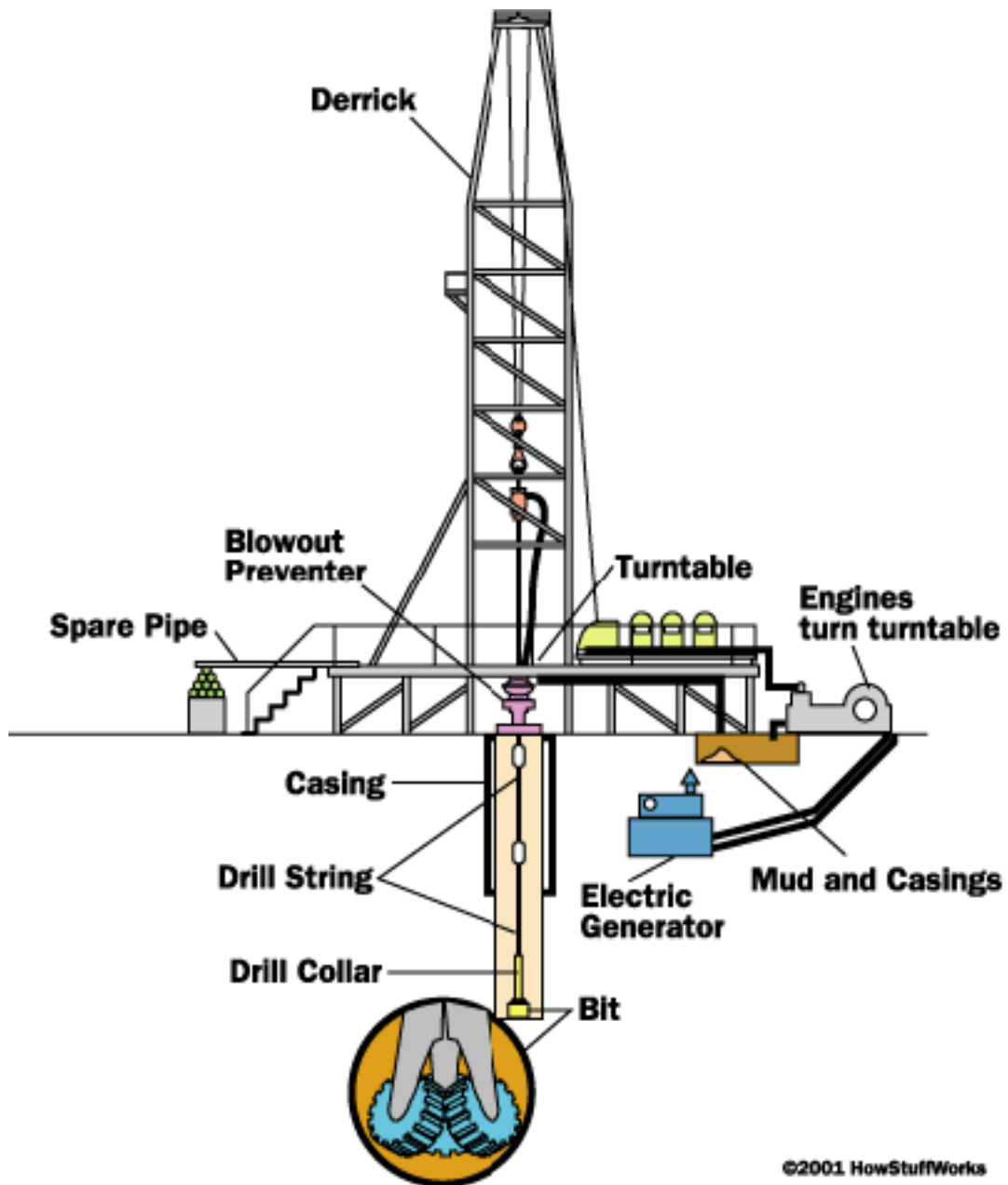
Εικόνα 11.5.2 Εύρεση πετρελαίου με χρήση σεισμολογίας

11.5.1. Ρυθμισμό της εξέδρας

Ανάλογα με την απόσταση του τόπου γεώτρησης και της πρόσβασης του, ο εξοπλισμός μπορεί να μεταφέρεται στο χώρο με φορητό, ελικόπτερο ή ποταμόπλοιο.

Μερικές εξέδρες είναι φτιαγμένες σε πλοία ή ποταμόπλοια για εργασίες εσωτερικών υδάτων όπου δεν υπάρχει βάση για να υποστηρίξει μια εξέδρα (όπως σε έλη ή

λίμνες). Μόλις ο εξοπλισμός είναι στο χώρο, η εξέδρα σήνεται. Εδώ είναι τα κυριότερα συστήματα μιας εξέδρας άντλησης πετρελαίου:



Εικόνα 11.5.1.1 Ανατομία εξέδρας άντλησης πετρελαίου

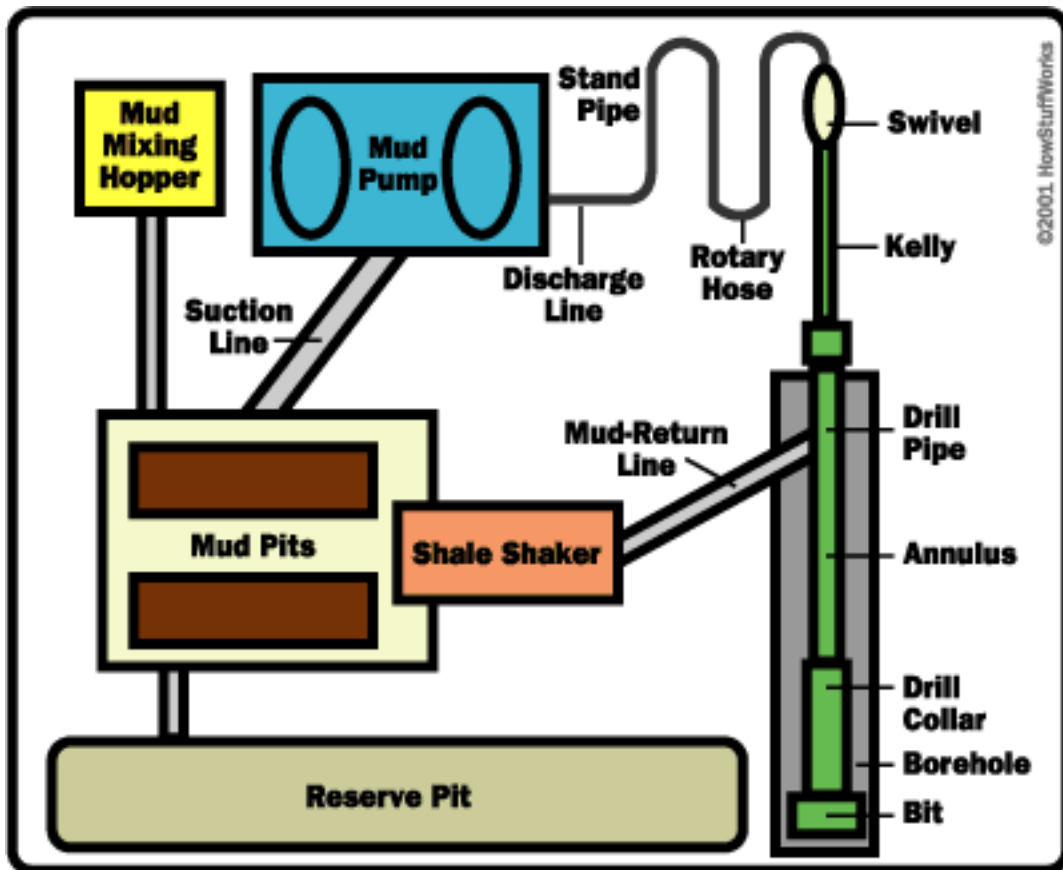
- Ισχύς Συστήματος
- 1) Μεγάλοι κινητήρες πετρελαίου – το καύσιμο τους είναι το πετρέλαιο για να παρέχεται η κύρια πηγή ενέργειας.
 - 2) Ηλεκτρικές γεννήτριες – τροφοδοτούνται από τους κινητήρες πετρελαίου για τη

παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.

- Μηχανικό Σύστημα – καθοδηγείται απο ηλεκτροκινητήρες
 - 1) Σύστημα ανύψωσης – χρησιμοποιείται για την ανύψωση βαρέων φορτίων και αποτελείται απο ένα μηχανικό βαρούλκο (drawworks).
 - 2) Περιστρεφόμενος δίσκος – μέρος του μηχανισμού γεώτρησης.

- Περιστρεφόμενος Εξοπλισμός – χρησιμοποιείται για περιστροφική διάτρηση
 - 1) Στροφέας – μεγάλη λαβή που κρατάει το τρυπάνι και του επιτρέπει να περιστρέφεται.
 - 2) Kelly – τεσσάρων ή έξι όψεων σωλήνα που μεταφέρει τη κίνηση του περιστρεφόμενου δίσκου.
 - 3) Περιστρεφόμενος δίσκος – οδηγεί τη περιστροφική κίνηση χρησιμοποιώντας ενέργεια απο ηλεκτροκινητήρες.
 - 4) Τρυπάνι – άκρη του τρυπανιού που κόβει τη πέτρα, υπάρχει σε διάφορες μορφές και υλικά (βολφράμιο χάλυβα καρβιδίου, διαμάντι) που είναι εξειδικευμένο για διάφορες εργασίες διάτρησης και πετρωμάτων.

- Περίβλημα – μεγάλης διαμέτρου τσιμεντένιος σωλήνας που καθορίζει τη κατεύθυνση της γεώτρησης, εμποδίζει τη τρύπα απο κατάρρευση και επιτρέπει τη κυκλοφορία της λάσπης.
- Σύστημα κυκλοφορίας – αντλεί τη λάσπη (μείγμα νερού, άργιλου και άλλων χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται για την ανύψωση πετρωμάτων απο την άκρη του τρυπανιού στην επιφάνεια), υπό πίεση μέσω του Kelly, του περιστρεφόμενου δίσκου, τους σωλήνες και του τρυπανιού.
 - 1) Αντλία: απορροφά τη λάσπη απο τα κοιλώματα και την αντλεί με τη συσκευή διάτρησης.
 - 2) Εύκαμπτοι σωλήνες: συνδέουν την αντλία με τη συσκευή διάτρησης.
 - 3) Γραμμή επιστροφής λάσπης: επιστρέφει τη λάσπη απο την οπή.
 - 4) Αναδευτήρας πετρωμάτων: διαχωρίζει τα πετρώματα απο τη λάσπη.
 - 5) Ολίσθηση πετρωμάτων: μεταφέρει αποκόμματα στα αποθεματικά κοιλώματα.
 - 6) Αποθεματικά κοιλώματα: συγκεντρώνουν τα αποκόμματα πετρωμάτων διαχωρισμένα απο τη λάσπη.
 - 7) Κοιλώματα λάσπης: περιοχή όπου η λάσπη γεωτρήσεων αναμιγνύεται και ανακυκλώνεται.
 - 8) Σύστημα ανάμειξης λάσπης: εκεί όπου η λάσπη αναμιγνύεται και στη συνέχεια αποστέλλεται στα κοιλώματα λάσπης (ΕΛΔΑ).



Εικόνα 11.5.1.2. Σύστημα κυκλοφορίας δραστικού-λάσπης

- Φορτωτήρες – δομή στήριξης της συσκευής διάτρησης. Αρκετά ψηλή για να μπορούν νέα τμήματα γεώτρησης να προστείνονται.
- Βαλβίδες- υψηλής πίεσης βαλβίδες τοποθετημένες κάτω από την εξέδρα ή στο βυθό της θάλασσας, που σφραγίζουν τις γραμμές υψηλής πίεσης του τρυπανιού και εκτονώνουν την πίεση όταν είναι απαραίτητο για να αποφευχθεί μια έκρηξη (ΕΛΔΑ).

11.5.2.Γεωτρηση

Το πλήρωμα στήνει την εξέδρα και ξεκινά τις διαδικασίες γεώτρησης. Πρώτα, από την αρχική οπή τρυπούν μέχρι ένα προκαθορισμένο βάθος το οποίο μπορεί να είναι και μεγαλύτερο από το βάθος στο οποίο υπολόγιζαν. Υπάρχουν 5 βασικά βήματα για να γίνει η γεώτρηση:

- 1) Τοποθέτηση του τρυπανιού και διατρητικών στελεχών στη τρύπα
- 2) Σύνδεση του Kelly και του περιστρεφόμενου σωλήνα για να αρχίσει η γεώτρηση.
- 3) Καθώς η γεώτρηση προχωρεί, η λάσπη κυκλοφορεί μέσω του σωλήνα για την εξαγωγή των πετρωμάτων.
- 4) Προσθήκη νέων τμημάτων του σωλήνα γεώτρησης καθώς αυξάνεται το βάθος.
- 5) Αφαίρεση των διατρητικών στελεχών και της άκρης του σωλήνα όταν επιτευχθεί το

προκαθορισμένο βάθος (Ελληνικά Πετρέλαια -πληροφορίες απο σημειώσεις εργαζομένων).



Εικόνα 11.5.2.1 Εργασίες τοποθέτησης περιστρεφόμενου σωλήνα-δραπάνου

Μόλις φτάσουν στο προκαθορισμένο βάθος θα πρέπει να καλύψουν με τσιμέντο το περίβλημα του σωλήνα μέσα στη τρύπα για την αποτροπή της κατάρευσης του. Ο σωλήνας έχει αποστάτες γύρω από το εξωτερικό του για να διατηρείται στο κέντρο της οπής. Στην συνέχεια διοχετεύουν με τσιμεντο τα περιθώρια γύρω από το σωλήνα. Στο πάνω και κάτω άκρο του σωλήνα υπάρχουν τάπες για την αποφυγή εισχώρησης τσιμέντου στο εσωτερικό της. Τέλος όταν το

τσιμέντο στερεοποιηθεί ελέγχονται η σκληρότητα, η ευθυγράμμιση και η σφραγισιμότητα.

Η διαδικασία γεώτρησης συνεχίζεται σε στάδια.Όταν αναδυθούν στην επιφάνεια υπολλείματα πετρωμάτων πετρελαίου, τότε η διαδικασία γεώτρησης σταματά.Σ'αυτό το σημείο,αφαιρούν τη συσκευή γεώτρησης καί εκτελούν διάφορες δοκιμές για να επιβεβαιωθεί το εύρημα:

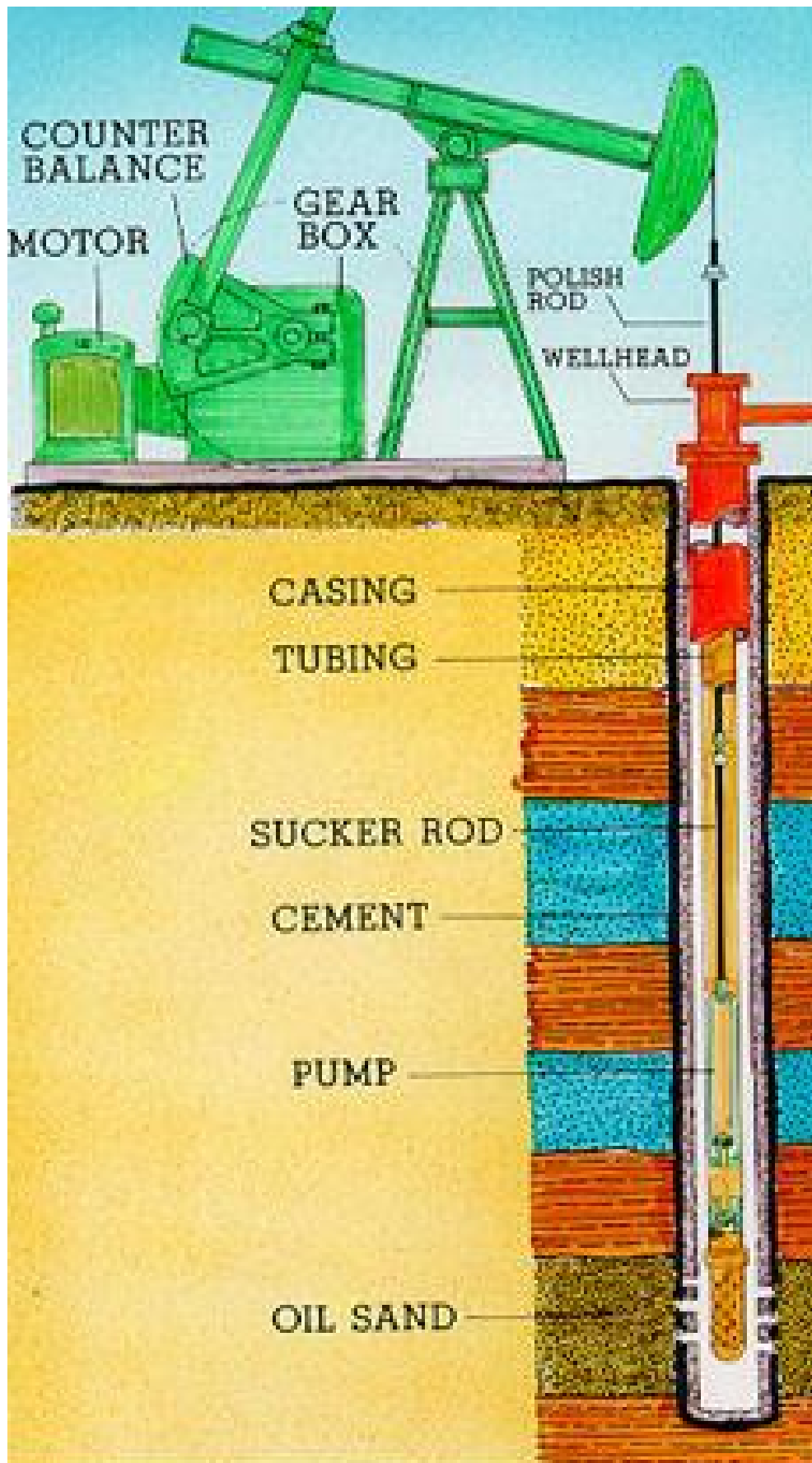
- Καταγραφή της μορφής των πετρωμάτων με τη βοήθεια ηλεκτρικών αισθητήρων και φυσικού αερίου.
- Δράπανο-τοποθέτηση συσκευής μέσα στη τρύπα για την μέτρηση των πιέσεων,η οποία θα αποδείξει την ύπαρξη πετρελαίου.
- Βασικά Δείγματα-λήψη δειγμάτων των πετρωμάτων για τα χαρακτηριστικά τους (Ελληνικά Πετρέλαια -πληροφορίες απο σημειώσεις εργαζομένων)

Μόλις φτάσουν στο τελικό βάθος, το πλήρωμα ολοκληρώνει το πηγάδι για να επιτρέψει στο πετρέλαιο να ρέει στο περίβλημα με έναν ελεγχόμενο τρόπο. Αρχικά,κατεβάζουν ένα διατηρητικό εργαλείο στο πηγάδι στο βάθος της παραγωγής. Το εργαλείο αυτό έχει εκρηκτικές επιβαρύνσεις για την δημιουργία οπών μέσα στο περίβλημα, μέσω των οποίων μπορεί να ρέει το πετρέλαιο. Μετά τη διάτρηση του περιβλήματος τοποθετούν έναν μικρής διαμέτρου σωλήνα, στην οπή, ο οποίος λειτουργεί ως αγωγός για το πετρέλαιο και τη ροή του αερίου μέχρι το πηγάδι. Μία συσκευή που ονομάζεται συσκευαστής, λειτουργεί στο εξωτερικό του σωλήνα. Όταν ο συσκευαστής οριστεί στο επίπεδο της παραγωγής, επεκτείνεται για να σφραγίσει την περιοχή γύρω απο το εξωτερικό του σωλήνα.Τέλος, συνδέουν πολυβαλβιδικό εργαλείο το οποίο ονομάζεται "δέντρο" στην κορυφή του σωλήνα και το κλείνουν με τσιμέντο στην κορυφή του περιβλήματος.Το δέντρο αυτό τους επιτρέπει να ελέγχουν τη ροή του πετρελαίου απο το πηγάδι.

Μόλις το πηγάδι ολοκληρωθεί πρέπει να ξεκινήσει η ροή του πετρελαίου στο πηγάδι. Για τη δεξαμενή του ασβεστόλιθου διοχετεύεται οξύ στο πηγάδι και στις διατρήσεις. Το οξύ διαλύει τον ασβεστόλιθο που οδηγεί το πετρέλαιο στο πηγάδι. Για την δεξαμενή του αμμόλιθου ένα ειδικά αναμεμειγμένο υγρό το οποίο περιέχει άμμο και σφαιρίδια αλουμινίου, διοχετεύεται στο πηγάδι καί στις διατρήσεις. Η πίεση απο αυτό το υγρό δημιουργεί θραύσεις στον αμμόλιθο που επιτρέπουν στο πετρέλαιο να ρέει, ενώ τα υπόλοιπα υλικά του κρατάνε αυτές τις θραύσεις ανοιχτές. Όταν αρχίσει να ρέει το πετρέλαιο η εξέδρα άντλησης πετρελαίου αφαιρείται απο το χώρο και ο εξοπλισμός παραγωγής ξεκινά να εξαγει πετρέλαιο απο το πηγάδι (Ελληνικά Πετρέλαια -πληροφορίες απο σημειώσεις εργαζομένων).

11.5.3 ΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

Αφού αφαιρείται η εξέδρα άντλησης, μια αντλία τοποθετείται στην κορυφή του πηγαδιού. Στο σύστημα άντλησης ένας ηλεκτροκινητήρας κινεί ένα κιβώτιο αχυτήτων, το οποίο κινεί ένα μοχλό. Ο μοχλός αυτός ωθεί και τραβά μια ράβδο στίλβωσης πάνω και κάτω. Η ράβδος αυτή είναι συνδεδεμένη με μια άλλη ράβδο άντλησης η οποία είναι συνδεδεμένη με μια αντλία. Το σύστημα αυτό υποχρεώνει την αντλία να κινείται πάνω και κάτω, δημιουργώντας μια αναρρόφηση η οποία αντλεί το πετρέλαιο μέσα από το πηγάδι. Σε ορισμένες περιπτώσεις το πετρέλαιο μπορεί να είναι πολύ "βαρύ" για να ρέει. Τότε μια δεύτερη οπή ανοίγεται στη δεξαμενή και εγχέεται ατμός υπό πίεση. Η θερμότητα του ατμού αραιώνει το πετρέλαιο στη δεξαμενή και η πίεση το βοηθάει να έρθει στην επιφάνεια του πηγαδιού. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται βελτιωμένη ανάκτηση πετρελαίου (Enhanced Oil Recovery) (www.encargroup.com).



12.ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΕΙΔΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

12.1.ΡΥΠΑΝΣΗ

Τα υδατοδιαλυτά συστατικά του αργού πετρελαίου και των διυλισμένων προϊόντων του, περιέχουν μια ποικιλία ενώσεων που είναι τοξικές για ένα ευρύ φάσμα θαλασσίων οργανισμών. Τα αυγά, οι προνύμφες των ψαριών και τα νεαρά άτομα είναι γενικά πιο ευαίσθητα στη ρύπανση από πετρελαιοειδή. Το πετρέλαιο προκαλεί διαταραχές στη φυσιολογία και τη συμπεριφορά των οργανισμών, καθώς και ανωμαλίες στην ανάπτυξη των ψαριών, οδηγώντας τελικά στον πρόωρο θάνατό τους. Ακόμη και 1 μg/l (1ppb) πετρελαίου στη θάλασσα μπορεί να βλάψει τους πιο ευαίσθητους οργανισμούς (UNEP, 1988). Ίχνη πετρελαίου στο νερό επηρεάζουν τη συμπεριφορά των θαλασσίων οργανισμών, τη δυνατότητα προσανατολισμού τους και τους ρυθμούς αφομοίωσης της τροφής. Κάποιες από τις συνέπειες αυτές ενισχύονται από τη χαμηλή αλατότητα και τις υψηλές θερμοκρασίες, ενώ υπάρχει συνεργιστική δράση ανάμεσα στους αρωματικούς υδρογονάνθρακες και κάποια μέταλλα (UNEP, 1988).

Μόλις 0,2 μg/l πετρελαίου στο θαλασσινό νερό μπορούν να επηρεάσουν την αναπαραγωγή ορισμένων αλγών (Steele, 1977). Σε συγκεντρώσεις 2-10 μg/l το πετρέλαιο επηρεάζει την επιβίωση των νυμφών των ψαριών (Vandermeulen & Caruzzo, 1983) και ελαττώνει την παραγωγή αυγών και την πιθανότητα επιτυχούς ωοτοκίας (Kuhnhold et al, 1978). Σε συγκεντρώσεις 20-40 μg/l το πετρέλαιο μπορεί να επιφέρει αλλαγές στη σύσταση του φυτοπλαγκτού, ευνοώντας πχ. τα μικρότερα είδη, ανατρέποντας κατ' αυτό τον τρόπο τις ισορροπίες ολόκληρης της τροφικής αλυσίδας (Lee, 1977). Συγκεντρώσεις της τάξης των 0,1 g/Kg στα ιζήματα μπορούν να επιφέρουν δυσμενείς επιπτώσεις στους βενθικούς οργανισμούς (www.pathfinder.gr).

12.1.1.Αμμώδεις ακτές

Το πετρέλαιο δεν αποκολλάται εύκολα από τις αμμώδεις ακτές. Όταν μάλιστα βρίσκεται ακόμα σε υγρή μορφή, τότε απορροφάται σε μεγαλύτερο βάθος. Εκεί λόγω χαμηλότερης διαθεσιμότητας οξυγόνου δεν ευνοείται η αποδόμηση του πετρελαίου, το οποίο διατηρεί έτσι τις τοξικές του ιδιότητες για μεγαλύτερο διάστημα (Rostrom, 1990).

Στο ατύχημα του Amoco Cadiz έξω από τις ακτές της Βρετανίας τον Μάρτιο του 1978, κατά το οποίο χύθηκαν 223.000 τόνοι αργού πετρελαίου, ένα μεγάλο μέρος του πετρελαίου μεταφέρθηκε στις εκβολές των παρακείμενων ποταμών και κατακάθισε στα ιζήματα. Πέρα από τις άμεσες επιπτώσεις στην πανίδα, οι χαμηλοί

ρυθμοί αποδόμησης, που όπως είπαμε καθιστούν το πετρέλαιο τοξικό για μεγαλύτερο διάστημα, εμπόδισαν την επανάκαμψη των οικοσυστημάτων της περιοχής. Επιπλέον, πετρέλαιο που προέρχονταν από τα ιζήματα συνέχιζε να ρυπαίνει την περιοχή και τον ερχόμενο χρόνο (Clark, 1986). Τα συστατικά του πετρελαίου μπορούν να παραμείνουν στα ιζήματα ακόμη και για δεκάδες ή εκατοντάδες χρόνια αν επικρατούν αναερόβιες συνθήκες) (www.pathfinder.gr).

12.1.2.Βραχώδεις ακτές

Όπως προκύπτει από την εμπειρία από ατυχήματα όπως αυτό του Torrey Canyon τον Μάρτιο του 1967 στη νοτιοδυτική Αγγλία ή του Tampico Maru στο Μεξικό (Μάρτιος 1957), οι επιπτώσεις των πετρελαιοκηλίδων στα οικοσυστήματα των βραχωδών ακτών είναι ιδιαίτερα σοβαρές. Ένας μεγάλος αριθμός ζώων και τα πιο ευαίσθητα κόκκινα και πράσινα άλγη πεθαίνουν. Σε όλες τις περιπτώσεις υπήρξε διαταραχή του οικοσυστήματος και η επανάκαμψη δεν έγινε δυνατή για πολλά χρόνια εξαιτίας μιας αρχικής εξάλειψης των κυρίαρχων φυτοφάγων οργανισμών, με αποτέλεσμα την υπέρμετρη ανάπτυξη και επικράτηση των αλγών, γεγονός που με τη σειρά του εμπόδισε την επαναποικιοποίηση της περιοχής με φυτοφάγους οργανισμούς (Wardley-Smith, 1983). Στην περίπτωση του Torrey Canyon, ακόμα και δέκα χρόνια μετά, η πανίδα της περιοχής δεν είχε τον πλούτο και την ποικιλία που είχε πριν το ατύχημα (www.pathfinder.gr).

12.1.3.Παράκτια βλάστηση

Το πετρέλαιο προσκολλάται στα παράκτια φυτά και δεν ξεπλένεται εύκολα με την παλίρροια. Τα φύλλα κιτρινίζουν και τελικά νεκρώνονται μετά από μερικές μέρες. Όταν η ρύπανση είναι μικρής έκτασης, τα φυτά ξαναβγάζουν νέα φύλλα μέσα σε τρεις εβδομάδες περίπου. Σε περίπτωση όμως σοβαρής ρύπανσης νεκρώνονται τελείως. Τα ετήσια φυτά νεκρώνονται από την επάλειψη με πετρέλαιο και η επανάκαμψη του οικοσυστήματος απαιτεί δύο με τρεις περιόδους. Τα πολυετή φυτά δείχνουν μια ποικιλία από αντιδράσεις, από ανθεκτικότητα μέχρι νέκρωση ανάλογα με τις συνθήκες και τις ποσότητες του πετρελαίου. Κάποια φυτά εκδηλώνουν επίσης προβλήματα ανθοφορίας (Rostron, 1990).

Το πετρέλαιο επηρεάζει το έδαφος στις ακτές με δύο τρόπους. Πρώτον διαπερνά το χώμα και επηρεάζει το ριζικό σύστημα των φυτών, τους μικροβιακούς πληθυσμούς και τη διαθεσιμότητα του οξυγόνου. Δεύτερον, όταν επικαθίσει πετρέλαιο στους βλαστούς των φυτών επηρεάζεται η διάχυση του οξυγόνου προς το ριζικό σύστημα και εμποδίζεται έτσι η οξυγόνωση των ριζών και των μικροοργανισμών του εδάφους (www.pathfinder.gr).

12.1.4.Πλαγκτόν

Το πλαγκτόν και ιδιαίτερα το νευστόν που ζει στην επιφάνεια της θάλασσας είναι ιδιαίτερα ευπαθές στις πετρελαιοκηλίδες. Πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων, της τάξης των 50 ng/g, επιταχύνουν τη φωτοσύνθεση επειδή δρουν ίσως ως θρεπτικά. Πάνω από τις συγκεντρώσεις αυτές όμως υπάρχει μια σταδιακή ελάττωση των ρυθμών της φωτοσύνθεσης. Σε συγκεντρώσεις της τάξης των 250 ng/g οι διατροφικές συνήθειες και λειτουργίες κάποιων οργανισμών μεταβάλλονται (Clark, 1986). Μια σειρά από άλλες επιπτώσεις σε πλαγκτονικούς μικροοργανισμούς μαρτυρούν ότι το πετρέλαιο δρα ως δηλητήριο για το πλαγκτόν, παρεμποδίζοντας την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό του και οδηγώντας στον πρόωρο θάνατο πολλών οργανισμών.

Το ζωοπλαγκτόν καταναλώνει μικρά σταγονίδια πετρελαίου και μ' αυτόν τον τρόπο οι υδρογονάνθρακες περνούν σε υψηλότερα τροφικά επίπεδα. Επιπλέον, μη αφομοιώσιμες ουσίες καταλήγουν στο βένθος με τα εκκρίματα των οργανισμών αυτών. Αν και δεν έχει προχωρήσει αρκετά η έρευνα σχετικά με το μεταβολισμό των υδρογονανθράκων από το ζωοπλαγκτόν, υπάρχουν ενδείξεις ότι είναι δυνατός ο μεταβολισμός πολλών υδρογονανθράκων από ορισμένους μικροοργανισμούς, αλλά οι μεταβολίτες που προκύπτουν παραμένουν στους οργανισμούς αυτούς και δεν αποβάλλονται στο περιβάλλον. Σε πολλές περιπτώσεις οι μεταβολίτες αυτοί και κάποια ενδιάμεσα προϊόντα είναι καρκινογόνα (www.pathfinder.gr).

12.1.5.Κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία

Αν και οι άμεσες επιπτώσεις του πετρελαίου στις τροφικές αλυσίδες και δίκτυα θεωρούνται συχνά μικρής κλίμακας, δεν αποκλείονται μακροχρόνιες επιπτώσεις καθώς και φαινόμενα βιοσυσσώρευσης κυρίως καρκινογόνων πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων.

Οι βενθικοί οργανισμοί που φιλτράρουν την τροφή τους (π.χ μύδια, στρείδια) συσσωρεύουν υδρογονάνθρακες με γοργούς ρυθμούς. Τα στρείδια αποκτούν δυσάρεστη γεύση όταν οι συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων φτάνουν τα 10 ppb. Για τα ψάρια και τα καρκινοειδή οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 4-300 ppm (Rostron, 1990). Τα θαλασσινά περιέχουν γενικά μικρές ποσότητες καρκινογόνων πολυκυκλικών υδρογονανθράκων (PAH). Η κατανάλωση θαλασσινών εκτιμάται ότι συνεισφέρει 2-3% της συνολικής κατανάλωσης PAH από τρόφιμα. Ακόμη κι αν οι συγκεντρώσεις αυτές των PAH δεν αποτελούν άμεσο κίνδυνο για τον άνθρωπο, οι καρκινογόνες αυτές ουσίες ευθύνονται για όγκους και απολεπίσεις ψαριών από περιοχές με χρόνια ρύπανση με πετρελαιοειδή και όγκους και προκαρκινικές καταστάσεις σε όστρακα αυτών των περιοχών (www.pathfinder.gr).

12.2.Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στην Ελλάδα πετρέλαιο παράγεται από το 1981, οπότε άρχισε η εκμετάλλευση του κοιτάσματος στον Πρίνο της Θάσου από την Κοινοπραξία Πετρελαίου Βορείου Αιγαίου (NAPC). Σύντομα η παραγωγή ανήλθε στα 26.000 βαρέλια ημερησίως, ποσότητα που ισοδυναμούσε περίπου με το 10% των ενεργειακών αναγκών της χώρας. Από τα τέλη της δεκαετίας του 1980 η παραγωγή άρχισε να μειώνεται και το 1995 περιορίστηκε στα 10.000 βαρέλια την ημέρα, ενώ -σύμφωνα με στοιχεία του 1992- η συνολική κατανάλωση πετρελαίου στη χώρα μας ανέρχεται σε 85.000 - 135.000 βαρέλια την ημέρα. Σημαντικά κοιτάσματα πετρελαίου υπάρχουν, ακόμη, στην ευρύτερη περιοχή του Βορειοανατολικού Αιγαίου. Την εκμετάλλευσή τους έχει αναλάβει επίσης η NAPC με τη συμμετοχή της Δημόσιας Επιχείρησης Πετρελαίου (ΔΕΠ), αλλά για πολιτικούς λόγους, που σχετίζονται με την ελληνοτουρκική διαφορά πάνω στην οριοθέτηση της υφαλοκρηπίδας του Αιγαίου, δεν έχει προχωρήσει η πλήρης εξερεύνησή τους.

Κοιτάσματα έχουν εντοπιστεί και σε άλλες περιοχές του ελλαδικού χώρου (Κατάκωλο, Ζάκυνθο, Παξούς, Ηλεία κ.α.). Πρόσφατα αποφασίστηκε η προώθηση της εκμετάλλευσης του υδρογονανθρακικού δυναμικού της χώρας βάσει του νέου νομοθετικού πλαισίου (Ν. 2289/1995) το οποίο εισήγαγε και στην Ελλάδα τα πρότυπα που εφαρμόστηκαν με επιτυχία σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες (Μ. Βρετανία, Νορβηγία κ.ά.), της εκμετάλλευσης δηλαδή των κοιτασμάτων μέσω κοινοπρακτικών σχημάτων με τη συμμετοχή ή μη κρατικών φορέων.

Η συνολική κατανάλωση πετρελαιοειδών της εσωτερικής αγοράς στη χώρα μας, σύμφωνα με στοιχεία του 1994, ανέρχεται σε 10,9 εκατομ. μετρικούς τόνους, ενώ τα πετρελαιοειδή προϊόντα διεθνών πωλήσεων από την Ελλάδα, αυτά δηλαδή που διατέθηκαν για τον εφοδιασμό αεροσκαφών και πλοίων από τα ελληνικά αεροδρόμια και λιμάνια, ανήλθαν σε 5 εκατομ. μετρικούς τόνους. Οι ανάγκες της χώρας σε πετρελαιοειδή καλύπτονται από τη λειτουργία των 2 διυλιστηρίων της ΕΛΔΑ στον Ασπρόπυργο και της ΕΚΟ στη Θεσσαλονίκη, θυγατρικών εταιριών της Δημόσιας Επιχείρησης Πετρελαίου (ΔΕΠ ΑΕ), και από τα δύο ιδιωτικά διυλιστήρια της Motor Oil στους Αγίους Θεοδώρους και της Petrola στην Ελευσίνα.

Φορέας ανάπτυξης της βιομηχανίας πετρελαίου στη χώρα μας είναι η Δημόσια Επιχείρηση Πετρελαίου (ΔΕΠ), η οποία μέσω της θυγατρικής της Δημόσιας Επιχείρησης Πετρελαίου - Έρευνα Κοιτασμάτων Υδρογονανθράκων (ΔΕΠ - ΕΚΥ) έχει πραγματοποιήσει σειρά ερευνών και γεωτρήσεων σε πολλές περιοχές, όπως στο Δέλτα του Νέστου, στην περιοχή Θεσσαλονίκης - Χαλκιδικής, στο Δέλτα του Έβρου, στην Ήπειρο - Αιτωλοακαρνανία, στη Ζάκυνθο, στο Αιγαίο, στο Ιόνιο πέλαγος κ.α (www.energia.gr).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διαδικασία δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα, σαν εφαρμογή ροής ρευστών σε πορώδη υλικά, μπορεί να συμβάλλει στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται παγκοσμίως με αποτέλεσμα τη σταθεροποίηση του κλίματος και της θερμοκρασίας της γης, καθώς και την ομαλότερη ανάπτυξη ζώων και φυτών, τα οποία επηρεάζονται άμεσα από τις κλιματικές αλλαγές. Ωστόσο, η δέσμευση CO₂ είναι προς το παρόν μια τεχνολογία ελάχιστα ανεπτυγμένη και θα πρέπει να γίνουν εκτενέστερες μελέτες όσον αφορά τις θέσεις αποθηκείωσης του CO₂, τους τρόπους δέσμευσης και τους τρόπους μεταφοράς του, κι αυτό διότι η ασφάλεια παίζει πρωταρχικό ρόλο στην όλη διαδικασία. Οι κίνδυνοι που παραμονεύουν από μια τυχαία διαρροή από τη θέση αποθήκευσης ή ακόμα και κατά τη μεταφορά του είναι αρκετά μεγάλοι και μπορούν να επηρεάσουν τόσο το περιβάλλον, όσο και τον ανθρώπινο οργανισμό. Ένας άλλος κύριος παράγοντας για την εφαρμογή ενός συστήματος δέσμευσης και αποθήκευσης είναι το κόστος το οποίο απαιτείται για τη λειτουργία του. Πιο ειδικά, η μελέτη ως προς το κόστος θα πρέπει να επικεντρωθεί στο στάδιο της δέσμευσης, δεδομένου ότι η διαδικασία δέσμευσης και μόνο, καλύπτει το 80% του συνολικού κόστους.

Αν και η συγκεκριμένη τεχνολογία βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο, αρκετές χώρες ανά τον κόσμο έχουν θέσει σε λειτουργία προγράμματα δέσμευσης και αποθήκευσης ή μελετούν πιθανούς χώρους υπόγειας αποθήκευσης. Μέσα σ' αυτές, συμπεριλαμβάνεται και η Ελλάδα.

Δεύτερον, όσον αφορά την εξόρυξη πετρελαίου, από την ιστορία του, το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι στην αρχή το χρησιμοποίησαν κυρίως για τις θεραπευτικές του ιδιότητες, ενώ στην συνέχεια κάλυψαν και άλλες τους ανάγκες. Επίσης, η παραγωγή πετρελαίου ήταν πολύ φθηνή, σε σημείο όπου το νερό ήταν ακριβότερο από το πετρέλαιο σε αντίθεση με την σημερινή εποχή που δεν μπορεί να υπάρξει καν σύγκριση.

Όσο αφορά την προέλευση του πετρελαίου, από την πρώτη ανακάλυψη μέχρι και σήμερα υπάρχει εντελώς αντίθετη άποψη. Στην αρχή πίστευαν, ότι το πετρέλαιο δημιουργούταν από διάφορες ανθρακομεταλλικές ενώσεις, στην συνέχεια κατέληξαν στο ότι είναι προϊόν αποσύνθεσης ατελέστατων ζωικών και φυτικών οργανισμών που εγκλείστηκαν μέσα στα πετρώματα σε μεγάλο βάθος στη Γη

Η διαδικασία της έρευνας ύπαρξης πετρελαίου σε κάποιο σημείο δεν είναι τόσο απλή υπόθεση. Οι πιθανότητες εύρεσης πετρελαίου με τη μέθοδο της γεώτρησης είναι πολύ λίγες και αυτό διότι πρέπει να γίνουμε πολλές μελέτες για τον εντοπισμό του. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος είναι η σεισμική.

Κατά την διαδικασία εξόρυξης ένας πολύ σημαντικός τομέας είναι αυτός της διύλισης. Μέσω αυτής έχουν στόχο να μεγιστοποιήσουν την παραγωγή καυσίμων και πρώτων υλών με τον πλέον οικονομικό τρόπο. Η βενζίνη, η νάφθα, το φυσικό αέριο και πολλά άλλα είναι κλάσματα της διύλισης.

Στο βασικότερο κομμάτι που είναι η διαδικασία της εξόρυξης δηλαδή η γεώτρηση πρέπει να ληφθούν πολλά πράγματα υπόψη εκείνων οι οποίοι θα

εκτελέσουν την συγκεκριμένη εργασία. Όλες οι διεργασίες, από την εύρεση της τοποθεσίας μέχρι τα υλικά που θα χρειαστούν, τα νομικά θέματα και πολλά άλλα πρέπει να έχουν καθοριστεί πριν ξεκινήσει η διαδικασία «τρυπήματος». Κατά την διαδικασία πρέπει να τηρηθούν όλα τα μέτρα ασφαλείας και όλα τα τμήματα των μονάδων προσωπικού να είναι σε ετοιμότητα για την εκτέλεση των εργασιών τους και την αποφυγή σφάλματος, ατυχήματος και οτιδήποτε περίεργο υπάρχει η πιθανότητα να συμβεί.

Τέλος, σε περίπτωση ατυχήματος οι επιπτώσεις που μπορεί να έχει αυτό σε όλους τους ζωντανούς οργανισμούς και μη είναι τεράστιες. Ακόμη και μια μικρή ποσότητα πετρελαίου είναι πολύ δύσκολη να διαλυθεί μέσα στο νερό, σε αμμώδεις ή βραχώδεις ακτές. Μέσω των τροφών που παίρνει ο άνθρωπος μέσα από τη θάλασσα μπορεί να του δημιουργήσει σοβαρό πρόβλημα υγείας. Στην χώρα μας η εκμετάλλευση των φυσικών πόρων και συγκεκριμένα του πετρελαίου ακόμα είναι περιορισμένη λόγω πολλών συμφερόντων και καταστάσεων που βρίσκεται, όμως δεν παύει να υπάρχουν περιοχές που ήδη γίνεται άντληση η που στο σύντομο μέλλον θα υπάρξουν επιχειρήσεις που θα τις εκμεταλλευτούν

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ø "Μια νέα μέθοδος μέτρησης της κλασματικής διαβροχής πορωδών μέσων από πειράματα εκτόπισης δύο φάσεων" Διδακτορική Διατριβή, Συγγούνη Βαρβάρα, 2007
- Ø "Σχετικές διαπερατότητες και στοχαστική συμπεριφορά των πιέσεων κατά τη διάρκεια της μόνιμης κατάστασης στη διφασική ροή μη αναμίξιμων ρευστών σε πορώδη μέσα" Διπλωματική εργασία, Συγγούνη Βαρβάρα και Σπυρόπουλου Φώτη, 2002
- Ø « Ο Ρόλος Της Δέσμευσης και Αποθήκευσης του CO₂ στην Αντιμετώπιση της Κλιματικής Αλλαγής», Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μετ/κων Ερευνών, Διεύθυνση Γεωθερμίας και Θερμομεταλλικών Υδάτων. Γ. Χατζηγιάννη, γεωλόγου ΙΓΜΕ: 2007
- Ø Ε. Κακαράς, Α. Δουκέλης, Δ. Γιαννακόπουλος, Α. Κουμανάκος: «Τεχνολογικές Δυνατότητες Μείωσης των Εκπομπών CO₂ στον Τομέα της Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ορυκτά Καύσιμα » , ΤΕΕ, 2005
- Ø Whitaker, S., "Flow in porous media II: The governing equations for immiscible two-phase flow", *Transp. Porous Media*, **1**,105, (1986b).
- Ø J.T. Morgan and D.T. Gordon, Influence of pore geometry on water-oil relative permeability. *J. Pet. Technol.* 22 10 (1970)
- Ø Folger, P. (2009). *Carbon Capture and Sequestration (CCS)* (RL33801). Congressional Research Service.
- Ø Bachu, S. (2008). CO₂ Storage in Geological Media: Role, Means, Status, and Barriers to Deployment.
- Ø Herzog, H. (2002). *Carbon Sequestration via Mineral Carbonation: Overview and Assessment*
- Ø «Carbon Dioxide Capture from Existing Pulverized Coal Power Plants», Ciferno, J. P. (2007, May).
- Ø «Advances in CO₂ capture technology - The U.S. Department of Energy's Carbon Sequestration Program» Figueroa, J. D., Fout, T., Plasynski, S., Mcllvried, H., and Srivastava, R. D. (2008).

- Ø «Carbon Capture and Storage: Combining Economic Analysis with Expert Elicitations to Inform Climate Policy» Baker, E. et al. (2009).
- Ø «Prospects for carbon capture and storage technologies». Anderson, S. and Newell, R. (2004).
- Ø «Πετρέλαιο – Παραγωγή – Διύλιση – Προϊόντα» ΛΥΓΕΡΟΣ Α.Ι., Ph.D (1984).
- Ø «Βασικές Αρχές Λειτουργίας Διυλιστηρίων και Κύριος Εξοπλισμός», Τόμος ΙΙ. ΕΛΔΑ.
- Ø Ελληνικά Πετρέλαια -πληροφορίες απο σημειώσεις εργαζομένων
- Ø www.teikoz.gr
- Ø www.wikipedia.com
- Ø www.energia.gr
- Ø www.encapgroup.com
- Ø www.ipcc.ch
- Ø www.bellona.org
- Ø www.physics4u.gr
- Ø www.netl.doe.gov
- Ø www.inegsee.gr
- Ø www.neo.gr
- Ø www.pathfinder.gr