

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, Σχολή Τεχνολογικών
Εφαρμογών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη των τεχνολογιών παραγωγής και επεξεργασίας του υποθαλάσσια εξορυσσόμενου Φυσικού Αερίου και του βέλτιστου τρόπου μεταφοράς του για αποθήκευση(μέσω υποθαλάσσιου αγωγού ή δια υγροποίησης LNG)

Ζωγραφάκης Μάριος

Δρ.Κωνσταντίνος Πίκιος, Αναπληρωτής Καθηγητής

Πάτρα, 2018

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Φοιτητής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο Φοιτητής

(Ζωγραφάκης Μάριος)

.....

(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αρχίζοντας αυτή την πτυχιακή εργασία αξίζει να αναφερθούν τα βασικά τμήματα της επιγραμματικά, με στόχο την αντίληψη των βασικών κινήτρων της εκπόνησης αυτής της πτυχιακής εργασίας. Χωρίζεται σε 7 κεφάλαια και ένα τελευταίο τμήμα που καταγράφει τις πηγές της.

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Το πρώτο κεφάλαιο ασχολείται με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις όλης της διαδικασίας παραγωγής, εκμετάλλευσης, επεξεργασίας και διανομής του φυσικού αερίου. Ο στόχος του πρώτου κεφαλαίου είναι να επισημάνει με απτά στοιχεία και βάσιμες επιστημονικές μελέτες το κακό που έχει προκληθεί και ακόμα προκαλείται από την εκμετάλλευση των υδρογονανθράκων στην χλωρίδα και πανίδα του πλανήτη μας. Επίσης αναφέρει την εξέλιξη στον τρόπο παραγωγής και εκμετάλλευσης των υδρογονανθράκων που κατεπέκταση οδήγησε στην μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Επιπλέον υποδεικνύει πως στην λίστα των τρόπων για μέγιστη πρόληψη κατά των περιβαλλοντικών κινδύνων, διαρκώς προστίθενται καινούργιοι και πως όσο αγνοούμε την περιβαλλοντική ισορροπία απειλείται η ίδια μας η ύπαρξη.

Το πρώτο κεφάλαιο κατά την γνώμη μου είναι το σημαντικότερο όλων και ας είναι το μικρότερο σε έκταση. Στον πλανήτη γή ο άνθρωπος με τις παρεμβάσεις του έχει επιφέρει διαταραχές στην αλυσίδα της ζωής, έχοντας αυξήσει τον αριθμό της απειλούμενης χλωρίδας και πανίδας, απορρύθμιση των καιρικών συνθηκών και σημαντική αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη μας. Είναι στο χέρι μας να αναστρέψουμε την κατάσταση περιορίζοντας δραστικά την υπερψοφία και τον καιροσκοπισμό μας.

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται οι βασικές ιδιότητες που χρησιμοποιούνται ώστε να αναλύουμε, μελετάμε, παράγουμε και διανέμουμε το φυσικό αέριο. Είναι δηλαδή ο πυρήνας της μελέτης και επεξεργασίας του φυσικού αερίου. Χωρίς αυτές τις ιδιότητες δεν θα μπορούσε ο άνθρωπος να εκμεταλλευτεί τον ορυκτό υδρογονανθρακικό πλούτου. Επιγραμματικά οι ιδιότητες αυτές είναι η **πυκνότητα/ ειδικός όγκος, το ιξώδες, ο νόμος των πραγματικών αερίων, αέρια συμπίεστότητα, θερμοχωρητικότητα, θερμική αγωγιμότητα, επιφανειακή τάση και συντελεστής όγκου διαμόρφωσης.**

Είναι άξιο να αναφερθεί ότι το φυσικό αέριο σαν ρευστό είναι αρκετά απρόβλεπτο στην συμπεριφορά του, υπο συνθήκες ελάχιστα διαφορετικές μεταξύ τους ως προς την πίεση και την θερμοκρασία. Με σημαντικές όμως επιστημονικές ομάδες των τελευταίων δεκαετιών αλλά και επιστήμονες των τριών προηγούμενων αιώνων επιτεύχθηκε ο έλεγχος της εξόρυξης, επεξεργασίας και διανομής του. Τα όποια θετικά βήματα προς την ισορροπημένη και αποτελεσματική εκμετάλλευση του φυσικού αερίου οφείλονται στην ακούραστη και υπομονετική μελέτη επιστημόνων της φυσικής, της μηχανικής, της χημείας που μας συνοδεύουν μέχρι και σήμερα με τις γνώσεις τους και την εμπειρία τους, ακόμα και αν δεν βρίσκονται πλέον στην ζωή κάποιοι από αυτούς.

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφω τις μεθόδους επεξεργασίας και διαχωρισμού του φυσικού αερίου αφού εξορυχθεί, καθώς και τους μηχανολογικούς εξοπλισμούς που φέρουν εις πέρας την διαδικασία επεξεργασίας και διαχωρισμού. Είναι το κεφάλαιο που αναδεικνύει την πρακτική εφαρμογή των θερμοδυναμικών, χημικών και ρευστοδυναμικών κανόνων που ασχολούνται με την επεξεργασία των υδρογονανθράκων μέσω των διαχωριστών.

Το συγκεκριμένο κεφάλαιο θα μπορούσε με μεγαλύτερη εμβάθυνση να είναι μια ξεχωριστή πτυχιακή εργασία που αρμόζει κατάλληλα στην επιστήμη της εφαρμοσμένης μηχανολογίας και ως

εκ τούτου, του ΑΤΕΙ Μηχανολογίας της Πάτρας. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρω ότι ο μηχανολογικός εξοπλισμός που περιγράφεται στο κεφάλαιο είναι προσεγγιστικός στην πραγματικότητα, άρα προσεγγιστικά και τα συμπεράσματα που αποκομίζουμε.

4° ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Το τέταρτο κεφάλαιο μελετά την γεωλογική διάταξη των ταμιευτήρων υδρογονανθράκων, καθώς και τους τρόπους που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος για να εκμεταλλευτεί και να μεταβάλλει την γεωλογική αυτή δομή, ώστε να αντλήσει τα υδρογονανθρακικά μείγματα που εγκλείουν εντός τους οι ταμιευτήρες.

Ακόμα, περιγράφει και διαχωρίζει τους ταμιευτήρες με χρονολογικά, γεωλογικά και παραγόμενου προϊόντος κριτήρια. Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια πολύ επιφανειακή προσέγγιση του τι συμβαίνει σε έναν ταμιευτήρα πριν, κατά την διάρκεια και μετά την εξόρυξη, χρησιμοποιώντας πολύ μικρά ψήγματα γνώσεων από την επιστήμη της γεωλογίας και της γεωμηχανικής. Επίσης αναφέρεται επιγραμματικά στον τρόπο που δημιουργήθηκαν οι ταμιευτήρες αυτοί, στα ανώτερα στρώματα του υπεδάφους.

5° ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Στο πέμπτο κεφάλαιο, περιγράφεται η διαδικασία παραγωγής του LNG. Δηλαδή ο τρόπος εξόρυξης του φυσικού αερίου, ο τρόπος διαχωρισμού του όταν δεν είναι αγνό και η ψύξη του όταν πρέπει να μεταφερθεί μέσω θαλάσσης στην στεριά για περαιτέρω διανομή. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται στον μηχανισμό λειτουργίας της ψύξης και πως αυτός εφαρμόζεται στο φυσικό αέριο. Επίσης αναλύονται οι διαφορετικοί τρόποι ψύξης του φυσικού αερίου με τα αρνητικά και τα θετικά τους ο καθένας.

Ακόμα, περιγράφονται αναλυτικά όλα τα μοντέλα θαλάσσιας εκμετάλλευσης του υδρογονάνθρακα, μαζί με μια μικρή ιστορική αναδρομή. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του κάθε μοντέλου, καθώς και τις περιβαλλοντικές συνθήκες που το κάθε ένα έχει την μέγιστη αποτελεσματικότητα. Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου αναφέρω επιγραμματικά τα πλοία LNG καθώς και τις εγκαταστάσεις FPSO. Με αυτόν τον τρόπο κάνω μια μικρή εισαγωγή για το 6° κεφάλαιο.

6° ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται η λειτουργία των LNG πλοίων, ο εξοπλισμός υποδοχής και αποθήκευσης του LNG, ο ρόλος του συστήματος αδρανούς αερίου και εν γένει, η φύση του αδρανούς αερίου. Ακόμα περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία φόρτωσης και εκφόρτωσης του LNG, όπως και οι σταθμοί υποδοχής του LNG που αεροποιούν το προϊόν πριν το διοχετεύσουν σε αγωγούς φυσικού αερίου.

Έπειτα περιγράφεται ένα FPSO πλοίο. Πιο συγκεκριμένα ο τρόπος λειτουργίας του σε υπεράκτιες περιοχές, εκεί που τα θαλάσσια βάθου είναι πολύ μεγάλα και ο υποθαλάσσιος πλούτος αρκετός για να μπει ο άνθρωπος στην διαδικασία εκμετάλλευσης του, παρά τις αντίξοότητες. Αναλύονται όλα τα τμήματα του πλοίου καθώς και ο περιφερειακός εξοπλισμός του. Τέλος, επισημάνεται ξανά η επιλογή της κατάλληλης ψυκτικής εγκατάστασης με κριτήριο κατά προτεραιότητα τις αντίξοες καιρικές συνθήκες.

Τέλος γίνεται μια μικρή ιστορική αναδρομή των LNG πλοίων, δηλαδή πότε φτιάχθηκαν τα πρώτα, η εξέλιξη στο θέμα των χωρητικότητων τους και που βρίσκεται σήμερα η τεχνολογία των πλοίων LNG. Ειδικά στον τομέα της κατασκευής των LNG πλοίων το μέλλον προδιαγράφεται λαμπρό, μιας που υπάρχει η τάση να δημιουργούνται μονάδες LNG πλοίων γρήγορες, ευέλικτες και με αξιόλογο χώρο αποθήκευσης παραγόμενου προϊόντος που έχουν και σύστημα ψύξης στις εγκαταστάσεις τους.

7^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Στο έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο, περιγράφεται ο ρόλος της Ελλάδας σε αυτό το ενεργειακό παιχνίδι. Γίνεται μια ιστορική αναδρομή στις παλαιότερες απόπειρες εκμετάλλευσης του υδρογονανθρακικού πλούτου της χώρας σε θάλασσα και στεριά. Επιπλέον περιγράφεται η παρούσα κατάσταση, που υποδεικνύει την ύπαρξη υδρογονανθράκων σε θαλάσσια και στεριανά οικόπεδα της ελληνικής επικράτειας.

Πιο συγκεκριμένα, τα λάθη που έχουν γίνει και δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ακόμα σε ευρεία βάση τα υδρογονανθρακικά ευρήματα της χώρας, καθώς και τις απόπειρες των εκάστοτε κυβερνήσεων από το 2000 και μετά ώστε να γίνει κάτι, όσον αφορά τα ευρήματα αυτά. Ακόμα, αναφέρεται το μέλλον της Ελλάδας στο ενεργειακό παιχνίδι στα νοτιοανατολικά της βαλκανικής χερσονήσου, η οικολογική στροφή που οφείλει η χώρα να πάρει με το να απαλλαγεί από την παραγωγή ενέργειας μέσω του λιγνίτη και να στραφεί στον αέριο υδρογονάνθρακα, την ηλιακή και αιολική ενέργεια.

Το τελευταίο κεφάλαιο θα μπορούσε να είναι μια ξεχωριστή πτυχιακή εργασία, με πολιτικοοικονομική κατεύθυνση. Δηλαδή, τι προοπτικές υπάρχουν για την Ελλάδα, μετά την ανακάλυψη του ορυκτού πλούτου της. Ποιοι πολιτικοί χειρισμοί πρέπει να γίνουν για να βγούν κερδισμένοι οι κάτοικοι αυτής της χώρας και να μην καταλήξει η Ελλάδα σαν πολλές χώρες της Αφρικής, της Μέσης Ανατολής και της Νότιας Αμερικής, που σφύζουν από ορυκτό πλούτο και η φτώχεια της πληθυσμιακής πλειοψηφίας είναι πολύ υψηλή.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

Περιβάλλον και εξόρυξη Φυσικού Αερίου

- [Σελίδα: 6-17](#)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

Βασικές ιδιότητες Φυσικού αερίου

- [Σελίδα: 18-73](#)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:

Επεξεργασία Φυσικού Αερίου

- [Σελίδα: 74-103](#)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:

Μηχανική υπόγειων ταμιευτήρων

- [Σελίδα: 104-140](#)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:

Τεχνολογία εκμετάλλευσης και επεξεργασίας Φυσικού Αερίου σε εγκαταστάσεις εν πλω

- [Σελίδα: 141-167](#)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:

Πλοια LNG και FPSO εγκαταστάσεις

- [Σελίδα: 168-180](#)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:

Κοιτάσματα υποθαλάσσιου ρευστού υδρογονάνθρακα στην Ελλάδα και ενεργειακές προοπτικές της χώρας

- [Σελίδα: 181-203](#)

ΠΗΓΕΣ:

- [Σελίδα: 204-212](#)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΕΞΟΡΥΞΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΕΞΟΥΣΙΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Εισαγωγή(1)

Ο άνθρωπος από την εποχή που ανακάλυψε τη δύναμη των εξορυσσόμενων υλικών στον πλανήτη πασχίζει να τα χρησιμοποιεί, ώστε να κατασκευάζει και να δίνει ενέργεια σε πάρα πολλά μέσα που διευκολύνουν την καθημερινή ζωή του. Τα μέσα αυτά περιλαμβάνουν ένα τεράστιο εύρος κατασκευών που τα βλέπουμε είτε είμαστε μέσα στο σπίτι μας, είτε βρισκόμαστε στον δρόμο, είτε σε μία μεγάλη εργοστασιακή εγκατάσταση, είτε είμαστε εκτός της γης σε ένα διαστημόπλοιο.

Ας φανταστούμε έναν κόσμο χωρίς φως, χωρίς οχήματα, χωρίς ηλεκτρική ενέργεια, χωρίς σύγχρονες μεθόδους παραγωγής και διανομής προϊόντων οποιασδήποτε κατηγορίας. Η επιστημονική κοινότητα δεν θα είχε καταφέρει τίποτα από όσα έχουν επιτευχθεί σε τόσο μικρό χρονικό διάστημα χάρη σε αυτά τα υλικά εξόρυξης. Όμως η εκτεταμένη χρήση αυτών των υλικών εκτός από διευκολύνσεις στη ζωής μας αλλά και στην ίδιας μας την εξέλιξη έχει φέρει ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που διχάζουν και προβληματίζουν όλους τους ανθρώπους που λέγεται περιβαλλοντική μόλυνση.

Κάποτε η γη ήταν ένα αφιλόξενο μέρος για ζώντες οργανισμούς καθώς χρειάστηκαν εκατομμύρια χρόνια για να φτάσει στο σημερινό σταθερό στάδιο, ώστε να μπορεί να φιλοξενεί τόσα διαφορετικά είδη χλωρίδας και πανίδας. Ακόμα και σήμερα όλα τα όντα συνεισφέρουν στην περιβαλλοντική μόλυνση αφού παράγουν απόβλητα (φυσικά οργανικά απόβλητα). Όμως ο πλανήτης μας μπορεί μέσα από διάφορους μηχανισμούς αυτά να τα διασπά και να τα μετατρέψει σε άκακα υλικά.

Δεν γίνεται όμως το ίδιο με τα απόβλητα που δημιουργεί ο άνθρωπος λόγω της χρήσης εξορυσσόμενων υλικών. Βέβαια ο πλανήτης μας καταφέρνει κάποια από αυτά και τα διαχειρίζεται άμεσα. Κάποια όμως δεν μπορεί να τα αντιμετωπίσει άμεσα, οπότε παραμένουν στο περιβάλλον σε λυμαινύσα μορφή για δεκαετίες ή και εκατονταετίες (πλαστικό) με αποτέλεσμα να δημιουργούν αρνητικές επιπτώσεις στους οργανισμούς που ζουν σε αυτόν.

Η περιβαλλοντική μόλυνση παίζει τον ρόλο του απορρυθμιστή της σταθερότητας που είναι απαραίτητη ώστε ο πλανήτης μας να παραμένει φιλόξενος για όλους τους έμβιους οργανισμούς.

Εδώ κάποιος θα μπορούσε να πει πως αφού τα εξορυσσόμενα υλικά είναι μέρος του πλανήτη η εξόρυξη τους είναι κάτι το καταστροφικό. Είναι καταστροφικό διότι αυτά τα υλικά ή τα παράγωγά τους μολύνουν τώρα το περιβάλλον των ζώντων οργανισμών, ενώ αυτά αρχικά βρισκόντουσαν στα έγκατα της γης. Ακόμα και τυχόν εμφανίσεις τους στην επιφάνεια της, είτε στα διάφορα

οικοσυστήματα είτε στους οργανισμούς ήταν τότε σε ποσότητες κατάλληλες για τους ζώντες οργανισμούς.

Η μόνη λύση στο πρόβλημα αυτό είναι να ανακαλύπτουμε διαρκώς νέες μεθόδους που θα βοηθούν στην περιβαλλοντική κάθαρση ή ακόμα καλύτερα στην πρόληψη, ώστε να συνεχίσουμε τις εξορυκτικές μας δραστηριότητες, χωρίς όμως να φέρνουμε ανισορροπία στα εκάστοτε οικοσυστήματα στα οποία παρεμβαίνουμε.

Συνειδητοποιώντας τα παραπάνω ας μπούμε στην διαδικασία να ασχοληθούμε με το εξορυσσόμενο φυσικό αέριο.

ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ(1)

Το φυσικό αέριο όπως γνωρίζουμε αποτελείται κυρίως από μεθάνιο(CH_4) κατά 90%. Υπάρχουν όμως σε πολύ μικρά ποσοστά και διοξείδιο του άνθρακα, νερό, υδράργυρος, υδρόθειο κ.α. (1).

1.1)Μολύνσεις και διαρροές του φυσικού αερίου(40)

Η εξόρυξη του καθώς και η χρήση του προκαλεί το λεγόμενο φαινόμενο του θερμοκηπίου, το φωτοχημικό και υδρογονοσωματιδιακό νέφος, ρύπανση των υδάτων.

1.1.α)Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Η αρχική έννοια του φαινομένου του θερμοκηπίου αφορούσε την λειτουργία της ατμόσφαιρας να διατηρεί έναν συγκεκριμένο μέσο όρο θερμοκρασίας με την χρήση ορισμένων διαδικασιών. Τα τελευταία όμως χρόνια αυτό το φαινόμενο συνδέεται με την αύξηση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, του μεθανίου και των οξειδίων του αζώτου.

Η αύξηση της ποσότητας αυτών των χημικών ενώσεων αύξησαν αντίστοιχα την ικανότητα της ατμόσφαιρας να απορροφά την υπέρυθη ακτινοβολία του ήλιου που ανακλάται στην επιφάνεια της γης μετά την πρώτη είσοδο του ηλιακού φωτός στην ατμόσφαιρα. Σαν αποτέλεσμα αυτού, έχουμε την αύξηση του μέσου όρου της θερμοκρασίας της γης.(40)

1.1.β)Φωτοχημικό και υδρογονοσωματιδιακό νέφος(41)

Το φωτοχημικό νέφος είναι ρύπανση που προκαλείται από την συσσώρευση αέριων ρύπων των οξειδίων του αζώτου, του μονοξειδίου του άνθρακα και του όζοντος. Λέγεται έτσι διότι τα οξειδία του αζώτου σε συνδυασμό με τις ακτίνες του ηλίου δημιουργούν το όζον. Το υδρογονοσωματιδιακό νέφος είναι σωματίδια και διάφοροι πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες που είναι άκρως καρκινογόνοι. Τα δύο παραπάνω παρατηρούνται στις μεγαλουπόλεις λόγω της ύπαρξης μηχανών εσωτερικής καύσης (οχήματα) και βιομηχανιών(41).





Φωτοχημικό νέφος και φαινόμενο του θερμοκηπίου(1α,1β,1γ)

1.1.γ) Ρύπανση των υδάτων(43)

Ρύπανση των υδάτων έχουμε όταν υπάρχει μία ανεπιθύμητη μεταβολή των φυσικοχημικών και βιολογικών ιδιοτήτων του νερού στα διάφορα υδάτινα οικοσυστήματα. Οι ρύποι που εκπέμπονται είτε διαλύονται είτε επικάθονται στα κατώτερα σημεία του υδάτινου οικοσυστήματος και σε συνδυασμό με τους ατμοσφαιρικούς ρύπους που παροχετεύονται μέσω της βροχής και των απορροών αυξάνουν εκθετικά το πρόβλημα.

Η ρύπανση των υδάτων πραγματοποιείται είτε λόγω των αστικών και αγροτικών αποβλήτων είτε λόγω των βιομηχανικών αποβλήτων. Μερικές από αυτές τις πηγές ρύπανσης έχουν σαν κύριο συστατικό το πετρέλαιο, τα παράγωγά του καθώς και το φυσικό αέριο(43).





Ρύπανση υδάτων(1δ,1ε,1στ)

1.1.δ) Διαρροές του φυσικού αερίου

Γνωρίζουμε όλοι περιστατικά διαρροών του φυσικού αερίου και από το σημείο εξόρυξης αλλά και από τα μέσα μεταφοράς του είτε είναι καράβια είτε είναι αγωγοί φυσικού αερίου, είτε φορτηγά. Οι επιπτώσεις στα οικοσυστήματα άλλες φορές είναι ανυπολόγιστες, άλλες φορές οριακά αντιμετωπίσιμες, και άλλες φορές είναι πολύ μικρές. Σίγουρα, και στις τρεις περιπτώσεις παρατηρείται έλλειψη ισορροπίας και αρμονίας στα οικοσυστήματα είτε για μικρό χρονικό διάστημα της τάξεως των λίγων χρόνων ή μηνών, ή για δεκαετίες. Παρακάτω παραθέτω κάποια ενδεικτικά παραδείγματα.

Παράδειγμα 1: 18 Μαρτίου 1937, Texas, USA: Έκρηξη φυσικού αερίου σε σχολείο. 300 νεκροί(47).

Παράδειγμα 2: 9 Ιουνίου 1984 Acachapan, Mexico: Αγωγός φυσικού αερίου εξερράγη κατά την διάρκεια επισκευών. 41 νεκροί και 9 τραυματίες(44).

Παράδειγμα 3: 4 Ιουνίου 1989 Σιβηρία, Ρωσία: Πριν το συμβάν είχε παρατηρηθεί αύξηση της πίεσης της σωληνογραμμής του αγωγού που μετέφερε υγραέριο. Οι μηχανικοί αύξησαν την πίεση σε αυτόν τον αγωγό με αποτέλεσμα την αστοχία υλικού και κατά συνέπεια την έκρηξη. 462 νεκροί και 706 τραυματίες(44).

Παράδειγμα 4: 28 Σεπτεμβρίου 1993 Las Tejerias, Venezuela: Αγωγός φυσικού αερίου εξερράγη κατά την διάρκεια εγκατάστασης καλωδίων ενσύρματης τηλεφωνίας. 40 νεκροί και 50 τραυματίες(44).

Παράδειγμα 5: 23 Μαρτίου 1994 New Jersey, USA: Κατά τη διάρκεια εκσκαφής, ο αγωγός υπέστη ρωγμές που την επομένη μέρα οδήγησαν σε αστοχία υλικού και προφανώς έκρηξη. 1 νεκρός και 50 τραυματίες(44,45).

Παράδειγμα 6: Αρχές Σεπτεμβρη 2010, San Francisco, USA: Έκρηξη φυσικού αερίου σε αγωγό 4 νεκροί(48).

Παράδειγμα 7: 27 Σεπτεμβρη 2013, Luzhou City, China: Έκρηξη φυσικού αερίου σε εμπορικό κέντρο. 4 νεκροί και 30 τραυματίες(49).

Παράδειγμα 8: 16 Αυγούστου 2014 Danville, USA: Έκρηξη σε κτίριο όταν φορτηγό όπου μετέφερε φυσικό αέριο το εμβόλισε με υψηλή ταχύτητα. 6 τραυματίες(46).

Τα παραπάνω παραδείγματα βλέπουμε ότι επικεντρώνονται μόνο στις απώλειες της ανθρώπινης ζωής, παρόλα αυτά τα συγκεκριμένα ατυχήματα και άλλα πολλά, που δεν υπάρχει ανάγκη να τα καταγράψω, αφήνουν ίχνη ουσιών στην περιοχή των εκρήξεων. Επίσης, οι περισσότερες από αυτές τις εκρήξεις προκάλεσαν πρόβλημα και σε ένα μεγάλο εύρος ζώων τα οποία είχαν τις φωλιές τους εκεί, ή τρέφονταν σε εκείνη την περιοχή και όλα αυτά σε συνδυασμό με την καταστροφή του φυσικού τους περιβάλλοντος (χλωρίδα).

Για να είμαστε όμως ακριβοδίκαιοι πρέπει να επισημάνουμε πως τα ατυχήματα αυτά έγιναν από ανθρώπινα λάθη. Δηλαδή, λάθος χειρισμούς κατά την εγκατάσταση ή την επισκευή ή την μεταφορά κ.α. Επίσης, τα ατυχήματα λόγω του φυσικού αερίου είναι σε μόλυνση και σε επίπεδο θανάτων μικρότερα από αυτά του πετρελαίου και άλλων. Τέλος, το ότι υπάρχουν ατυχήματα δεν σημαίνει πως πρέπει να μηδενίζουμε τις προσπάθειες αυτών οι οποίοι εξορύσσουν και διανέμουν το φυσικό αέριο. Να είμαστε αυστηροί με τα μέτρα ασφαλείας, να υπάρχουν κυρώσεις, αλλά ο μηδενισμός δεν ήταν, ούτε θα είναι ποτέ η λύση.

1.2)ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΑΠΕΝΑΝΤΙ ΣΤΟΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΚΙΝΔΥΝΟ

Στον αντίποδα της μόλυνσης που προξενείται από την εξόρυξη και χρήση του φυσικού αερίου, οι εταιρίες καθώς και τα κράτη που ασχολούνται με αυτόν τον τομέα με την πάροδο του χρόνου και μετά από πολλά περιστατικά που αποδεικνύουν **την έλλειψη ουσιαστικής αντίληψης των κινδύνων καθώς και την αδιαφορία τους**, έχουν μπει πλέον στην διαδικασία ‘ενηλικίωσης’ και αναπτύσσουν μεθόδους και πρακτικές που βελτιώνουν αρκετά την δυσμενή αντίληψη της κοινής γνώμης.

Σαφώς, υπάρχουν φοβερές δυνατότητες βελτίωσης και αντιμετώπισης του προβλήματος, αλλά ήδη παρατηρούνται θετικά δείγματα προς την κατεύθυνση της καλλιέργειας της οικολογικής συνείδησης από κάποιες εταιρίες ιδίως στις ανεπτυγμένες χώρες όπου εδρεύουν. Παρακάτω θα παραθέσω παραδείγματα εταιριών με αυτά τα θετικά δείγματα, τα οποία αποκόμισα από τα site αυτών των εταιριών.

1.2.α)Exxon Mobil(9,10,11)

Το φυσικό αέριο περιέχει τις μικρότερες συγκεντρώσεις άνθρακα. Έχει 60% λιγότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τον άνθρακα που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Το 2012, η συγκεκριμένη εταιρία μείωσε κατά 8% σε σχέση με το 2011 τις σύνθετες εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων(volatile organic compound),το διοξείδιο του θείου (SO₂),τα οξείδια του αζώτου(NO_x). Επίσης το 2012 οι ενώσεις αυτές σε σχέση με το 2002 ήταν μειωμένες κατά 42%.

Ακόμα αξιολογούν τον εξοπλισμό τους (τουρμπίνες αερίου κ.α) για το πόσο μειώνουν τις εκπομπές των οξειδίων του αζώτου. Επίσης, στην πόλη Baytown του Texas,USA έχουν μια εγκατάσταση που ελέγχεται από κάμερες τύπου ‘Smart Lidar’ για να εντοπίζουν πηγές διαρροών σε όλη την εγκατάσταση. Στον πρώτο χρόνο χρήσης των καμερών αυτών παρατηρείται μία μείωση των πτητικών οργανικών ενώσεων κατά 10%,ενώ έχει γίνει αγορά και άλλων καμερών και αυξάνεται η χρήση τους παγκόσμια.

Τέλος, μέσα από διαγράμματα αέριων διαρροών παρατηρείται μία διαρκής μείωση των παραπάνω ανεπιθύμητων αέριων διαρροών τα τελευταία 4 χρόνια{2010,2011,2012,2013}(9,10,11).

1.2.β) Trance Canada(16)

Η συγκεκριμένη εταιρία αναπτύσσει καινοτόμους μεθόδους να διαχειρίζεται τις κλιματικές αλλαγές και τα ζητήματα της ποιότητας του αέρα. Επιλύει τα παραπάνω προβλήματα σε οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο σε συνεργασία με τα κράτη των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής και του Καναδά. Δηλώνει πως κύριο ενδιαφέρον της είναι το οικολογικό αέριο (greenhouse gas) και οι αέριες εκπομπές σε συνδυασμό με τον υγιή ανταγωνισμό.

Επισημαίνει πως θα παρακολουθεί στενά τις αέριες εκπομπές των διεργασιών της και θα εισάγει την μέθοδο της αξιολόγησης στα περιβαλλοντικά ζητήματα

Θεωρεί πως οι χαμηλές εκπομπές (διαρροές) φυσικού αερίου που η ίδια αγωνιά να επιτύχει είναι η λύση για την υπερθέρμανση του πλανήτη, ενώ τέλος υποστηρίζει την επέκταση των τεχνολογικών εφαρμογών για την μείωση των διαρροών του αερίου(16).

1.2.γ) Marathon Oil

Η Marathon Oil υποστηρίζει πως για να παραχθεί ενέργεια υπεύθυνα καθώς θα επεκτείνουν τις δραστηριότητες τους, θα πρέπει να κατανοήσουν το περιβάλλον και να επιδιώξουν τον έλεγχο του περιβαλλοντικού κόστους. Αυτή η προσπάθεια συμπεριλαμβάνει την χρήση φυσικών πόρων, εξαλείφοντας ή μειώνοντας δραστικά πιθανές δυσμενείς επιπτώσεις σε στεριά, αέρα, νερό και πανίδα(27).

Πιο συγκεκριμένα, για τις αέριες εκπομπές και τις πιθανές επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου, αναγνωρίζουν την ανάγκη για την ανάπτυξη φυσικών πηγών που θα καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες του πλανήτη. Η εταιρία επίσης δεσμεύεται να εντοπίζει και να εξορύσσει πετρέλαιο και φυσικό αέριο με ασφαλή τρόπο, συμπεριλαμβανομένου ελέγχου για αέρια που θα επιβαρύνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου(28).

Για την βιοποικιλότητα(29)αναφέρουν την συνεισφορά τους στην θέσπιση νόμων για την προστασία του περιβάλλοντος και της άγριας ζωής σε συνεργασία με τις τοπικές κοινωνίες και κυβερνήσεις. Αυτό το πετυχαίνουν διεξάγοντας αξιολογήσεις για είδη που βρίσκονται σε κίνδυνο μέσω περιβαλλοντικών εκθέσεων, ώστε να εκδώσουν κατάλληλες άδειες για τις διεργασίες που θέλουν να υλοποιήσουν, είτε να αλλάξουν κάποια άδεια, είτε να καθυστερήσουν την έκδοση της με στόχο να προστατευθούν απειλούμενα ή υπό απειλή είδη καθώς και οι βιότοποί τους.

Επίσης, διεξάγει μελέτες για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διεργασιών της, ώστε να παγιωθούν και να αυξηθούν οι κανονισμοί που αφορούν την ίδρυση μιας νέας εγκατάστασης. Τέλος, εισήγαγε μέλη της στην οργάνωση WHC, ώστε να υπάρχουν διάλογοι επικοινωνίας μεταξύ της εταιρίας και της περιβαλλοντικής αυτής οργάνωσης(29).

Αναφέρεται επίσης πως χρησιμοποιώντας εξελιγμένες μεθόδους εξόρυξης δηλαδή πλατφόρμες από ασφάλι και τσιμέντο, συγκρατούν και διαχωρίζουν τις ουσίες της εξόρυξης από το πόσιμο νερό στα πηγάδια(30).

1.2.δ) Shell

Η εταιρία αυτή αναγνωρίζει(32) την αυξανόμενη ανάγκη για ενέργεια καθώς και ότι τα σπάνια της ζωής αυξάνονται και πως για το μέλλον του κόσμου που κινείται από την ενέργεια πρέπει να φροντίζουμε από σήμερα για την επιβίωση και την εξέλιξη του. Έτσι η επιχείρηση Shell λειτουργεί βάσει της ασφάλειας, της υπευθυνότητας, της αποτελεσματικότητας καθώς και της βιωσιμότητας της.

Επίσης, μοιράζεται τα οφέλη της επιχείρησης με τις κοινότητες στις οποίες επιχειρεί, και επιδιώκει την σταθεροποίηση του ενεργειακού μέλλοντος επενδύοντας σε χαμηλού άνθρακα τεχνολογίες σε συνεργασία με άλλες εταιρίες και οργανισμούς σε παγκόσμιες ενεργειακές προκλήσεις(32).

Πιο συγκεκριμένα έχει παγκόσμια σπάνια, διαδικασίες και εργαλεία στα κατάλληλα σημεία για να εξασφαλισθεί η ασφάλεια και η συμβολή της στην περιβαλλοντική κοινότητα. Βελτιώνει διαρκώς τον τρόπο εργασίας ώστε να αποφευχθούν ή να μειωθούν στο ελάχιστο περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις σε όλο το εύρος των διεργασιών της. Τέλος, συντάσσει εκθέσεις που σχετίζονται με τις επιδόσεις της στη ετήσια διεθνή έκθεση αειφορίας.(33)

Οι επιχειρήσεις της Shell λόγω του ότι εκτελούν εργασίες σε βάθος χρόνου, βοηθούν να αναπτυχθούν οι τοπικές οικονομίες δίνοντας δουλειά σε εργατικό προσωπικό της περιοχής, προμηθεύονται τα υλικά από τοπικούς προμηθευτές και πληρώνουν φόρους και δικαιώματα, ενώ υποστηρίζουν κοινωνικά πρότζεκτ που βασίζονται στις ανάγκες των κοινωνιών που εδρεύουν(33).

1.2.ε) BP

Η συγκεκριμένη εταιρία κάνει εκθέσεις για ζητήματα που συνδέονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου λόγω αέριων διαρροών, υδατικής ευαισθησίας στην μόλυνση και προστατευόμενων περιοχών. Για παράδειγμα η σπανιότητα του νερού είναι ένα πιθανό ρίσκο για τις διεργασίες της εταιρίας, που εργάζεται στο να αναπτύξει εργαλεία και διαδικασίες στις εκάστοτε επιχειρήσεις της, ώστε να γίνει διαχειρίσιμο το ρίσκο αυτό(38).

1.3)ΟΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ (52)

Η βιομηχανία πετρελαιοειδών ενέχει πολλούς κινδύνους για το περιβάλλον και επιδρούν οι κίνδυνοι αυτοί στον αέρα, το νερό, την γη, και στο άθροισμα των ζώντων οργανισμών. Η μεγαλύτερη ζημιά γίνεται μέσω της μόλυνσης σε όλα τα στάδια επεξεργασίας υγρού και αέριου υδρογονάνθρακα: Απο το στάδιο της εξόρυξης, έως το στάδιο της τελικής επεξεργασίας των υδρογονανθρακικών κλασμάτων(πετρέλαιο κίνησης, πετρέλαιο θέρμανσης, βενζίνη, μαζούτ, κηροζίνη κ.α). Τέτοιες μολύνσεις είναι η το νερό που αντλείται απο τον ταμειυτήρα μαζί με τον υδρογονάνθρακα, διαρροές αερίων και στέρεα μολυσμένα πετρώματα.

Άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι η ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου, η αύξηση της ποσότητας της όξινης βροχής, πτώση της ποιότητας του πόσιμου νερού, μόλυνση των υπόγειων υδάτινων ρευμάτων κ.α. Οι εταιρίες παραγωγής υδρογονανθράκων ευθύνονται για τις απώλειες βιοποικιλότητας στις περιοχές που δραστηριοποιούνται, καθώς και την καταστροφή μοναδικών οικοσυστημάτων.

Αξίζει να σημειωθεί πως οι εγκαταστάσεις κλασμάτωσης του αργού πετρελαίου είναι απο τους πρωταθλητές στη μόλυνση, καταναλώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας και νερού και μολύνουν ανεπανόρθωτα το νερό που χρησιμοποιούν, απελευθερώνοντας επικίνδυνες ποσότητες βλαβερών αερίων, και στέρεων λυμάτων που δύσκολα υπόκεινται σε επεξεργασία και μείωση της ρυπαντικής τους ικανότητας.

Συμπερασματικά, οι εταιρίες εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων έχουν την τάση να θέλουν να αυξήσουν τα κέρδη τους. Ενώ φαινομενικά η λήψη μέτρων προστασίας του περιβάλλοντος τα μειώνει, στην πραγματικότητα μακροπρόθεσμα τα αυξάνει αφού βελτιώνουν το δημόσιο πρόσωπό τους και γίνονται δημοφιλείς, διότι οι νέες γενιές έχουν μεγαλύτερη ευαισθητοποίηση σε θέματα οικολογίας και είναι βασικό κριτήριό τους ως καταναλωτές να απευθύνονται σε εταιρίες που σέβονται το περιβάλλον και έχουν οικολογική συνείδηση.

Ουσιαστικά, οι εταιρίες εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων βελτιώνοντας και τροποποιώντας προς το καλύτερο το σκληρό κερδοσκοπικό τους πρόσωπο κατάφεραν οι καταναλωτές να παύουν να τους βλέπουν σαν τους κακούς της υπόθεσης, και να αρχίζουν να τους εκτιμούν σαν τις εταιρίες που τους παρέχουν αγαθά ανεκτίμητης αξίας, και νοιάζονται για τον πλανήτη που θα αφήσουν στις επόμενες γενεές.

Αυτή η μεταβολή μόνο θετικό πρόσημο μπορεί να έχει διότι σφυρηλατούνται νέοι άνθρωποι που εργάζονται στον χώρο της εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων και έχουν σαν προτεραιότητα τον σεβασμό στο οικοσύστημα που επενεργούν. Στο μέλλον πιστεύω πως το ανθρώπινο δυναμικό που δουλεύει στις εταιρίες εκμετάλλευσης υδρογονάνθρακα θα είναι αυτό που θα κάνει τα πρώτα βήματα για την εξολοκλήρου παραγωγή μη ρυπογόνας μηχανικής, θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας.

Όμως, υπάρχουν εταιρίες που δεν θεωρούν υψηλής προτεραιότητας τον σεβασμό στο περιβάλλον αφού πιστεύουν πως η μεταστροφή σε μια οικολογική παραγωγή του υδρογονάνθρακα θα είναι η αρχή του τέλους τους. Για αυτό και έχουν μια ψυχρή αντιμετώπιση σε κάθε οικολογική καταστροφή που προκαλούν.

Αυτή η ψυχρότητα φαίνεται και από το γεγονός πως υποβιβάζουν τις προσπάθειες των περιβαλλοντικών οργανώσεων δηλώνοντας πως οι επιστήμονες που είναι ταγμένοι στην οικολογική εκμετάλλευση των φυσικών πόρων είναι υπερβολικοί για το μέγεθος της περιβαλλοντικής καταστροφής που προκαλούν οι εταιρίες εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων, ενώ παράλληλα υπενθυμίζουν στην κοινή γνώμη ότι εξαιτίας αυτών των εταιριών υπάρχουν δουλειές για να βιοπορίζεται ένας πραγματικά μεγάλος αριθμός οικογενειών.

Αυτό όμως που επίτηδες δεν βλέπουν είναι ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καταλαμβάνουν όλο και μεγαλύτερη μερίδα χρήσης απο τους καταναλωτές, και ότι δεν τους ενδιαφέρει μόνο το ζην αλλά και το ευ ζην. Αφού λοιπόν η χρήση πετρελαιοιδών δεν είναι πλέον μονόδρομος, για να είναι πιο ανταγωνιστικές οι πετρελαϊκές εταιρείες ως προς τις νέες εναλλακτικές πηγές ενέργειας, οφείλουν να επενδύσουν σε αυτές και να μετεκπαιδεύσουν το ανθρώπινο δυναμικό για να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις της αγοράς, όπως έχουν διαμορφωθεί τα τελευταία χρόνια. Τέλος, ας μην ξεχνάμε ποτέ ότι ο πλανήτης υπήρχε πριν απο μας και υποστήριζε την ύπαρξη ζωής και πριν απο εμάς. ΕΜΕΙΣ ΤΟΝ ΕΧΟΥΜΕ ΑΝΑΓΚΗ για να συνεχίζουμε να υπάρχουμε.

Παρακάτω (52) βλέπουμε τους κινδύνους που ενέχει η παραγωγή και επεξεργασία υδρογονάνθρακα και οι τρόποι πρόληψης και αντιμετώπισης των κινδύνων αυτών.

<ul style="list-style-type: none"> · Μόλυνση του νερού λόγω των λυμάτων που ενέχει, όταν χρησιμοποιείται σαν μέσο για καθαρισμό και πάγωμα των υδρογονανθρακικών αποβλήτων. Μόλυνση του νερού όταν υπάρχει το φαινόμενο διαρροής απο δεξαμενές αποθήκευσης υδρογονάνθρακα και απο δεξαμενές υδρογονανθρακικών αποβλήτων · Μόλυνση του νερού λόγω αποβολής υδάτινων αποβλήτων πλούσια σε ανόργανα άλατα που δεν έχουν υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία(αλατούχα μόλυνση->saline pollution) · Θερμική ρύπανση λόγω αποβολής λυμάτων με θερμοκρασίες υψηλότερες απο την θερμοκρασία της ποσότητας νερού που υποδέχεται τα λείματα αυτά · Μόλυνση του νερού εξαιτίας ποσοτήτων πετρελαίου που χύνονται σε αυτό 	<ul style="list-style-type: none"> · Δεν πρέπει καμία ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία υδρογονάνθρακα να εξαπολύεται σε ποτάμια ή άλλα υδάτινα περιβάλλοντα χωρίς ειδική επεξεργασία κάθαρσης και φιλτραρίσματος. · Τα υδάτινα απόβλητα πρέπει να υπόκεινται στις εξής επεξεργασίες: Ουδετεροποίηση,ατμοποίηση, εξαερισμός, κροκκίδωση, διαχωρισμός πετρελαίου και λοιπωδών ουσιών, προσρόφηση άνθρακα, αντίστροφη όσμωση,διαδικασία ανταλλαγής ιόντων, βιοεπεξεργασία. · Η αποβολή υγρών λυμάτων σε υδάτινα περιβάλλοντα πρέπει να γίνεται με τις προδιαγραφές που ορίζει το εκάστοτε κράτος μέσω ψηφισμένων συνταγματικών νόμων. · Υλικά που κινδυνεύουν να διαρρεύσουν λόγω βροχής πρέπει να αποθηκεύονται σε εγκαταστάσεις που διαθέτουν αποχετευτικό σύστημα, ώστε να αποφευχθεί η μόλυνση των βρόχινων νερών. · Οι εγκαταστάσεις που αποθηκεύονται και κρατούνται προσωρινά πρώτες ύλες και προϊόντα πρέπει να έχουν υδατοπροστασία και συστήματα αποχέτευσης, ώστε οποιαδήποτε ποσότητα νερού που μολυνθεί να υποστεί επεξεργασία καθαρισμού πριν κατευθυνθεί στον υδροφόρο ορίζοντα.
<ul style="list-style-type: none"> · Διαρροές σωματιδίων στην ατμόσφαιρα που δημιουργούνται κατά την διάρκεια λειτουργίας των εγκαταστάσεων παραγωγής και εγκαταστάσεων κλασμάτωσης. 	<ul style="list-style-type: none"> · Οι διαρροές των σωματιδίων μπορούν να περιοριστούν με εξοπλισμό όπως οι κυκλώνες(cyclones), φίλτρα σακούλας, κατακριμνηστής(precipitators) και πύργους καθαρισμού · Οι όξινες διαρροές όπως το θειικό οξύ και το οξειδίο του αζώτου, μπορούν να περιοριστούν με την χρήση πύργων υγρού καθαρισμού · Οι διαρροές σκόνης απο εξέδρες και εξωτερικούς χώρους που δεν ενέχουν χημικά βλαβερά κατάλοιπα μπορούν να περιοριστούν με σπρέϊ νερού
<ul style="list-style-type: none"> · Θειικό οξύ και οξειδία του αζώτου, αμμωνία, όξινη σκόνη και διαρροές αέριων φθοριούχων ενώσεων κατά την διάρκεια παραγωγής και κλασμάτωσης. 	<ul style="list-style-type: none"> · Οι αέριες διαρροές μπορούν να περιοριστούν απο υδάτινους πύργους καθαρισμού(wet scrubbers) ή προσροφητές άνθρακα και όχι μόνο
<ul style="list-style-type: none"> · Περιστασιακές διαρροές απο πιθανά βλαβερά υλικά όπως διαλύτες και οξέα ή αλκαλικά υλικά 	<ul style="list-style-type: none"> · Προεραϊκή συντήρηση του εξοπλισμού και των αποθηκευτικών χώρων, για αποφυγή διαρροών · Αναχώματα και λεκάνες απορροής τοποθετούνται περιφερειακά ή σε αντίθετη φορά απο δεξαμενές αποθήκευσης επικίνδυνων περιβαλλοντικά υλικών

<ul style="list-style-type: none"> · Μόλυνση του εδάφους, του υδροβιότοπου ή του υδροφόρου ορίζοντα μιας περιοχής απο παράνομη ρήψη στέρεων απορριμάτων που προκύπτουν απο τις χημικές βιομηχανικές διαδικασίες όπως η εκροή επεξεργασμένης ρυπογόνας λάσπης και ύλη σε μορφή σωματιδίων απο τους συλλέκτες σκόνης 	<ul style="list-style-type: none"> · Στέρεα απόβλητα που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν πρέπει να υπόκεινται σε εξειδικευμένη επεξεργασία πριν την απόρριψη · Η επιλογή της κατάλληλης διαδικασίας επεξεργασίας πρέπει να συνάδει με την κλάση(κατηγορία) των αποβλήτων, η οποία καθορίζεται απο αυστηρούς κανονισμούς που έχουν προκύψει απο επίσημες περιβαλλοντικές μελέτες. · Ανάλογα με την φύση του αποβλήτου υπάρχουν οι παρακάτω διαδικασίες επεξεργασίας: 1)Αποτέφρωση 2)Ελεγχόμενη απόρριψη μέσω υγειονομικής ταφής 3)Καύση των αποβλήτων σε τσιμεντένιους κλιβάνους κ.α · Οι παραπάνω εγκαταστάσεις απορρύπανσης πρέπει να μην είναι προσβάσιμες απο το κοινό λόγω επικινδυνότητας. · Αν τα απόβλητα δεν υποστούν επεξεργασία και μεταποίηση άμεσα, πρέπει να υπάρχουν ειδικά διαμορφωμένες περιοχές προσωρινής αποθήκευσης στην εγκατάσταση επεξεργασίας υδρογονάνθρακα
<ul style="list-style-type: none"> · Αλλαγές των δρομολογίων των φορηγών μεταφοράς προϊόντος και αποβλήτων λόγο των κανονισμών του κώδικα οδικής κυκλοφορίας που σχετίζονται με τα βαρέα οχήματα 	<ul style="list-style-type: none"> · Κατά την διάρκεια των μελετών σχεδιασμού της εγκατάστασης επεξεργασίας υδρογονάνθρακα πρέπει να γίνονται έρευνες για το οδικό δίκτυο που συνδέεται με την εγκατάσταση ώστε να επιλέγονται οι ασφαλέστεροι δρόμοι ή και την κατασκευή νέων δρόμων για αποφυγή οδικών ατυχημάτων.
<ul style="list-style-type: none"> · Ηχορύπανση που προκαλείται απο τον εξοπλισμό της εγκατάστασης και τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στην εγκατάσταση. 	<ul style="list-style-type: none"> · Ακουστική επεξεργασία που πραγματοποιείται μέσω εγκλεισμού του εξοπλισμού και κτήρια με τοίχους που έχουν ηχομονωτικά υλικά ώστε να περιορίζουν τον θόρυβο σε ανεκτά για το ανθρώπινο αυτί επίπεδα.
<ul style="list-style-type: none"> · Ατυχήματα που έχουν αρνητικές συνέπειες για το περιβάλλον όπως διαρροές και εκρήξεις που οδηγούν επίσης και στον θάνατο. 	<ul style="list-style-type: none"> · Σχεδιασμός άμεσης επέμβασης

Σύνοψη

Συνοψίζοντας, παρατηρούμε μια πιο θετική στάση των εταιριών απέναντι στον σκόπελο της περιβαλλοντικής μόλυνσης. Σίγουρα πρέπει να γίνουν πολλές άλλες κινήσεις προς αυτή την κατεύθυνση, αλλά δεν μπορούμε να αγνοήσουμε την προσπάθεια τους να διαχειριστούν και να περιορίσουν την μόλυνση που προκαλούν οι επιχειρήσεις τους.

Υπάρχει προφανώς ακόμα σε δεύτερη μοίρα το περιβαλλοντολογικό ενδιαφέρον, αφού ο στόχος των επενδύσεων στην εξόρυξη και διανομή αυτών των εταιριών, είναι να ισοφαρίσουν τα έξοδα των επενδύσεών τους και να έχουν κέρδη από την διαδικασία. Για αυτόν τον λόγο, οι περιβαλλοντικές οργανώσεις καθώς και η ενίσχυση της περιβαλλοντικής συνείδησης των επίσημων αρχών των κρατών είναι απαραίτητες, ώστε να λειτουργήσουν σαν μοχλός πίεσης προς την σωστή κατεύθυνση. Άλλωστε, όποιες διορθωτικές πορείες έχουν γίνει από πλευράς των εταιριών, οφείλονται στις πιέσεις αυτές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΑΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

ΒΑΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Εισαγωγή

Το φυσικό αέριο όπως και όλα τα υλικά έχουν κάποιες ιδιότητες που τα χαρακτηρίζουν και μέσω αυτών των ιδιοτήτων βγάζουμε συμπεράσματα χρήσιμα για την μελέτη τους καθώς και για την συμπεριφορά τους σε ένα μεγάλο εύρος περιβαλλοντικών συνθηκών. Αρχικά θα γίνει μία γενική προσέγγιση για κάθε ιδιότητα που μελετάμε και έπειτα θα συγκεκριμενοποιηθεί για το φυσικό αέριο.

2.1) ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ(4,5)

Η πυκνότητα μίας ουσίας είναι ο λόγος της μάζας αυτού της ουσίας προς τον όγκο που καταλαμβάνει στον χώρο. Παρόλα αυτά είναι πιο ορθό στην επιστημονική κοινότητα να αναφέρεται ο όρος ειδικό βάρος, που είναι ο λόγος του βάρους της ουσίας προς τον όγκο που καταλαμβάνει στον χώρο. Η πυκνότητα εξαρτάται από την πλευστότητα, την αγνότητα και την μορφή αυτής της ουσίας. Σε ιδανικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας τα πιο πυκνά υλικά είναι το όσμιο και το ιρίδιο.

Για να απαλλαγούμε από το βάρος των μονάδων, δημιουργήθηκε ο ορισμός της σχετικής πυκνότητας και του σχετικού ειδικού βάρους. Όπου είναι ένας λόγος που στον παρονομαστή του έχει την πυκνότητα ή το ειδικό βάρος του νερού για τα υγρά και του ατμοσφαιρικού αέρα για τα αέρια, στον αριθμητή έχει την πυκνότητα ή το ειδικό βάρος του υγρού ή του αερίου που εκείνη την στιγμή μελετάμε.

Η πυκνότητα των υλικών εξαρτάται από την θερμοκρασία και την πίεση. Στα υγρά και στα στερεά η παραλλαγή των πυκνοτήτων σε μία διαφοροποίηση της θερμοκρασίας ή της πίεσης είναι σχετικά μικρή. Στα αέρια όμως σχετικά μικρές διαφοροποιήσεις στην θερμοκρασία και την πίεση μπορούν να επιφέρουν φοβερές διαφοροποιήσεις.

Αυξάνοντας την θερμοκρασία σε ένα αντικείμενο κατά κανόνα μειώνεται η πυκνότητα του και μεγαλώνει ο όγκος του. Αυξάνοντας την πίεση σε ένα αντικείμενο μειώνεται ο όγκος του, άρα αυξάνεται η πυκνότητά του.

Στα περισσότερα υγρά, αν θερμανθεί το κάτω μέρος του υγρού, η θερμότητα μεταγίνεται στο πάνω μέρος του υγρού με αποτέλεσμα να αυξηθεί ο όγκος του και να μειωθεί η πυκνότητά του. Λόγω της αμοιβαιότητας που ισχύει μεταξύ των μορίων μίας ουσίας, η πυκνότητα συνδέεται και με τον ειδικό όγκο, που είναι ο λόγος του όγκου προς την μάζα ενός υλικού. Η πυκνότητα είναι μία εντατική σταθερά που δεν αλλάζει άμα προστεθεί ύλη στην διαδικασία μέτρησης της πυκνότητας ενός υλικού.

2.1.α) Τύπος και μονάδες μέτρησης

Η πυκνότητα χρησιμοποιεί σαν μαθηματικό τύπο τον παρακάτω:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Οι μονάδες μέτρησης της πυκνότητας είναι:

S.I

$$\left\| \frac{Kg}{m^3} \frac{gr}{cm^3} \frac{Kg}{lt} \frac{gr}{ml} \frac{tn}{m^3} \right\|$$

U.S

$$\left\| \frac{lb}{ft^3} \frac{lb}{inch^3} \frac{lb}{yd^3} \frac{lb}{galons} \right\|$$

2.1.β.1) Ομογενή υλικά

Η πυκνότητα στα ομογενή μείγματα μετριέται ως εξής:

- Πρώτα μετράμε το βάρος της μάζας με την βοήθεια του ζυγού
- Με την χρήση της γεωμετρίας ή την αντικατάσταση με ένα υγρό μετράμε και τον όγκο
- Η χρήση υγρόμετρου ή δασύμετρου για να καθοριστεί η πυκνότητα ενός υγρού ή αερίου

2.1.β.2) Ετερογενή υλικά

Εάν το υλικό δεν είναι ομοιογενές τότε η πυκνότητά του διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Στην περίπτωση αυτή η πυκνότητά του μετριέται ξεχωριστά από περιοχή σε περιοχή. Στο όριο ενός απειροελάχιστου όγκου η πυκνότητά του υλικού είναι:

$$\lim_{r \rightarrow 0} \rho(r) = \frac{dm}{dV}$$

- dV = ο στοιχειώδης όγκος σε απόσταση $|r|$ από το σημείο που μετράμε
- dm = η στοιχειώδης μάζα

Έτσι με την βοήθεια των μαθηματικών η στοιχειώδης μάζα μπορεί να δηλωθεί έτσι:

$$\rho(r) = \frac{dm}{dV} \Rightarrow dm = \rho(r) \cdot dV \Rightarrow m = \int_V \rho(r) \cdot dV$$

2.1.β.3) Μη συμπαγή υλικά

Τα μη συμπαγή υλικά είναι αυτά που ενέχουν υλικό σε μορφή κόκκων, σφαιριδίων ή νιφάδων, ενώ παράλληλα μεταξύ των σωματιδίων αυτών υπάρχει κενό. Ο τρόπος εύρεσης της πυκνότητας είναι να ζυγίσεις το δείγμα και έπειτα να υπολογίσεις τον όγκο του δείγματος συνυπολογίζοντας και την ύπαρξη των κενών με εμπειρικούς κανόνες που αρμόζουν στην περίπτωση. (4,5)

2.1.γ) Διαφοροποίηση των αερίων(4,5)

Τα αέρια έχουν διαφορετική συμπεριφορά από τα υγρά και τα στερεά, διότι τα μόριά τους είναι ελεύθερα να κινηθούν προς κάθε κατεύθυνση. Παράδειγμα που αποδεικνύει ότι λόγω της τρομερής ευκινησίας των μορίων των αερίων η πυκνότητά τους ποικίλει, η πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στην επιφάνεια της γης διαφέρει από την πυκνότητά του σε ύψος 50 Km. Ουσιαστικά, λόγω της μεγάλης ευκινησίας των μορίων του αέρα μπορεί ένα τμήμα της αέρας μάζας να βρεθεί σε διαφορετικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας σε πραγματικά μικρό χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα να αλλάξει κατά πολύ η πυκνότητα της αέρας μάζας.

2.1.γ.1) Μικροσκοπική μελέτη

Ένα αέριο αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό μορίων που είναι πολύ μικρά σε σχέση με την απόσταση μεταξύ τους. Τα μόρια είναι σε διαρκή τυχαία κίνηση και συχνά συγκρούονται μεταξύ τους αλλά και με το τοίχωμα του δοχείου στο οποίο βρίσκονται. Τα μόρια λοιπόν θα επιδιώξουν να καλύψουν όλο τον χώρο που τους δίνεται. Άρα η πυκνότητα των αερίων εξαρτάται από τον χώρο που τους παρέχεται να εξαπλωθούν.

Παράδειγμα:

Έχουμε 26 μόρια από ένα τυχαίο αέριο. Κάθε μόριο του έχει μάζα 20 gr άρα η μάζα του αερίου είναι:

$$n = \frac{m}{M.B} \quad \rho = \frac{m}{V} \quad m = 26 \cdot 0,02 \text{Kg} \quad \rho = 0,52 \text{Kg/m}^3$$

Το δοχείο είναι ορθογωνικό με ύψος 2 μέτρα και πλάτος και μήκος ένα μέτρο, ο όγκος του δοχείου λοιπόν είναι:

$$V = 2m \cdot 1m \cdot 1m \quad \rho = 2m^3$$

Άρα η πυκνότητά του αερίου είναι:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \rho = \frac{0,52 \text{Kg}}{2m^3} \quad \rho = 0,26 \frac{\text{Kg}}{m^3}$$

Αν το δοχείο ήταν κυβικού σχήματος τότε το ύψος του θα ήταν 1 μέτρο το πλάτος και το μήκος θα παρέμεναν ίδια η πυκνότητα του αερίου αυτού θα ήταν:

$$\rho = 0,52 \frac{\text{Kg}}{m^3}$$

Επίσης να σημειωθεί πως παίζει σημαντικό ρόλο πως θα μειώσουμε τον όγκο διότι η απότομη μεταβολή του όγκου φέρνει και απότομες μεταβολές στην θερμοκρασία και την πίεση.

2.1.γ.2) Μακροσκοπική μελέτη

Στην μακροσκοπική μελέτη η πυκνότητα του αερίου αν αλλάξει εξηγείται απόλυτα από τους νόμους της θερμοδυναμικής. Τα μόρια είναι τόσο μικρά που σε ένα κυβικό μέτρο χωράνε 10^{23} μόρια αερίου. Σε ένα στατικό αέριο τα μόριά του είναι σε τυχαία κίνηση. Επειδή λοιπόν υπάρχουν τόσα μόρια που κάνουν τυχαία κίνηση η πυκνότητά του είναι ίδια σε όλο το δοχείο. Άρα αν μελετήσουμε έναν μικρότερο όγκο από το $1m^3$, πχ: $0,5m^3$ η πυκνότητά του θα είναι πάλι η ίδια διότι τώρα μελετάμε τον μισό αριθμό μορίων.(5)

Παρακάτω θα παραθέσω τμηματικά έναν πίνακα με τις πυκνότητες γνωστών αερίων συμπεριλαμβανομένου και αυτών που ενέχονται στο φυσικό αέριο.(3)

Gas	Formula	Molecular weight	Density · ρ ·	
			(kg/m ³)	(lb/ft ³)
Acetylene (ethyne)	C ₂ H ₂	26	1.092 ¹⁾	0.0682 ¹⁾
			1.170 ²⁾	0.0729 ²⁾
Air		29	1.205 ¹⁾	0.0752 ¹⁾
			1.293 ²⁾	0.0806 ²⁾
Ammonia	NH ₃	17.031	0.717 ¹⁾	0.0448 ¹⁾
			0.769 ²⁾	0.0480 ²⁾

Argon	<i>Ar</i>	39.948	1.661 ¹⁾ 1.7837 ²⁾	0.1037 ¹⁾ 0.111353 ²⁾
Benzene	<i>C₆H₆</i>	78.11	3.486	0.20643
Blast furnace gas			1.250 ²⁾	0.0780 ²⁾
Butane	<i>C₄H₁₀</i>	58.1	2.489 ¹⁾ 2.5 ²⁾	0.1554 ¹⁾ 0.156 ²⁾
Butylene (Butene)	<i>C₄H₈</i>	56.11	2.504	0.148 ²⁾
Carbon dioxide	<i>CO₂</i>	44.01	1.842 ¹⁾ 1.977 ²⁾	0.1150 ¹⁾ 0.1234 ²⁾
Carbon disulphide		76.13		
Carbon monoxide	<i>CO</i>	28.01	1.165 ¹⁾ 1.250 ²⁾	0.0727 ¹⁾ 0.0780 ²⁾
Carbureted Water Gas				0.048
Chlorine	<i>Cl₂</i>	70.906	2.994 ¹⁾	0.1869 ¹⁾
Coal gas			0.68 ²⁾	
Coke Oven Gas				0.034 ²⁾
Combustion products			1.11 ²⁾	0.069 ²⁾
Cyclohexane		84.16		
er Gas (Sewage or Biogas)				0.062
Ethane	<i>C₂H₆</i>	30.07	1.264 ¹⁾	0.0789 ¹⁾
Ethyl Alcohol		46.07		
Ethyl Chloride		64.52		
Ethylene	<i>C₂H₄</i>	28.03	1.260 ²⁾	0.0786 ²⁾
Helium	<i>He</i>	4.02	0.1664 ¹⁾	0.01039 ¹⁾

N-Heptane		100.20		
Hexane		86.17		
Hydrogen	H_2	2.016	0.0899 ²⁾	0.0056 ²⁾
Hydrochloric Acid		36.47	1.63 ²⁾	
Hydrogen Chloride	HCl	36.5	1.528 ¹⁾	0.0954 ¹⁾
Hydrogen Sulfide	H_2S	34.076	1.434 ¹⁾	0.0895 ¹⁾
Krypton			3.74 ²⁾	
Methane	CH_4	16.043	0.668 ¹⁾ 0.717 ²⁾	0.0417 ¹⁾ 0.0447 ²⁾
Methyl Alcohol		32.04		
Methyl Butane		72.15		
Methyl Chloride		50.49		
Natural gas		19.5	0.7 - 0.9 ²⁾	0.044 - 0.056 ²⁾
Neon	Ne	20.179	0.8999 ²⁾	0.056179 ²⁾
Nitric oxide	NO	30.0	1.249 ¹⁾	0.0780 ¹⁾
Nitrogen	N_2	28.02	1.165 ¹⁾ 1.2505 ²⁾	0.0727 ¹⁾ 0.078072 ²⁾
Nitrogen Dioxide	NO_2	46.006		
N-Octane		114.22		
Nitrous Oxide	N_2O	44.013		0.114
Nitrous Trioxide	NO_3	62.005		
Oxygen	O_2	32	1.331 ¹⁾ 1.4290 ²⁾	0.0831 ¹⁾ 0.089210 ²⁾
Ozone	O_3	48.0	2.14 ²⁾	0.125
N-Pentane		72.15		
Iso-Pentane		72.15		
Propane	C_3H_8	44.09	1.882 ¹⁾	0.1175 ¹⁾
Propene (propylene)	C_3H_6	42.1	1.748 ¹⁾	0.1091 ¹⁾
R-11		137.37		
R-12		120.92		
R-22		86.48		
R-114		170.93		

R-123		152.93		
R-134a		102.03		
Sasol				0.032
Sulfur	S	32.06		0.135
Sulfur Dioxide	SO ₂	64.06	2.279 ¹⁾ 2.926 ²⁾	0.1703 ¹⁾ 0.1828 ²⁾
Sulfur Trioxide	SO ₃	80.062		
Sulfuric Oxide	SO	48.063		
Toluene	C ₇ H ₈	92.141	4.111	0.2435
Water Vapor, steam	H ₂ O	18.016	0.804	0.048
Water gas (bituminous)				0.054
Xenon			5.86 ²⁾	

Πίνακας πυκνοτήτων αερίων(2.1, 2.2,2.3,2.4,2.5, 2.6)

NTP: 20°C(293.15°K, 68° F) και

$$1atm(101.325 \frac{KN}{m^2}, 14.7 psia, 760torr)$$

STP: 0°C(273.15°K, 32° F)

$$1atm(101.325 \frac{KN}{m^2}, 14.7 psia, 760torr)$$

- $1 lb_m/ft^3 = 16.018 kg/m^3$
- $1 kg/m^3 = 0.0624 lb_m/ft^3$

NTP: Τιμές θερμοκρασίας και πίεσης σε συνθήκες δωματίου

STP: Τιμές θερμοκρασίας και πίεσης σε συνθήκες εργαστηριακής μελέτης. (3)

2.2)ΕΙΔΙΚΟΣ ΌΓΚΟΣ(6)

Ο ειδικός όγκος είναι το αντίστροφο της πυκνότητας, ουσιαστικά είναι ένας λόγος όπου αντί να ταυτοποιείς ένα υλικό με κύριο παράγοντα την μάζα του όπως στην πυκνότητα, το ταυτοποιείς με κύριο παράγοντα τον όγκο του.

2.2.α)Τύπος

$$n = \frac{V}{m} \propto \frac{m^3}{Kg}$$

Ένα παράδειγμα για να αντιληφθούμε την χρήση του ειδικού βάρους είναι το παρακάτω:

$$V = 2m^3, m = 10Kg, P = 100Kp, T = 15^\circ C$$

Αυτές είναι οι συνθήκες ενός αερίου μέσα σε ένα κλειστό δοχείο, το ειδικό του βάρος είναι:

$$n = \frac{V}{m} \propto v = \frac{2 m^3}{10 Kg} \propto n = 0.2 \frac{m^3}{Kg}$$

2.2.α)Παρατηρήσεις

Ο ειδικός όγκος δεν εξαρτάται από την ποσότητα του αερίου. Η κατάσταση ενός αερίου καθορίζεται από πολλές ιδιότητες. Πίεση, θερμοκρασία, μάζα και όγκο. Έχει παρατηρηθεί πως μία συγκεκριμένη ποσότητα αερίου δεν εξαρτάται από την πίεση και την θερμοκρασία όταν μπαίνουμε στην διαδικασία μελέτης της. Αυτή η ποσότητα αερίου εξαρτάται από την μάζα και τον όγκο

κυρίως. Δηλαδή αν χωρίσουμε την μάζα στα δύο θα χωριστεί κατ' επέκταση και ο όγκος στα δύο, κάτι που μας φανερώνει πως όγκος και μάζα είναι αλληλεξαρτώμενα.

Αν επιχειρήσουμε να διοχετεύσουμε ένα αέριο σε ένα αντικείμενο που έχει ευμετάβλητο περίβλημα, με σταθερή την θερμοκρασία και την πίεση, τότε η αλλαγή του μεγέθους του αντικειμένου αλλάζει ανάλογα με την ποσότητα της μάζας του αερίου που θα διοχετεύσουμε. Αν προσπαθήσουμε αυτά τα δύο αλληλεξαρτώμενα μεγέθη να τα διαχωρίσουμε τότε θα προξενήσουμε αλλαγές στην πίεση και την θερμοκρασία.

Ιδιότητες που εξαρτώνται από την ποσότητα του αερίου (μάζα, αριθμός μορίων), λέγονται εκτεταμένες ιδιότητες. Ενώ εντατικές ιδιότητες είναι αυτές που δεν εξαρτώνται από την ποσότητα του αερίου. Στους πειραματισμούς μας συμφέρει για λόγους χρονικούς και ευκολίας να ασχολούμαστε με εντατικές ιδιότητες. Για αυτό τον λόγο τις εκτεταμένες ιδιότητες που στην προκειμένη περίπτωση είναι η μάζα και ο όγκος τις ενοποιούμε σε έναν τύπο ώστε να τις κατατάξουμε ως μία συνολική εντατική ιδιότητα και να κάνουμε τους υπολογισμούς μας ευκολότερους. Αυτός ο ενοποιημένος τύπος είτε είναι το ειδικό βάρος ή το αντίστροφό του, η πυκνότητα.(6)

2.3)ΙΞΩΔΕΣ(7)

Το ιξώδες ενός ρευστού, είναι το μέτρο της αντίστασης της σταδιακής παραμόρφωσης από διατμητικές και εφελκυστικές τάσεις. Για τα υγρά το ιξώδες γίνεται αντιληπτό από το πόσο παχύρρευστα είναι.

Το ιξώδες είναι ένας παράγοντας που εξαρτάται από τις συγκρούσεις μεταξύ γειτονικών μορίων σε ένα ρευστό, όπου αυτά τα μόρια κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες. Όταν ένα ρευστό προωθείται σε έναν σωλήνα, τα μόριά του κινούνται γρηγορότερα κοντά στον νοητό άξονα του σωλήνα και όσο πλησιάζουμε στην περιφέρεια του σωλήνα μειώνεται η ταχύτητα των μορίων μέχρι που μηδενίζεται στην περιφέρεια του σωλήνα.

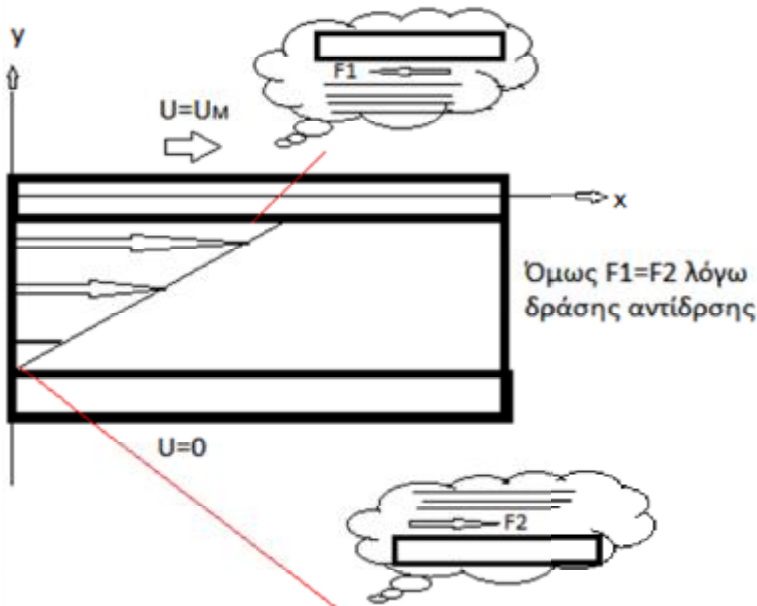
Καταλαβαίνουμε λοιπόν πως για να κινηθεί αυτό το ρευστό πρέπει να υπάρξει μία τάση που θα υπερνικήσει την τριβή μεταξύ των στρωμάτων του ρευστού. Αν κάνουμε την ιδανική υπόθεση πως η ταχύτητα είναι ίδια σε όλο το ρευστό λόγω μακροσκοπικής μελέτης του, τότε η τάση που απαιτείται για να υπερνικηθεί αυτή η τριβή πρέπει να προσδίδει ταχύτητα στο ρευστό ίδια με την ταχύτητα που ως παρατηρητές εντοπίζουμε στην κίνηση του ρευστού.

Ένα ρευστό λέγεται ιδανικό (ανιξώδες) όταν δεν παρουσιάζει καμία αντίσταση στην παρουσία διατμητικών τάσεων. Μηδενικό ιξώδες παρατηρείται στα υπέρ-ρευστά σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση το ιξώδες είναι θετικό. Σε κανονικές συνθήκες της καθημερινότητας όλα τα ρευστά συγκρίνονται με το νερό για να γίνει αντιληπτό το ιξώδες τους. Περιπτώσεις που ρευστά παρουσιάζουν μικρότερο ιξώδες από το νερό τα υπάγουμε στην κατηγορία Mobile(ευκίνητα).

2.3.α)Δυναμικό Ιξώδες

Το δυναμικό ιξώδες ενός ρευστού είναι οι διατμητικές αντιστάσεις των ροών του ρευστού μεταξύ των, λόγω της διαφορετικής ταχύτητας που αναπτύσσει η κάθε ροή ξεχωριστά. Το δυναμικό ιξώδες μπορεί να καθοριστεί από την ροή τύπου Couette, όπου ένα ρευστό είναι ανάμεσα σε δύο οριζόντιες πλάκες, μία σταθερή και μία κινούμενη με ταχύτητα U_M .

Αν η ταχύτητα της κινούμενης πλάκας είναι πάρα πολύ μικρή το ρευστό θα κινηθεί παράλληλα με την κινούμενη πλάκα και η ταχύτητα θα αναπτύσσεται γραμμικά από $U=0$ στην ακίνητη πλάκα μέχρι την κινούμενη πλάκα όπου η ταχύτητα θα γίνει $U=U_M$. Επειδή η ταχύτητα κάθε γραμμής ροής θα είναι διαφορετική, θα αναπτυχθούν μεταξύ των γραμμών ροής δυνάμεις αντίθετες της κίνησης της πλάκας και οι γραμμές ροής κοντά στην ακίνητη πλάκα με την σειρά τους θα αναπτύξουν δυνάμεις ίδιας κατεύθυνσης με την ταχύτητα της κινούμενης πλάκας:



Σχήμα 2.7

Παρά την ύπαρξη αυτής της ισότητας το ρευστό συνεχίζει να κινείται, άρα υπάρχει μία επιπλέον δύναμη της οποίας το μέγεθος αντικατοπτρίζεται στον γνωστό τύπο:

$$F = m' A' \frac{u}{y} (N) ,$$

- Ø μ = δυναμικό ιξώδες(Pascal x sec)
- Ø A = εμβαδόν πλάκας(m^2)
- Ø u/y = λόγος διατμητικής παραμόρφωσης (παράγωγος της ταχύτητας προς την κάθετη κατεύθυνση y)

Ο παραπάνω τύπος μπορεί να συνδεθεί και με τον τύπο του Νεύτωνα για την διατμητική τάση:

$$\left. \begin{aligned} t &= \frac{F}{A} \text{ ή } F = t \cdot A \\ F &= m' A' \frac{u}{y} \end{aligned} \right\} t = m' \frac{\tau u}{y}$$

Οι παραπάνω τύποι χρησιμοποιούνται μόνο όταν η ροή του ρευστού είναι προς μία μόνο κατεύθυνση.

2.3.β) Κινηματικό Ιξώδες

Το κινηματικό ιξώδες είναι ο λόγος του δυναμικού ιξώδους προς την πυκνότητα του ρευστού. Προέκυψε κατά την δημιουργία του αριθμού Reynolds.

$$Re = \frac{r' u' L}{m} \text{ ή } Re = \frac{u' L}{\nu} (\text{Αδιάστατο})$$

$$\frac{r}{m} = \frac{1}{n} \text{ ή } \nu = \frac{m \alpha m^2}{r \text{ g sec } \varnothing}$$

2.3.γ) Όγκος Ιξώδους

Όταν μία ροή, συμπιέζεται ή από-συμπιέζεται, χωρίς διάτμηση, υπάρχει ένα είδος εσωτερικής τριβής που αντιστέκεται σε αυτήν την μεταβολή. Αυτή η δύναμη τριβής εξαρτάται από τον λόγο συμπιεστότητας (σ) που δείχνει πόσο συμπιέζεται ή από-συμπιέζεται ένα ρευστό υπό συγκεκριμένη πίεση ή από-συμπίεση βάση των ιδιοτήτων του. Η αντίσταση αυτή λέγεται όγκος

ιξώδους. Ο όγκος ιξώδους είναι σημαντικός όταν παρουσιάζεται το φαινόμενο ταχείας συμπίεσης ή από-συμπίεσης.(7)

2.3.δ) Δείκτης Ιξώδους(7)

Σε γενικές γραμμές, οι δυνάμεις που αναπτύσσονται σε μία ρευστή ροή είναι είτε ελαστικές(λόγω υδροστατικής πίεσης), είτε οι εξωτερικές που μετρώνται ως ο ρυθμός μεταβολής της παραμόρφωσης του ρευστού συναρτήσει του χρόνου. Το ιξώδες, είναι λοιπόν η σχέση του ρυθμού μεταβολής της τάσης που αναπτύσσεται και του ρυθμού μεταβολής της παραμόρφωσης.

Στο μοντέλο της Νευτώνειας ροής η σχέση περιγράφεται από ένα γραμμικό διάγραμμα όπου ο δείκτης ιξώδους πολλαπλασιάζεται με τον δείκτη του ρυθμού μεταβολής της έντασης και μας δίνει τον δείκτη ιξώδους τάσης. Ο δείκτης ιξώδους τάσης έχει εννέα βαθμούς ελευθερίας. Για τα ισοτροπικά νευτώνεια ρευστά έχουμε δύο βαθμούς ελευθερίας: Το δυναμικό ιξώδες και τον όγκο ιξώδους.(7)

2.3.ε) Νευτώνεια Ρευστά(8)

Για τα ισοτροπικά νευτώνεια ρευστά έχουμε τρία διαφορετικά είδη ρευστών:

- Ιδεώδη
- Νευτώνεια
- Μη Νευτώνεια

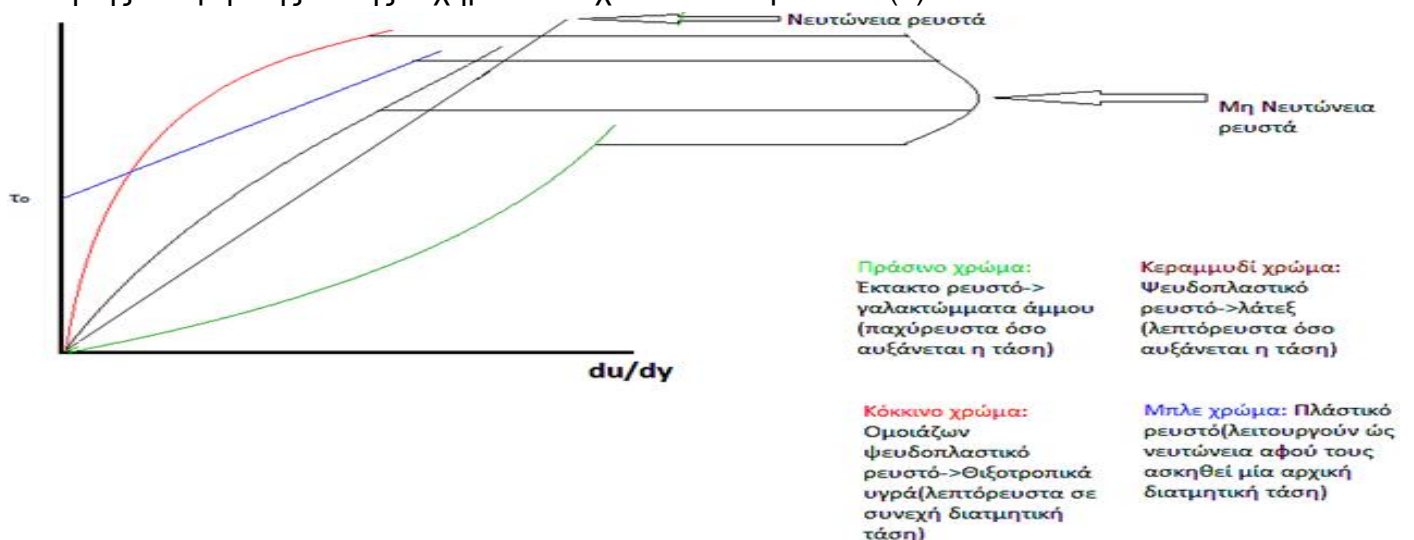
Τα ιδεώδη ρευστά δεν παρουσιάζουν καμία αντίσταση όταν τους ασκηθεί κάποια διατμητική τάση

Τα νευτώνεια ρευστά είναι αυτά τα ρευστά που υπακούν στον νόμο της τριβής του Νεύτωνα.

Πιο συγκεκριμένα στα νευτώνεια ρευστά υπάγονται όλα τα αέρια και μία μεγάλη γκάμα από γνωστά υγρά. Παρόλα αυτά υπάρχουν και κάποια υγρά που δεν συμπεριλαμβάνονται σε αυτήν την κατηγορία.

Τα μη νευτώνεια ρευστά είναι αυτά που δεν υπακούουν στον νόμο της τριβής του Νεύτωνα αλλά υπό συνθήκες συγκεκριμένης ταχύτητας και τάσης.

Πιο συγκεκριμένα, μία πλαστική ουσία πρέπει πρώτα να της ασκηθεί συγκεκριμένη αρχική τάση για να αρχίσει η παραμόρφωση. Μία ελαστική ουσία, ενώ αρχικά παραμορφώνεται ανάλογα με την τάση που της ασκείται από μία συγκεκριμένη τάση και μετά, αυτή η αναλογία παύει να υπάρχει, ενώ σε αυτήν την μεταβολή παίζει σημαντικό ρόλο και η ταχύτητα άσκησης της τάσης που προκαλεί την παραμόρφωση. Σε αυτήν την κατηγορία παρατηρούμε πως ο συντελεστής του ιξώδους δεν εξαρτάται μόνο από τις μοριακές ιδιότητες αλλά και από την παραμόρφωση λόγω της άσκησης διατμητικής τάσης. Σχηματικά ισχύουν τα παρακάτω.(8)



Σχήμα 2.8

2.3.στ) Φυσικό αέριο και Ιξώδες(25)

Το ιξώδες στην μελέτη του φυσικού αερίου, χρησιμοποιείται για να εξαγάγει υπολογισμούς που αφορούν τις απώλειες πίεσης του δικτύου στα διάφορα στάδια της παραγωγής και διανομής του.

Το φυσικό αέριο υπάγεται στην κατηγορία των νευτώνειων ρευστών. Στην μελέτη του ιξώδους του φυσικού αερίου ισχύει ο ίδιος αρχικός τύπος:

$$t = m \cdot \frac{du}{dy} [\text{Pascal} \cdot \text{sec}]$$

2.3.στ.1) Αγνά αέρια

Λαμβάνοντας υπόψη τις <<κινήσεις Μπράουν>>, των μορίων που αφορά τις διαμοριακές δυνάμεις, μπορούμε στην προκειμένη περίπτωση να εφαρμόσουμε την θεωρία των Charman και Enskog. Αυτή η προσέγγιση αφορά εκτενώς τις δράσεις μεταξύ των μορίων ενός ρευστού και συγκεκριμένα την σύγκρουση τους. Η θεωρία αυτών των δύο βασίστηκε στην κατανομή κατά Maxwell- Boltzmann.(25)

Κατανομή Maxwell-Boltzmann(26)

Πολύ πριν μετρηθούν πειραματικά οι κατανομές των μορίων των αερίων ανάλογα με τη ταχύτητα. Οι Maxwell-Boltzmann, υπολόγισαν σε ένα θεωρητικό πλαίσιο τις κατανομές των μορίων του αζώτου εντός μεγάλου εύρους ταχυτήτων και θερμοκρασιών.(26)

(25)Για μονό-ατομικά αέρια, η αναλυτική επίλυση της εξίσωσης του Maxwell-Boltzmann, μας παρουσιάζει το ιξώδες εξαρτώμενο από δύο διπλά ολοκληρώματα $\Omega^{(2,2)}$, που αφορούν την διαμοριακή σύγκρουση των μορίων. Αυτή η θεωρητική προσέγγιση αφορά όμως μονοατομικά αέρια σε χαμηλές πιέσεις και υψηλές θερμοκρασίες. Για να εφαρμοστεί αυτή η θεωρητική προσέγγιση σε πολυατομικά αέρια απαιτούνται διορθώσεις στο κομμάτι των απόθεματικών της ενέργειας του ρευστού καθώς και στο κομμάτι της μεταφοράς ενέργειας του ρευστού. Παρόλα αυτά μπορεί να δοθεί μία κατευθυντήρια γραμμή με τον τύπο του ιξώδους για μονοατομικά αέρια, που είναι ο παρακάτω:

$$\eta = 2.6693 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\sqrt{M \cdot T}}{s^2 \cdot W^{(2,2)*}}$$

M= μοριακή μάζα(gram/mole)

T= απόλυτη θερμοκρασία (Κέλβιν)

σ= χαρακτηριστική διάμετρος των μορίων ή διάμετρος μοριακής σύγκρουσης(1 Å⁰)

Ω= Η σύγκρουση μορίων από το πρίσμα του ολοκληρωτικού λογισμού, που εξαρτάται από την ελάττωση της θερμοκρασίας T*, όπου αυτό ισούται με:

$$T^* = \frac{k \cdot T}{e}, \text{ k= σταθερά Boltzmann}$$

e= συντελεστής εκπομπής(25)

Περί σταθεράς Boltzmann και συντελεστή εκπομπής(27,28)

Ο νόμος Stefan-Boltzmann, δηλώνει ότι η ολική ενέργεια που ακτινοβολείται από την μονάδα επιφάνειας ενός μελανού ή ενός φαιού σώματος (RT) και ονομάζεται φασματική εκπομπή, είναι ευθέως ανάλογη της τέταρτης δύναμης της απόλυτης θερμοκρασίας του.

$$Rt = s \cdot e \cdot T^4$$

Η φασματική εκπομπή έχει διαστάσεις $\frac{\text{Joule}}{\text{sec} \cdot \text{m}^2}$ ή $\frac{\text{Watt}}{\text{m}^2}$. Η απόλυτη θερμοκρασία έχει ως μονάδα το

βαθμό Κέλβιν (°K). Ο συντελεστής εκπομπής ε είναι αδιάστατος αριθμός και για ένα μέλαν σώμα, δηλαδή ένα τέλει εκπομπό, η τιμή του είναι ε = 1. Η σταθερά αναλογίας σ, που ονομάζεται σταθερά Stefan-Boltzmann δεν είναι θεμελιώδης εφόσον εξάγεται από γνωστές φυσικές σταθερές και η τιμή του είναι:

$$s = \frac{2 \cdot p^5 \cdot k^4}{15 \cdot c^2 \cdot h^3} = 5.670400 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Joule}}{\text{sec} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

όπου k η σταθερά του Boltzmann, c η ταχύτητα του φωτός στο κενό, και h η σταθερά του Πλανκ.

$$k = \frac{R}{N_A} = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Joule}}{\text{Kelvin}} \cdot \text{m}^3, \quad h = 6.626 \cdot 10^{-34} \frac{\text{Joule}}{\text{sec}} \cdot \text{m} (27,28)$$

2.3.στ.2) Μη πολικά αέρια(25)

Για μη-πολικά αέρια ο Neufeld έχει προτείνει τον παρακάτω τύπο για το Ω:

$$W^{(2,2)} = A \cdot (T^*)^{-B} + C \cdot e^{(-D \cdot T^*)} + E \cdot e^{(-F \cdot T^*)}$$

$$A = 1.16145$$

$$B = 0.14874$$

$$C = 0.52487$$

$$D = 0.77320$$

$$E = 2.16178$$

$$F = 2.43787$$

Η παραπάνω εξίσωση είναι διαθέσιμη για θερμοκρασίες $0.3 \leq T_r \leq 100$, όπου:

$$T_r = \frac{T}{T_c}, \quad \text{όπου } T_c = \text{Κρίσιμη θερμοκρασία (Θερμοκρασία που απαιτείται για μία ουσία ώστε όση}$$

πίεση και να ασκηθεί να μην αλλάξει φάση). Η T_r έχει μία τυπική παρέκκλιση του 0.064%.

Ακόμα, θα έπρεπε να αναφερθεί ότι ο Chung το 1984,1988, πειραματικά παρατήρησε ότι ισχύουν οι κάτωθεν τύποι:

$$\frac{e}{k} = \frac{T_c}{1.2593}$$

$$s = 0.809 \cdot V_c^{1/3}$$

Για να λάβει υπόψη του ο Chung και την διαφορετικότητα των διάφορων μοριακών σχημάτων εμπλούτισε την επιστημονική του μελέτη με έναν διορθωτικό παράγοντα στον τύπο του ιξώδους:

$$m = 4.0785 \cdot 10^{-6} \cdot F_c \cdot \frac{\sqrt{M \cdot T}}{V_c^{2/3} \cdot W^{(2,2)*}}$$

$$F_c = 1 - 0.2756 \cdot \bar{w} + 0.059035 \cdot z_g^4 + k$$

k = Διορθωτικός παράγοντας για την ισχυρή πολικότητα του φυσικού αερίου

\bar{w} = άκεντρων παράγοντας

ζ_v = αδιάστατο διπολικό στιγμιότυπο

$$z_g = 131,3 \cdot \frac{z}{(V_c \cdot T_c)^{1/2}} \quad (25)$$

Περί ω, ζ_v (29,30)

ω : Είναι ένας εννοιολογικός παράγοντας που τον εισήγαγε ο Kenneth Pitzer, και είναι ένας τρόπος χαρακτηρισμού της φάσης των διαφόρων συστατικών προς μελέτη. Συγκεκριμένα είναι ένας τρόπος μέτρησης της μη-σφαιρικότητας των μορίων.

ζ_v : Είναι ένας μέγεθος που μελετά την στιγμιαία πολικότητα των μορίων που εξετάζονται. Η πολικότητα ορισμένων μορίων είναι ασταθής λόγω της έλλειψης οργάνωσης στη διανομή των θετικών και αρνητικών φορτίων.(29,30)

(25)Το 1974 ο Reichenberg δημιούργησε μία γραμμική σχέση μεταξύ ιξώδους και του Ω, που είναι η παρακάτω:

$$W^{(2,2)*} = a \cdot (T^*)^{-m}$$

Άρα το δυναμικό ιξώδες προκύπτει τελικώς, να αντικατοπτρίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$m = 4.0785 \cdot 10^{-6} \cdot M^{1/2} \cdot T^{3/2} \cdot a^{-1} \cdot \left(\frac{C_p(T_c/1.2593)}{V_c^{2/3}} \right)^{m \cdot \frac{1}{\rho}}$$

Σε αυτόν τον τύπο παρατηρούμε πως έχει επιτευχθεί μία προσέγγιση για το ιξώδες του φυσικού αερίου. Παρόλα αυτά υπάρχει μία σύνθετη διαδικασία που συνενώνει όλα τα στοιχεία που συντελούν τον γενικό όρο Φυσικό αέριο, απλά θεώρησα πως δεν είναι απαραίτητο να εισέλθουμε σε έναν κύκλο μαθηματικών πράξεων αυτής της συνθετότητας για την ώρα. (25)

2.4) Ο ΝΟΜΟΣ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ (1)

Τα αέρια έχουν αδιευκρίνιστο σχήμα και όγκο, με αποτέλεσμα οι αλλαγές στην πίεση και την θερμοκρασία να επιφέρουν εύκολα μεγάλες αλλαγές στο αέριο αυτό καθαυτό.

Τα πραγματικά αέρια έχουν σύνθετη συμπεριφορά, με αποτέλεσμα η μελέτη τους να πρέπει να αρχίσει μελετώντας τα ιδανικά αέρια, που λόγω της φύσης τους είναι πιο εύκολη η μελέτη τους καθώς και η πρόβλεψη της κατάστασής τους μετά από κάποια αλλαγή στην πίεση και την θερμοκρασία. Για αυτόν τον λόγο θα γίνει παρακάτω μία γενική προσέγγιση για τα χαρακτηριστικά των ιδανικών αερίων και έπειτα θα υπάρξει σύγκριση με τα πραγματικά αέρια.

2.4.α) Ιδανικά αέρια

Τα ιδανικά αέρια έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Σημείο μάζας-> Τα σωματίδια που αποτελούν τα ιδανικά αέρια έχουν τόσο μικρό όγκο που τείνει στο μηδέν.
- Ελαστικές συγκρούσεις-> Τα μόρια των ιδανικών αερίων κάνουν ελαστικές συγκρούσεις, δηλαδή κατά την διάρκεια της σύγκρουσης των μορίων δεν αναπτύσσονται ελκτικές ή απωθητικές δυνάμεις.
- Αμετάβλητη κινητική ενέργεια-> Η κινητική ενέργεια των μορίων του ιδανικού αερίου παραμένει σταθερή έως ότου παύσουν οι διαμοριακές δυνάμεις των μορίων του ιδανικού αερίου.

Η βασική εξίσωση που διέπει τα ιδανικά αέρια είναι:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad [atm]$$

$$V = \text{όγκο} \quad [lt]$$

n = αριθμός γραμμομορίων [mole]

$$T = \text{αερ} \text{ μοκρ} \text{ ας} \text{ ία} \quad [K]$$

$$R = \text{παγκόσμια σταθερά των αερίων} \quad R = 0.0821 \frac{lt \cdot atm}{mole \cdot ^\circ K}$$

Οι παραπάνω αναφερθείσες μονάδες είναι οι πιο ευρέως διαδεδομένες και χρησιμοποιούμενες, δεν είναι οι μόνες.

Παρακάτω θα καταγράψω κάποια πολύ απλά παραδείγματα εφαρμογής της εξίσωσης των ιδανικών αερίων με στόχο την κατανόησή του.

Παράδειγμα 1

Έστω ότι έχουμε τα παρακάτω δεδομένα για ένα ιδανικό αέριο:

$$\begin{matrix} \dot{\downarrow} \\ \dot{\downarrow} \\ \dot{\downarrow} \\ \dot{\downarrow} \\ \dot{\downarrow} \end{matrix} \begin{matrix} n = 1 (mole) \\ T = 0 (^\circ C) \\ R = 0.0821 \frac{lt \cdot atm}{mole \cdot ^\circ K} \\ V = 500 (ml) \end{matrix} \quad \begin{matrix} \ddot{\uparrow} \\ \ddot{\uparrow} \\ \ddot{\uparrow} \\ \ddot{\uparrow} \\ \ddot{\uparrow} \end{matrix} \begin{matrix} P = ; \end{matrix}$$

Μετατρέπουμε την θερμοκρασία σε Κέλβιν: $T = 0 + 273 \Rightarrow T = 273 K$

Μετατρέπουμε τον όγκο σε λίτρα: $V = 500 ml \cdot \frac{10^{-3} lt}{1 ml} \Rightarrow V = 0.5 lt$

Άρα:

$$P' V = n' R' T \quad \Rightarrow \quad P = \frac{n' R' T}{V}$$

$$P = \frac{1 \text{ mole} \cdot 0.0821 \frac{\text{lt} \cdot \text{atm}}{\text{mole} \cdot \text{K}} \cdot 273 \text{ K}}{0.5 \text{ lt}} \quad \Rightarrow \quad P = 44.83 \text{ atm}$$

Παράδειγμα 2

Έστω ότι έχουμε τα παρακάτω δεδομένα για ένα ιδανικό αέριο:

$$\begin{cases} n = 2.5 \text{ mole} & T = 127^\circ \text{C} \\ P = 730 \text{ mmHg} & R = 0.0821 \frac{\text{lt} \cdot \text{atm}}{\text{mole} \cdot \text{K}} \end{cases} \quad \Rightarrow \quad V = ?$$

Μετατρέπουμε την πίεση σε ατμόσφαιρες: $1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} \quad \Rightarrow \quad P = 730 \text{ mmHg} \cdot \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ mmHg}}$

$$P = 0.96053 \text{ atm}$$

Μετατρέπουμε την θερμοκρασία σε Kelvin: $T = 127 + 273 \quad \Rightarrow \quad T = 400 \text{ K}$

Άρα:

$$P' V = n' R' T \quad \Rightarrow \quad V = \frac{n' R' T}{P}$$

$$V = \frac{2.5 \text{ mole} \cdot 0.0821 \frac{\text{atm} \cdot \text{lt}}{\text{mole} \cdot \text{K}} \cdot 400 \text{ K}}{0.96053 \text{ atm}} \quad \Rightarrow \quad V = 85.474 \text{ lt}$$

Παράδειγμα 3

Έστω ότι έχουμε τα παρακάτω δεδομένα για ένα ιδανικό αέριο:

$$\begin{cases} n = 0.6 \text{ mole} & V = 160 \text{ ml} \\ P = 40000 \text{ torr} & R = 0.0821 \frac{\text{lt} \cdot \text{atm}}{\text{mole} \cdot \text{K}} \end{cases} \quad \Rightarrow \quad T = ?$$

Μετατρέπουμε την πίεση σε ατμόσφαιρες: $P = 40000 \text{ torr} \cdot \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ torr}} \quad \Rightarrow \quad P = 52.63 \text{ atm}$

Μετατρέπουμε τον όγκο σε λίτρα: $V = 160 \text{ ml} \cdot \frac{10^{-3} \text{ lt}}{1 \text{ ml}} \quad \Rightarrow \quad V = 0.16 \text{ lt}$

Άρα:

$$T = \frac{P' V}{n' R} \quad \Rightarrow \quad T = \frac{52.63 \text{ atm} \cdot 0.16 \text{ lt}}{0.6 \text{ mole} \cdot 0.0821 \frac{\text{atm} \cdot \text{lt}}{\text{mole} \cdot \text{K}}}$$

$$T = 170.946 \text{ K} \quad \Rightarrow \quad T = 170.946 - 273 \quad \Rightarrow \quad T = -102.054^\circ \text{C}$$

Όλα τα παραπάνω παραδείγματα ένα πολύ μικρό κομμάτι της εφαρμογής του νόμου των ιδανικών αερίων σε ένα εύρος διαφορετικών μονάδων.

2.4.α.1) Νόμος του Boyle

Ο νόμος του Boyle, μας υποδεικνύει μία υποκατηγορία του νόμου των ιδανικών αερίων όπου κατά την διαδικασία του πειραματισμού η θερμοκρασία παραμένει σταθερή (T= σταθερό). Έχουμε δύο καταστάσεις του ιδανικού αερίου:

$$\left. \begin{cases} P_1' V_1 = n' R' T_1 \\ P_2' V_2 = n' R' T_2 \\ T_1 = T_2 \end{cases} \right\} P_1' V_1 = P_2' V_2 \quad \Rightarrow \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

Παράδειγμα

$$P_1 = 5 \text{ atm} \quad P_2 = ;$$

$$V_1 = 15 \text{ lt} \quad V_2 = 0.5 \text{ lt}$$

Αν εφαρμόσουμε τον τύπο του Boyle τότε θα προκύψει:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} \Rightarrow \frac{5 \text{ atm}}{P_2} = \frac{0.5 \text{ lt}}{15 \text{ lt}} \Rightarrow P_2 = 150 \text{ atm}$$

Από αυτό το αποτέλεσμα συμπεραίνουμε πως όταν έχουμε σταθερή θερμοκρασία σε ένα σύστημα που αποτελείται από ένα ιδανικό αέριο αν επιφέρουμε μείωση του όγκου θα αυξήσουμε την πίεση.

2.4.α.2) Νόμος του Charles

Ο νόμος του Charles, μας υποδεικνύει μία υποκατηγορία του νόμου των ιδανικών αερίων όπου κατά την διαδικασία του πειραματισμού η πίεση παραμένει σταθερή ($P = \text{σταθερό}$). Έχουμε δύο καταστάσεις του ιδανικού αερίου:

$$\left. \begin{array}{l} P_1' V_1 = n' R' T_1 \\ P_2' V_2 = n' R' T_2 \\ P_1 = P_2 \end{array} \right\} \frac{T_1}{V_1} = \frac{T_2}{V_2}$$

Παράδειγμα

$$T_1 = 0^\circ \text{C} \quad T_2 = 100^\circ \text{C}$$

$$V_1 = 25 \text{ lt} \quad V_2 = ;$$

Αν εφαρμόσουμε τον τύπο του Charles τότε θα προκύψει:

$$\frac{T_1}{V_1} = \frac{T_2}{V_2} \Rightarrow \frac{273 \text{ K}}{25 \text{ lt}} = \frac{373 \text{ K}}{V_2} \Rightarrow V_2 = 34.157 \text{ lt}$$

Από αυτό το αποτέλεσμα συμπεραίνουμε πως όταν έχουμε σταθερή πίεση σε ένα σύστημα που αποτελείται από ένα ιδανικό αέριο αν επιφέρουμε αύξηση της θερμοκρασίας θα αυξήσουμε τον όγκο.

2.4.α.3) Νόμος των Guy-Lussac

Ο νόμος του Guy-Lussac, μας υποδεικνύει μία υποκατηγορία του νόμου των ιδανικών αερίων όπου κατά την διαδικασία του πειραματισμού ο όγκος παραμένει σταθερός ($V = \text{σταθερό}$). Έχουμε δύο καταστάσεις του ιδανικού αερίου.

$$\left. \begin{array}{l} P_1' V_1 = n' R' T_1 \\ P_2' V_2 = n' R' T_2 \\ V_1 = V_2 \end{array} \right\} \frac{T_1}{P_1} = \frac{T_2}{P_2}$$

Παράδειγμα

$$P_1 = 30 \text{ atm} \quad P_2 = ;$$

$$T_1 = 100^\circ \text{C} \quad T_2 = 400^\circ \text{C}$$

Αν εφαρμόσουμε τον τύπο του Guy-Lussac τότε θα προκύψει:

$$\frac{T_1}{P_1} = \frac{T_2}{P_2} \Rightarrow \frac{273 \text{ K}}{30 \text{ atm}} = \frac{573 \text{ K}}{P_2} \Rightarrow P_2 = 54.13 \text{ atm}$$

Από αυτό το αποτέλεσμα συμπεραίνουμε πως όταν έχουμε σταθερό όγκο σε ένα σύστημα που αποτελείται από ένα ιδανικό αέριο αν επιφέρουμε αύξηση της θερμοκρασίας θα αυξήσουμε την πίεση.

*Οι τρεις παραπάνω νόμοι εφαρμόζονται με την αρχική προϋπόθεση ότι τα mole του ιδανικού αερίου δεν μεταβάλλονται.

2.4.α.4) Νόμος του Avogadro

Ο νόμος του Avogadro, μας υποδεικνύει μία υποκατηγορία του νόμου των ιδανικών αερίων όπου κατά την διαδικασία του πειραματισμού η θερμοκρασία και η πίεση παραμένουν σταθερές (P=σταθερό, T=σταθερό), αλλά εκτός από τον όγκο που μπορεί να μεταβληθεί, τώρα μπορούν να μεταβληθούν και τα mole του ιδανικού αερίου. Έχουμε δύο καταστάσεις του ιδανικού αερίου.

$$\left. \begin{array}{l} P_1 \cdot V_1 = n_1 \cdot R \cdot T_1 \\ P_2 \cdot V_2 = n_2 \cdot R \cdot T_2 \\ T_1 = T_2 \\ P_1 = P_2 \end{array} \right\} \frac{n_1 \cdot R}{V_1} = \frac{n_2 \cdot R}{V_2} \Rightarrow \frac{n_1}{V_1} = \frac{n_2}{V_2} \Rightarrow \frac{n_1}{n_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

Παράδειγμα

$$n_1 = 8 \text{ mole} \quad n_2 = 16 \text{ mole}$$

$$V_1 = 4 \text{ lt} \quad V_2 = ?$$

Αν εφαρμόσουμε τον τύπο του Avogadro τότε θα προκύψει:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow V_2 = 8 \text{ lt}$$

Από αυτό το αποτέλεσμα συμπεραίνουμε πως όταν έχουμε σταθερά την θερμοκρασία και την πίεση σε ένα σύστημα που αποτελείται από ένα ιδανικό αέριο αν επιφέρουμε αύξηση των mole θα αυξήσουμε τον όγκο.

2.4.α.5) Ο συνδυασμένος νόμος των αερίων

Ο συνδυασμένος νόμος των αερίων μας εξισώνει δύο καταστάσεις του ίδιου ιδανικού αερίου με μόνο κοινό την παγκόσμια σταθερά των αερίων R.

$$\left. \begin{array}{l} P_1 \cdot V_1 = n_1 \cdot R \cdot T_1 \\ P_2 \cdot V_2 = n_2 \cdot R \cdot T_2 \end{array} \right\} R = \frac{P_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2}$$

2.4.α.6) Εναλλακτική γραφή του νόμου των ιδανικών αερίων

Γνωρίζουμε ότι:

$$n = \frac{gr}{MM}$$

- gr= γραμμάρια αερίου
- MM= μοριακή μάζα του αερίου
- n= τα mole του αερίου

Άρα ο γνωστός τύπος γίνεται:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow P \cdot V = \frac{gr}{MM} \cdot R \cdot T \Rightarrow P \cdot MM = \frac{gr \cdot R \cdot T}{V}$$

Εφόσον μιλάμε όμως για ένα συγκεκριμένο αέριο σε συγκεκριμένες συνθήκες ο λόγος:

$$\frac{gr}{V} = D (\text{Density}), \text{ άρα: } P \cdot MM = D \cdot R \cdot T \quad (1)$$

2.4.β) Πραγματικά αέρια(33)

Στα πραγματικά αέρια όταν τα μόρια του αερίου έρχονται σε σύγκρουση, έχουμε μη ελαστικές συγκρούσεις και δεν εννοείται η σημειακή μάζα ως επιστημονικός όρος, άρα ούτε ο μηδενικός όγκος των ατόμων έχει υπόσταση.

Υπάρχει ένας νόμος για τα πραγματικά αέρια που λέγεται εξίσωση του Van der Waal:

$$\frac{P}{\sigma} + \frac{n^2 \cdot a}{V^2} \cdot \frac{\sigma}{\sigma} (V - n \cdot b) = n \cdot R \cdot T \quad (1)$$

(31) Στην παραπάνω εξίσωση, βλέπουμε ότι η πίεση και ο όγκος τροποποιούνται αφού μιλάμε για πραγματικά αέρια. Οι σταθερές a, b εντοπίζονται πειραματικά για κάθε αέριο ξεχωριστά. Το a είναι ένα μέτρο για τις μεταξύ μορίων ασκούμενες δυνάμεις, Το b παριστάνει τον όγκο των μορίων ενός mole. (31)

Παράδειγμα(1)

$$\left. \begin{array}{l} V = 5\text{lt} \quad n = 2\text{moles} \\ T = 298\text{K} \quad \text{CO}_2 \quad \left\{ \begin{array}{l} a = 3.592 \frac{\text{lt}^2 \cdot \text{atm}}{\text{mole}^2} \\ b = 0.04267 \frac{\text{lt}}{\text{mole}} \end{array} \right. \end{array} \right\} P = ;$$

Αν χρησιμοποιήσουμε τον τύπο του Van der Waals έχουμε:

$$\begin{aligned}
 P + \frac{n^2 \cdot a}{V^2} (V - n \cdot b) &= n \cdot R \cdot T \quad \Rightarrow \quad P + \frac{n^2 \cdot a}{V^2} = \frac{n \cdot R \cdot T}{V - n \cdot b} \\
 P &= \frac{n \cdot R \cdot T}{V - n \cdot b} - \frac{n^2 \cdot a}{V^2} \quad \Rightarrow \quad P = \frac{2\text{moles} \cdot 0.0821 \frac{\text{atm} \cdot \text{lt}}{\text{mole} \cdot \text{K}} \cdot 298\text{K}}{5\text{lt} - 2\text{mole} \cdot 0.04267 \frac{\text{lt}}{\text{mole}}} - \frac{2^2 \text{mole}^2 \cdot 3.592 \frac{\text{lt}^2 \cdot \text{atm}}{\text{mole}^2}}{5^2 \text{lt}^2}
 \end{aligned}$$

$P = 9.3815 \text{atm}$

Αν χρησιμοποιούσαμε τα ίδια δεδομένα αλλά αντί για τον παραπάνω τύπο χρησιμοποιούσαμε τον βασικό τύπο των ευγενών αερίων, το αποτέλεσμα θα ήταν διαφορετικό, δηλ: $P = 9.77 \text{atm}$. Αυτό επιβεβαιώνει την προφανή διαφορά ενός ευγενούς και ενός πραγματικού αερίου. (1)

2.4.β.1) Συντελεστής απόκλισης Z(2b)

Σε χαμηλές πιέσεις και υψηλές σχετικά θερμοκρασίες, ο όγκος των περισσότερων αερίων, είναι τόσο μεγάλος που ο όγκος των μορίων τους σε σύγκριση με τον καθολικό όγκο είναι αμελητέος. Ακόμα, η απόσταση των μορίων του αερίου είναι τόσο μεγάλη που η παρουσία απωθητικών ή ελκτικών δυνάμεων, δεν είναι αρκετή ώστε να επηρεάσει την συμπεριφορά του αερίου.

Όταν όμως, αρχίζει να αυξάνεται η πίεση του αερίου, ο συνολικός όγκος του αερίου μικραίνει τόσο ώστε, ο όγκος των μορίων του ΔΕΝ θεωρείται αμελητέος. Επίσης η απόσταση των μορίων μεταξύ τους, γίνεται αρκετά μικρή, ώστε οι ελκτικές ή απωθητικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων αποκτούν ουσιαστική σημασία. Άρα, δεν είναι ορθό να γίνεται ταυτοποίηση των πραγματικών αερίων με τα ιδανικά. Ένας αξιόπιστος τρόπος να ερευνήσουμε τα πραγματικά αέρια είναι με τον συντελεστή απόκλισης Z.

Ο όγκος των πραγματικών αερίων, είναι συνήθως μικρότερος του όγκου των ιδανικών αερίων υπό ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Για αυτό τα πραγματικά αέρια θεωρούνται υπέρ-συμπιεσστά. Ο συντελεστής απόκλισης Z(παράγοντας υπέρ-συμπιεστότητας), είναι μία αναλογία παρέκκλισης όγκου της πραγματικής συμπεριφοράς του αερίου από την ιδανική συμπεριφορά. Πιο απλουστευτικά:

$$Z = \frac{\text{Όγκος αερίου σε συνθήκες } R_1, T_1}{\text{Ιδανικός όγκος αερίου σε συνθήκες } R_1, T_1}$$

Άρα όταν θέλουμε να μιλήσουμε για πραγματικά αέρια μπορούμε να γράψουμε τον παρακάτω τύπο:

$$P \cdot V = Z \cdot n \cdot R \cdot T$$

Σε χαμηλές πιέσεις και υψηλές θερμοκρασίες τα πραγματικά αέρια έχουν $Z=1$, άρα οποιοδήποτε αέριο συμπεριφέρεται ως ιδανικό. Όταν όμως αρχίζουμε και αυξάνουμε σταδιακά την πίεση και την θερμοκρασία κάποια στιγμή φτάνουμε στα κρίσιμα μεγέθη αυτών. (2α)

Κρίσιμη Θερμοκρασία

Είναι η κατώτερη θερμοκρασία που πρέπει να έχει ένας όγκος αερίου ώστε ανεξάρτητα το μέγεθος της πίεσης, το αέριο να μην μπορέσει να υγροποιηθεί. Παρακάτω καταδεικνύω τις κρίσιμες θερμοκρασίες κάποιων ουσιών.

NH ₃	132 ⁰ C
O ²	-119 ⁰ C
CO ²	31.2 ⁰ C
H ₂ O	374 ⁰ C

Κρίσιμη πίεση

Είναι η ελάχιστη πίεση που πρέπει να ασκηθεί σε ένα αέριο, ώστε παρά το γεγονός ότι βρίσκεται σε κρίσιμη θερμοκρασία να μπορέσει να υγροποιηθεί. Παρακάτω καταδεικνύω τις κρίσιμες πιέσεις κάποιων ουσιών.

NH ₃	111.5 atm
O ₂	49.7 atm
CO ₂	73 atm
H ₂ O	217.7 atm

Όσο αυξάνεται και η πίεση και η θερμοκρασία αρχίζουν οι τιμές της πίεσης και της θερμοκρασίας να φτάνουν τις κρίσιμες τιμές. Σε αυτό το επίπεδο μία ενδεικτική τιμή ενός πραγματικού αερίου είναι Z=0.27

Πιο συγκεκριμένα όταν η θερμοκρασία ενός αερίου φτάσει το 2 X T_c το ελάχιστο Z είναι Z=0.937. Σε υψηλές πιέσεις το Z ξεπερνά την μονάδα. Αυτό υποδεικνύει ότι το πραγματικό αέριο παύει να είναι υπέρ-συμπιεστό. Καθώς αυξάνεται και άλλο η πίεση ο όγκος του αερίου γίνεται πολύ μικρός, συνεπώς και οι αποστάσεις μεταξύ των μορίων του αερίου πάρα πολύ μικρές. Έτσι η πυκνότητα του αερίου αλλάζει από τον όγκο των μορίων του αερίου. (2b)

2.4.β.2) Μέτρηση του συντελεστή Z(2a)

Ο συντελεστής συμπίεστικότητας Z μετριέται σε μία συσκευή Burnett ή σε ένα δοχείο μεταβλητού όγκου ισορροπίας. Για το φυσικό αέριο ο τρόπος μέτρησης του Z γίνεται με το να βάζουμε συγκεκριμένη ποσότητα φυσικού αερίου σε συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας και μετράμε τον όγκο του. Έπειτα την ίδια ποσότητα αερίου την βάζουμε σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης και θερμοκρασία υψηλή, τέτοια ώστε το φυσικό αέριο να βρίσκεται λίγο πριν την ανάφλεξη, σε εκείνο το χρονικό σημείο μετράμε τον όγκο του και συγκρίνουμε με τον πρωτινό όγκο.

Ένας θεωρητικός τρόπος μέτρησης του Z είναι να διαπιστωθεί μέσα από λογικές σχέσεις. Αυτές οι λογικές σχέσεις εξαρτώνται από την ψευδοελαττωμένη θερμοκρασία και πίεση.(2α)

Ψευδοελαττωμένη θερμοκρασία και πίεση

Η ψευδοελαττωμένη θερμοκρασία και πίεση εξαρτάται από την ψευδοελαττωμένη κρίσιμη θερμοκρασία και πίεση. Όπου ψευδοελαττωμένη κρίσιμη θερμοκρασία και πίεση σημαίνει ο μέσος όρος της κρίσιμης θερμοκρασίας και πίεσης ενός αερίου συγκεκριμένης ποσότητας mole. Αυτό μαθηματικά γράφεται έτσι:

$$P_{reduced} = \frac{P}{P_{critical}} \quad (2\gamma)$$
$$T_{reduced} = \frac{T}{T_{critical}}$$

$$P_{pc} = \sum y_i p_{ci} \text{ and } T_{pc} = \sum y_i T_{ci} \quad (2\alpha)$$

2.5) ΑΕΡΙΑ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑ(17)

Στην θερμοδυναμική και στην ρευστομηχανική, η συμπιεστότητα είναι ένα μέγεθος που σχετίζεται με την αλλαγή του σχετικού όγκου σε ρευστά (υγρά, αέρια) και στερεά σαν αντίδραση λόγω της αλλαγής της πίεσης. Ένας τύπος που εξηγεί αυτό είναι ο παρακάτω:

$$b = - \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dP}$$

$$V = \text{όγκο}V$$

$$P = \text{πίεση}$$

Ο παραπάνω τύπος δεν είναι ολοκληρωμένος διότι απαιτεί και μία πρόσθετη πληροφορία που είναι το είδος της διαδικασίας:

$$\text{Ισόθερμη: } \frac{dV}{V} = - \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{dP}{P}, \text{ Ισοτροπική: } \frac{dV}{V} = - \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{dP}{P}$$

Για τα στέρεα, η διαφοροποίηση ισόθερμης και ισοτροπικής διαδικασίας είναι περιττή.

2.5.α)Θερμοδυναμική

Ο όρος συμπιεστότητα χρησιμοποιείται για να περιγράψει την αποκλίνουσα συμπεριφορά στις θερμοδυναμικές ιδιότητες ενός πραγματικού αερίου σε σχέση με ένα ιδανικό αέριο. Ο συντελεστής συμπιεστότητας που έκανα μία μικρή αναφορά στο προηγούμενο κεφάλαιο εκφράζεται έτσι:

$$P' V = Z' n' R' T \Rightarrow Z = \frac{P' V}{n' R' T} \Rightarrow Z = \frac{P' V}{R' T}$$

$$\underline{V} = \frac{V}{n} (\text{Μοριακό } \delta V \text{ όγκο}V)$$

$$P = \text{Πίεση}$$

$$T = \text{Θερμοκρασία}$$

Όπως έχουμε προαναφέρει στο προηγούμενο κεφάλαιο για τα ιδανικά αέρια $Z=1$, ενώ για ένα πραγματικό αέριο, εκτός αν οι συνθήκες είναι πολύ υψηλή θερμοκρασία και πολύ χαμηλή πίεση $Z \neq 1$. Η χαρακτηριστική μεγάλη απόκλιση των πραγματικών από των ιδανικών αερίων γίνεται στην αντιδιαστολή των συνθηκών εξαίρεσης που ταυτίζονται τα πραγματικά με τα ιδανικά αέρια, δηλαδή σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και πολύ υψηλές πιέσεις. Αλλά επειδή αυτό είναι πολύ γενικόλογο έχουν συνταχθεί πίνακες που τα αποτελέσματά τους έχουν προκύψει από επιστημονική έρευνα των πραγματικών αερίων ώστε να υπάρχει ακρίβεια καθώς και εγκυρότητα.(17)

2.5.β)Αέρια συμπιεστότητα και Φυσικό αέριο(18)

Η ακριβής μελέτη του φυσικού αερίου και των συγγενών με το φυσικό αέριο ρευστών, είναι δύσκολη αλλά και απαραίτητη, αφού η ανταπόκριση των διαφόρων ειδών υδρογονανθράκων σε μεγάλες πιέσεις με ένα συνδυασμό μεγάλου εύρους θερμοκρασιών, μας οδηγούν σε σημαντικά συμπεράσματα για την εξόρυξη, την μεταφορά και την χρήση αυτών των υδρογονανθράκων.

Συνεπώς απαιτεί εμπειρία και διορατικότητα για μεγάλο αριθμό ακριβών μετρήσεων σε συνδυασμό με το πολύ υψηλό κόστος εκμείευσης αυτών των αποτελεσμάτων. Αυτό συμβαίνει διότι είναι δύσκολο να μελετηθούν σύνθετα ρευστά μείγματα που έχουν εκτεθεί σε ένα εύρος διεργασιών ενώ παράλληλα έχουν μία δυναμική ροή και παρουσιάζεται αλλαγή στον εξοπλισμό ανάλογα με τα στάδια επεξεργασίας.

Σε αυτό το κομβικό σημείο έρχεται ο συντελεστής συμπιεστότητας Z , να διευκολύνει κατά πολύ την κατάσταση ενώ συγχρόνως έχει άμεση εφαρμογή στην παραγωγική διαδικασία του αντικειμένου με ικανοποίηση των διεθνών standards. Εδώ βέβαια, πρέπει να αναφέρουμε πως πίσω από κάποια μαθηματικά μοντέλα βρίσκονται σελίδες μαθηματικών αποδείξεων, οι οποίες δεν είναι απαραίτητο να αναφερθούν, αλλά σίγουρα τα αποτελέσματα των μαθηματικών αυτών μοντέλων πλησιάζουν σε πολύ μεγάλο ποσοστό την πραγματικότητα με την παρουσία διαφόρων διορθωτικών παραγόντων.

Στη συγκεκριμένη πηγή η εξήγηση του συντελεστή συμπίεστικότητας αρχίζει με τον λόγο σύγκρισης των δύο όγκων (πραγματικό και ιδανικό αέριο):

$$Z = \frac{V_{Real}}{V_{Ideal}}$$

όπου :

$$V_{Real} = V_{measures(T,P,N)}$$

$$V_{ideal} = \frac{n' R' T}{P}$$

Το παρακάτω διάγραμμα(2.1), παρουσιάζει το εύρος των τιμών του Z για το φυσικό αέριο σε διαφορετικές θερμοκρασίες και πιέσεις. Κάθε καμπύλη αναφέρεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία με το αέριο είτε να έχει υγρή μορφή, είτε να έχει την μορφή σπόρων, αέριο εκτεθειμένο σε συνθήκες σωλήνα, σε δίκτυα μεταφοράς ή στο στάδιο πριν την έκχυση του από τον σωλήνα.

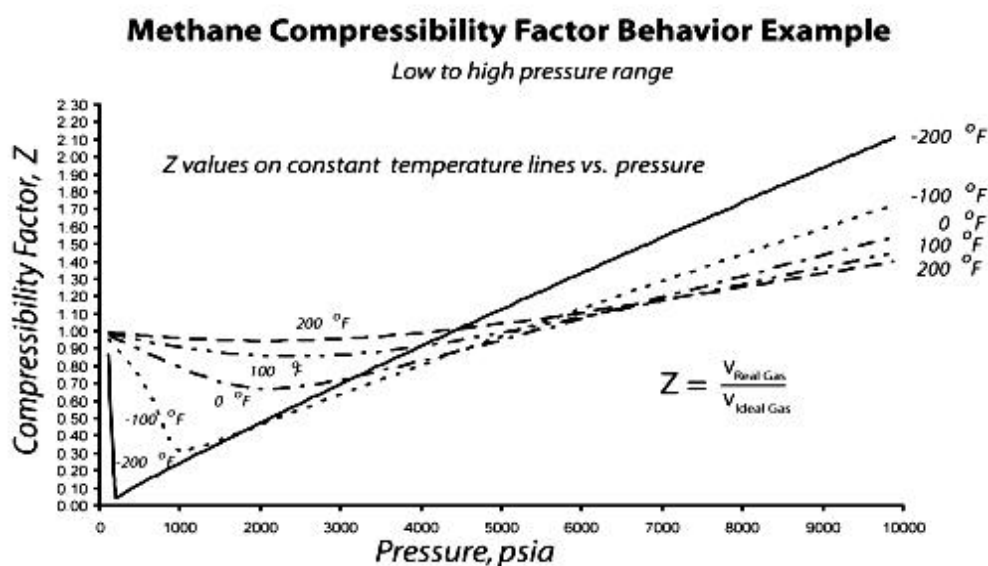


Figure 1. Methane compressibility factor example, low to high pressure range.

Διάγραμμα 2.1

Το διάγραμμα δείχνει πως καθώς το μεθάνιο συμπιέζεται, ο μοριακός όγκος του μικραίνει σε σχέση με τον όγκο του ιδανικού αερίου. Μάλιστα μέχρι περίπου τη πίεση των 4200 psia το $Z < 1$. Καθώς όμως συνεχίζει να αυξάνεται η πίεση παρατηρούμε ότι το $Z > 1$. Αυτό συμβαίνει διότι καθώς η πίεση αυξάνεται και τα μόρια του μεθανίου αρχίζουν να συμπιέζονται ακόμα περισσότερο, ΑΠΩΣΤΙΚΕΣ δυνάμεις αναπτύσσονται στα μόρια ως αντίδραση στην πίεση που δέχονται το ένα από το άλλο αλλά και από το περιβάλλον τους γενικότερα. Δηλαδή ο όγκος του μεθανίου, που είναι το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου ξεπερνά τον όγκο του ιδανικού αερίου.

Τα περισσότερα συστατικά του φυσικού αερίου συμπεριφέρονται με έναν παρόμοιο τρόπο. Υπάρχει όμως ένα χημικό στοιχείο που δεν συμπεριφέρεται έτσι και συναντάται κάποιες φορές στο φυσικό αέριο. Αυτό το στοιχείο είναι το υδρογόνο. Στο διάγραμμα 2.2, θα παρατηρήσουμε ότι το Z του υδρογόνου είναι μόνιμα πάνω από την μονάδα.

Hydrogen Compressibility Factor Behavior Example

Low to high pressure range

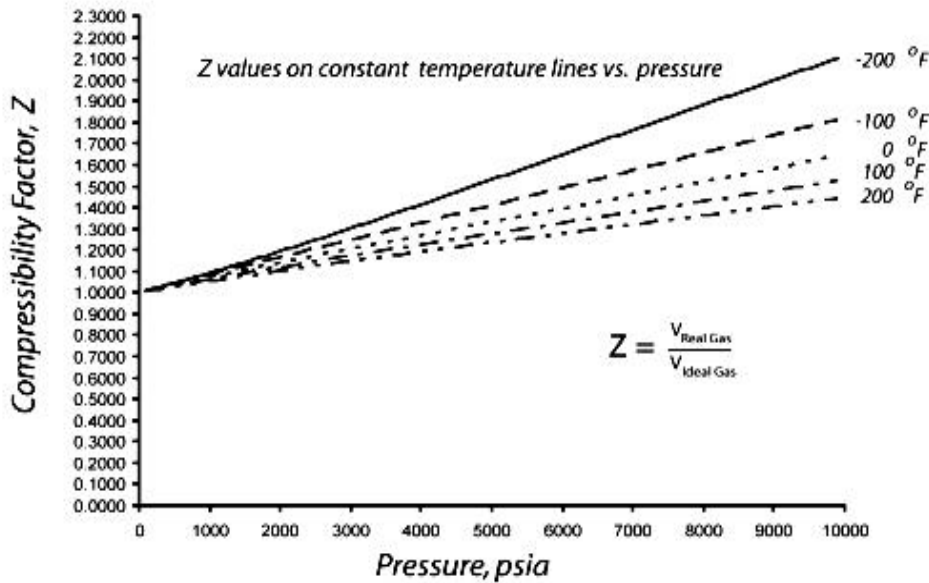


Figure 2. Hydrogen compressibility factor example, low to high pressure range.

Διάγραμμα 2.2

Πληροφοριακά, για σύνηθες φυσικό αέριο, σε σύνηθες συνθήκες μέτρησης του, το Z διορθώνει τον ιδανικό όγκο του φυσικού αερίου για πιέσεις που προσεγγίζουν την 1 ατμόσφαιρα σε ποσοστό 1%, ενώ για υψηλότερες πιέσεις διορθώνει τον όγκο του ιδανικού φυσικού αερίου κατά 20%. Επίσης, αλλαγές στον όγκο ή την πυκνότητα του αερίου, προκύπτουν από την αλλαγή της πίεσης, της θερμοκρασίας και της σύστασης του.

Η συνεισφορά του λόγου συμπιεστότητας εξαρτάται από την μέθοδο μέτρησης του. Δηλαδή το Z έχει μικρές αποκλίσεις ανάλογα με το αν θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος με μετρητή στομίου, με μετρητή τουρμπίνας ή υπερηχητικός μετρητής.

Το διάγραμμα 2.3 εστιάζει σε ένα κομμάτι του διαγράμματος 1, για να δείξει με λεπτομέρεια το εύρος του Z για αγνό αέριο (Μεθάνιο), σε σταθερή θερμοκρασία και σε αύξουσα πίεση έως 2000 psia. Εδώ να σημειωθεί πως οι καμπύλες της θερμοκρασίας που καλύπτουν όλες τις φάσεις του φυσικού αερίου είναι από 0°F έως 100°F.

Methane Compressibility Factor Behavior Example

Low and moderate pressure range

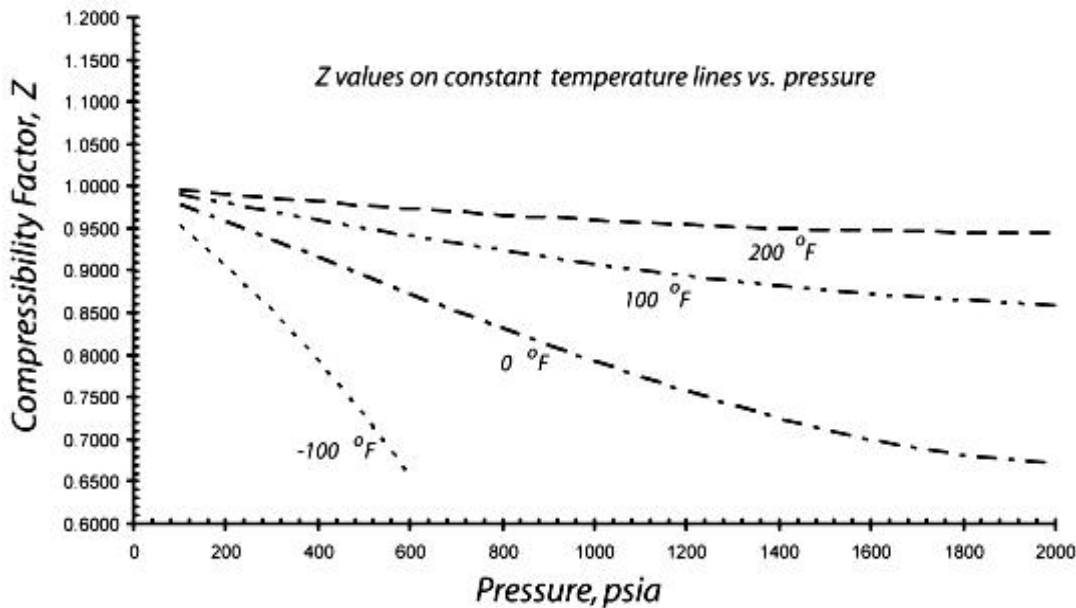


Figure 3. Methane compressibility factor example, low and moderate pressure range.

Διάγραμμα 2.3

Το μεγαλύτερο ποσοστό του φυσικού αερίου αποτελείται από μεθάνιο. Είναι το πιο σημαντικό συστατικό για τον υπολογισμό του συντελεστή συμπίεστικότητας Z. Άλλα συστατικά τύπου υδρογονανθράκων, όπως αιθάνιο, προπάνιο και άλλες χημικές ενώσεις που βρίσκονται στο φυσικό αέριο, συμβάλλουν και αυτά στην τιμή του Z. Καθώς λοιπόν τα συστατικά του φυσικού αερίου αλλάζουν και σε είδος αλλά και σε ποσοστό αλλάζει και η συνεισφορά τους στον συντελεστή συμπίεστικότητας Z. Παράδειγμα, αν ένα δείγμα φυσικού αερίου αποτελείται από μεθάνιο και υδρογόνο σε σταθερή θερμοκρασία και συγκεκριμένο εύρος πιέσεων θα έχει μία ενδιάμεση μορφή του διαγράμματος 1 και διαγράμματος 2. Η τελευταία αυτή παρατήρηση έχει να κάνει με μία γενική προσέγγιση, σε πιο λεπτομερειακό στάδιο σαφώς ΔΕΝ είναι ένας μέσος όρος της ποσόστωσης των εκάστοτε χημικών στοιχείων ή ενώσεων.(18)

2.6)ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ(19)

Θερμχωρητικότητα είναι μία μετρήσιμη φυσική ποσότητα που ισούται με τον λόγο της θερμότητας που είτε εισέρχεται σε ένα σύστημα είτε εξέρχεται από αυτό, προς την διαφορά θερμοκρασίας από την αρχή έως το τέλος της διαδικασίας. Οι μονάδες της θερμοχωρητικότητας είναι $\frac{Joule}{Kelvin}$, ενώ ο διαστατικός τύπος της είναι: $M^1 \cdot L^2 \cdot T^{-2} \cdot Q^{-1}$.

Η θερμοχωρητικότητα είναι μία εκτενής ιδιότητα της ύλης όσον αφορά την αναλογία με το μέγεθος του συστήματος. Όταν εκφραστεί το συγκεκριμένο φαινόμενο ως εντατική ιδιότητα, η θερμοχωρητικότητα διαιρείται με το σύνολο της ύλης ή του όγκου, ώστε η ποσότητα να ανεξαρτητοποιηθεί από το μέγεθος του δείγματος.

Η μοριακή θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα καθαρής ουσίας (mole) και η ειδική θερμοχωρητικότητα συχνά αποκαλούνται ειδική θερμότητα, που είναι η θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα μάζας της ύλης και είναι το ποσό της θερμότητας που απαιτείται να δοθεί σε ένα σύστημα(ύλη), ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά 1°C. Στη μηχανική συχνά χρησιμοποιείται ο όρος ογκομετρική θερμοχωρητικότητα.(19)

2.6.α)Βαθμός ελευθερίας(19)

Η θερμοκρασία αντικατοπτρίζει το μέγεθος του μέσου όρου της κινητικής ενέργειας των ατόμων και κα επέκταση των μορίων, σε σχέση με το κέντρο μάζας του συστήματος. Η θερμότητα από την άλλη είναι η μεταφορά ενέργειας μεταξύ των ορίων του συστήματος και του περιβάλλοντος του, είτε σε μορφή έργου είτε σε μορφή ύλης.

Η αντιστροφή αυτών των δύο ειδών ενεργειών σε συνδυασμό με την άτακτη κίνηση των μορίων συντελούν τον βαθμό ελευθερίας της κίνησης που συνεισφέρει στην θερμοχωρητικότητα της ύλης. Τα ηλεκτρόνια που είναι με ασθενής δεσμούς δεσμευμένα συνεισφέρουν στην θερμοχωρητικότητα της ύλης.

2.6.β) Τύποι

$$\left. \begin{aligned} C &= \frac{Q}{DT} \frac{\text{Joule}}{\text{Kelvin}} \\ C(T) &= \frac{dQ}{dT} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \hat{C} &= \text{qer mocwr htikothta} \\ \hat{Q} &= \text{Metaj er ómenh qer móhta} \\ \hat{DT} &= \text{qer mokr as ía} \end{aligned}$$

Επειδή την θερμοχωρητικότητα την μετράμε σαν μια εκτενή ιδιότητα, που σημαίνει ότι εξαρτάται από το μέγεθος του δείγματος. Αν λοιπόν έχουμε ένα δείγμα μεγέθους X και ένα δείγμα μεγέθους 2X, για να αλλάξει η θερμοκρασία το ίδιο και στα δύο δείγματα πρέπει στο δείγμα μεγέθους 2X να χρησιμοποιηθεί διπλάσια ποσότητα θερμότητας. Εδώ λοιπόν εισέρχεται ο ορισμός της ειδικής θερμοχωρητικότητας που μας απαλλάσσει από το εκτενές της ιδιότητας της θερμοχωρητικότητας.

$$c = \frac{Q}{m' DT} \frac{\text{Joule}}{\text{Kg} \cdot \text{K}}$$

$$c = \frac{Q}{n' DT} \frac{\text{Joule}}{\text{mole} \cdot \text{K}}$$

$$s = \frac{Q}{V' DT} \frac{\text{Joule}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}} \quad (\text{οπου : } s = c \cdot r)$$

2.6.γ) Μέτρηση Θερμοχωρητικότητας

Η μέτρηση της θερμοχωρητικότητας, των περισσότερων συστημάτων δεν είναι σταθερή. Εξαρτάται από την θερμοκρασία του συστήματος, την πίεση και τον όγκο του. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι να μετρηθεί η θερμοχωρητικότητα, συνήθως υπό σταθερή πίεση και όγκο. Η θερμοχωρητικότητα των υγρών και των αερίων μετριέται και υπό σταθερό όγκο και υπό σταθερή πίεση.

Μετρήσεις υπό συνθήκες σταθερής πίεσης δίνουν μεγαλύτερες τιμές από τις μετρήσεις υπό συνθήκες σταθερού όγκου. Αυτό συμβαίνει διότι υπό σταθερή πίεση, τα μόρια της ουσίας ως ένδειξη αντίστασης στην πίεση επεκτείνονται πέρα από τον χώρο τον οποίο καταλάμβαναν, με αποτέλεσμα αυτή η διαδικασία να αυξάνει την θερμοκρασία. Οι διαφορές αυτές στους δύο τρόπους μέτρησης, λαμβάνονται υπόψη όταν η τιμή της θερμοχωρητικότητας υπό σταθερή πίεση είναι μεγαλύτερη από 30% έως 66.7% της τιμής της θερμοχωρητικότητας υπό σταθερό όγκο.

Συμπερασματικά λοιπόν, ο λόγος θερμοχωρητικότητας C_p/C_v των αερίων, είναι, από 1.3 έως 1.67. Οι περισσότερες δημοσιευμένες μελέτες της θερμοχωρητικότητας των διάφορων στοιχείων ή χημικών ενώσεων, όταν αναφέρονται στην θερμοχωρητικότητα αναφέρουν και μία δεδομένη τιμή πίεσης. Παρόλα αυτά κάποιες λιγότερο δημοφιλείς μελέτες, εκτός της δεδομένης τιμής πίεσης, αναφέρουν και μία δεδομένη τιμή θερμοκρασίας.

2.6.δ) Θερμοδυναμικές σχέσεις και ορισμός της θερμοχωρητικότητας

Θερμοδυναμικές σχέσεις που μας οδηγούν στον ορισμό της θερμοχωρητικότητας είναι οι παρακάτω:

$$dU = dQ - dW \quad \text{P} \quad dU = dQ - P' dV \quad (dW = P' dV)$$

$$dU = \text{Eσωτερική ενέργεια}$$

$$dQ = \text{Qερμήτεια}$$

$$dW = \text{Έργο}$$

Ο τύπος αυτός μας λέει ότι το σύνολο της ενέργειας ενός συστήματος είναι το άθροισμα της θερμότητας που εκλύει και του έργου που παράγει. Αν θεωρήσουμε ότι η προσέγγιση γίνεται υπό σταθερό όγκο, τότε ο όρος που ενέχει τον όγκο δεν προσφέρει κάποια διαφοροποίηση στον τύπο. Παράλληλα διαιρούμε αυτόν τον τύπο με το dT, τότε προκύπτει το εξής:

$$dU = dQ - P' dV \quad \text{P} \quad (dU)_V = (dQ)_V \quad \text{P}$$

$$\frac{\partial U}{\partial T} \Big|_V = \frac{\partial Q}{\partial T} \Big|_V = C_V$$

Ο παραπάνω τύπος εκφράζει την θερμοχωρητικότητα συναρτήσει της εσωτερικής ενέργειας υπό σταθερό όγκο. Υπό σταθερή πίεση χρησιμοποιούμε τον τύπο της ενθαλπίας:

$$H = U + P' V \quad (19)$$

Ενθαλπία(11)

Είναι ένα θερμοδυναμικό μέγεθος που αποτελείται από το άθροισμα της εσωτερικής ενέργειας και του έργου που παράγει.(11)

Από την στιγμή που η πίεση κρατιέται σταθερή, ο όρος του έργου δεν έχει να προσφέρει τίποτα και καταλήγουμε στην απλούστευση του τύπου:

$$(dH)_P = (dQ)_P$$

Αν διαιρέσουμε και με το dT, τότε προκύπτει το εξής:

$$\frac{\partial H}{\partial T} \Big|_P = \frac{\partial Q}{\partial T} \Big|_P = C_P$$

Άρα συνολικά ισχύει:

$$\frac{\partial U}{\partial T} \Big|_V = \frac{\partial Q}{\partial T} \Big|_V = C_V \quad \text{ú}$$

$$\frac{\partial H}{\partial T} \Big|_P = \frac{\partial Q}{\partial T} \Big|_P = C_P \quad \text{ú}$$

Μετρώντας την θερμοχωρητικότητα και συγκεκριμένα την ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερό όγκο, μερικές φορές είναι δύσκολο, διότι οι μικρές αλλαγές στην θερμοκρασία που θέλουμε να επιτύχουμε χωρίς να αλλάξουμε τον όγκο, απαιτούν υψηλές πιέσεις. Άρα το δοχείο που θα περικλείεται το αέριο ή το υγρό πρέπει να είναι άκαμπτο και πολύ δυνατό. Για αυτό, πολλές φορές βρίσκουμε την θερμοχωρητικότητα υπο σταθερή πίεση. Υπό συνθήκες σταθερού όγκου χρησιμοποιούμε μαθηματικούς τύπους, όπως ο παρακάτω:

$$C_P - C_V = T' \frac{\partial P}{\partial T} \Big|_V \cdot \frac{\partial V}{\partial T} \Big|_P \dots\dots(a), \text{ ή}$$

$$C_P - C_V = V' T' \frac{a^2}{b_T} \dots\dots(b)$$

$$a = \text{Sunt el est } \eta V \text{ qer mik } \eta V \text{ diastol } \eta V$$

$$b_T = \text{Isoqer mik } \eta \text{ sumpiest } \acute{\alpha} \text{hta}$$

Ο λόγος θερμοχωρητικότητας ή ισεντροπικός διασταλτικός παράγοντας είναι ο λόγος: C_P/C_V

2.6.ε) Συνδυασμός με τον νόμο των Ιδανικών Αερίων

Γνωρίζουμε τον τύπο:

$$P' V = n' R' T \quad \begin{cases} \frac{\partial P}{\partial T} = \frac{n' R'}{V} \dots\dots(1) \\ \frac{\partial V}{\partial T} = \frac{n' R'}{P} \dots\dots(2) \end{cases}$$

Γνωρίζουμε επίσης τον τύπο:

$$C_p - C_v = T \left[\frac{\partial P}{\partial T} \frac{\partial V}{\partial P} - \frac{\partial V}{\partial T} \frac{\partial P}{\partial P} \right] \dots\dots(3)$$

Η διαφορική μορφή του τύπου (1) είναι: $\frac{\partial P}{\partial T} = \frac{n' R'}{V} \dots\dots(4)$

Η διαφορική μορφή του τύπου (2) είναι: $\frac{\partial V}{\partial T} = \frac{n' R'}{P} \dots\dots(5)$

Πάω στον τύπο (3) και αντικαθιστώ τους τύπους (4),(5) και προκύπτει:

$$C_p - C_v = T \left[\frac{\partial P}{\partial T} \frac{\partial V}{\partial P} - \frac{\partial V}{\partial T} \frac{\partial P}{\partial P} \right] = T \left[\frac{n' R'}{V} \frac{\partial V}{\partial P} - \frac{n' R'}{P} \right]$$

$$C_p - C_v = \frac{n' R' T}{P} \left[\frac{\partial V}{\partial P} \frac{P}{V} - 1 \right] \quad (19)$$

$$C_p - C_v = n' R \dots\dots(6)$$

2.6.στ) Ειδική θερμοχωρητικότητα(19)

Η ειδική θερμοχωρητικότητα ενός υλικού είναι ο παρακάτω τύπος:

$$c = \frac{q C}{m}$$

Όταν δεν βρίσκεται στην διαδικασία αλλαγής φάσης το υλικό τότε έχει τον παρακάτω συμβολισμό η ειδική θερμοχωρητικότητα:

$$c = E_m$$

$$\frac{C}{m} = \frac{C}{r' V}$$

$$C = Q_{\text{ερ πορωτητικαhta}}$$

$$m = \text{Μάζα s ωματοV}$$

$$V = \text{ΌγκοV s ωματοV}$$

$$r = \frac{m}{V} = \text{Ρυκνάhta}$$

Όταν πρόκειται για τα αέρια, υπάρχει ανάγκη διαχωρισμού των διαφορετικών συνθηκών σε υψηλές πιέσεις. Για αυτό γίνεται ο κάτωθεν διαχωρισμός:

$$c_p = \frac{\partial C}{\partial m} \dots\dots(1)$$

$$c_v = \frac{\partial C}{\partial m} \dots\dots(2)$$

Αφαιρώ την (2) από την (1) και σε συνδυασμό με την σχέση της προηγούμενης παραγράφου:

$$C_p - C_v = V' T' \frac{a^2}{b_T} \dots \dots \dots (b)$$

$a = \text{Sun t el est } \eta V \text{ qer mik } \eta V \text{ diastol } \eta V$

$b_T = \text{Isoqer mik } \eta \text{ sumpi est } \acute{\alpha} \text{hta}$

Προκύπτει ο τύπος:

$$c_p - c_v = \frac{a^2 \cdot T}{r \cdot b_T} \dots \dots \dots (3)$$

Υπάρχει η ογκομετρική θερμοχωρητικότητα όπου γράφεται $C \times V^{-1}$. Επίσης, υπάρχει και η ειδική θερμοχωρητικότητα μάζας που συνδυάζεται με την ογκομετρική θερμοχωρητικότητα και συμβολίζεται ως εξής:

$$c_m = \frac{C}{m} \quad \text{ἢ} \quad c_m = \frac{C}{r \cdot V} \quad \text{ἢ} \quad c_m = \frac{C}{V} \cdot \frac{1}{r} \quad \text{ἢ} \quad c_m = \frac{c_v}{r}$$

Για αγνές, ομογενείς χημικές ενώσεις έχει καθιερωθεί η μοριακής μάζας θερμοχωρητικότητα και εκφράζεται σε mole ουσίας ως εξής:

$$C_{P,m} = \frac{\partial C}{\partial n} \Big|_P, \quad C_{V,m} = \frac{\partial C}{\partial n} \Big|_V$$

2.6.στ.α) Πολυτροπική θερμοχωρητικότητα

Η πολυτροπική θερμοχωρητικότητα, αφορά ένα σύστημα που όλα τα θερμοδυναμικά μεγέθη αλλάζουν (πίεση, όγκος, θερμοκρασία). Εκφράζεται ως εξής:

$$c_{i,m} = \frac{\partial C}{\partial n} \Big|_i = \text{Mori ak } \eta \text{ qer } \rho \text{ocwr htik } \acute{\alpha} \text{hta}$$

2.6.στ.β) Αδιάστατη θερμοχωρητικότητα(19)

$$C^* = \frac{C}{n \cdot R} = \frac{C}{N \cdot K} \text{® (Sunar t } \eta \text{ sei thV entr opiaV)} \quad C^* = \frac{dS^*}{d(\ln T)} \quad (S^* = \frac{S}{N \cdot K})$$

$C = \text{Qer } \rho \text{ocwr htik } \acute{\alpha} \text{hta}$

$n = \text{Ariqmo } \eta \text{ mole}$

$R = \text{Pag } \acute{\alpha} \text{smia staqer } \acute{\alpha} \text{ twn aer } \eta \text{wn}$

$N = \text{Ariqmo } \eta \text{ por } \eta \text{wn}$

$K = \text{St. Boltzmann}$

Εντροπία(12)

Εντροπία είναι ένα θερμοδυναμικό μέγεθος που καταγράφει τις διαταραχές (αλλαγές) σε ένα θερμοδυναμικό σύστημα, δηλαδή την απώλεια ή τον εφοδιασμό με ενέργεια του συστήματος. Συμβολίζεται ως εξής:

$$DS = \frac{dQ}{T} \text{® Joule } \acute{\alpha} \text{ Kelvin}$$

Σε ένα πλήρως αντιστρεπτό σύστημα η εντροπία παραμένει σταθερή. Σε ένα μη αντιστρεπτό σύστημα όμως η εντροπία μεταβάλλεται.

*Πολλές φορές η εντροπία δίνεται συναρτήσει των mole, δηλαδή με μονάδες:

$$\frac{\text{Joule}}{\text{Kelvin} \cdot \text{mole}}$$

(12)

2.6.2 Η διακύμανση της θερμοχωρητικότητας του φυσικού αερίου σε σχέση με την θερμοκρασία, την πίεση και την σχετική πυκνότητα. (20)

Η αλλαγή στην ενθαλπία ενός ρευστού, που εκείνη την στιγμή δεν είναι σε αλλαγή φάσης δίνεται από τον τύπο:

$$Dh = \int_{T1}^{T2} C_p \cdot dT + \int_{P1}^{P2} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \cdot dP \dots \dots \dots (1)$$

Ο δεύτερος όρος της δεξιάς πλευράς της εξίσωσης, δεν είναι εύκολο να επιλυθεί. Παρόλα αυτά είναι το αποτέλεσμα αυτού του όρου ελάχιστο ή μηδέν σε τρεις περιπτώσεις:

Ιδανικά αέρια, υπό συνθήκες σταθερής πίεσης, για υγρά που θεωρούνται ασυμπίεστα

Για τις τρεις αυτές περιπτώσεις η ενθαλπία σχετίζεται μόνο με την θερμοκρασία. Η θερμοχωρητικότητα από την άλλη υπό σταθερή πίεση εκφράζεται από τον τύπο:

$$C_p = A + B \cdot T + C \cdot T^2 \dots \dots \dots (2)$$

Όπου A, B, C, είναι σταθερές που εξαρτώνται από την σύνθεση του μείγματος. T είναι η απόλυτη θερμοκρασία. Στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι επαρκώς ακριβές το C_p, να βρεθεί για την μέση θερμοκρασία των δύο καταστάσεων, δηλαδή:

$$T_{Avg} = \frac{T1 + T2}{2} \dots \dots \dots (3)$$

Έτσι =, ο αρχικός τύπος γίνεται:

$$Dh = \int_{T1}^{T2} C_p \cdot dT = C_{pAvg} \cdot (T1 - T2) \dots \dots \dots (4)$$

Αφού λοιπόν το φυσικό αέριο είναι μεν μη ιδανικό αλλά διατηρείται κατά την διαδικασία, υπό σταθερή πίεση, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο τύπος (4). Για να υπολογιστεί το θερμικό φορτίο του χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$Q = m \cdot C_{pAvg} \cdot (T1 - T2) \dots \dots \dots (5)$$

Επειδή λοιπόν έχουμε σταθερή πίεση από τον τύπο (4), πηγαίνουμε στον κλασικό τύπο που έχουμε αναφέρει σε προηγούμενη παράγραφο:

$$C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_P \dots \dots \dots (6)$$

Με την χρήση του τύπου (6), δημιουργήθηκε ένας πίνακας (πίνακας 1) με την σύνθεση πέντε διαφορετικής σύνθεσης φυσικών αερίων:

	Μείγματα Φυσικού Αερίου (mole %)				
Σύνθεση	A	B	Γ	Δ	E
CH ₄	94.4	88.9	83.2	78.0	74.9
C ₂ H ₆	2.6	5.2	8.8	10.5	10.1
C ₃ H ₈	2.0	3.7	4.2	6.5	7.2
iC ₄ H ₁₀	0.5	0.7	1.1	1.5	2.4
nC ₄ H ₁₀	0.5	0.7	1.1	1.5	2.4
iC ₅ H ₁₂	0.0	0.4	0.8	1.0	1.5
nC ₅ H ₁₂	0.0	0.4	0.8	1.0	1.5
MW	17.389	18.827	20.279	21.724	23.183
SG	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8

(Πίνακας 1)

SG= specific gravity=σχετική πυκνότητα
 MW=molecular weight=μοριακό βάρος (20)

Παρακάτω θα παρουσιαστούν(20) διαγραμματικά, πέντε διακυμάνσεις του C_p, συναρτήσει της πίεσης, της θερμοκρασίας και της σχετικής πυκνότητας. Κάθε διάγραμμα αφορά ένα είδος μείγματος φυσικού αερίου. Οι κόκκινες διαγραμμίσεις αφορούν το αέριο όταν βρίσκεται σε μια ενδιάμεση φάση, δηλαδή συνυπάρχει η υγρή και η αέρια φάση του. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι τιμές δεν είναι έγκυρες. Πρέπει επίσης να σημειωθεί, πως η ισοβαρής μεταβολή στα 20 MP αντιπροσωπεύει μία μόνο φάση ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες. Εδώ βέβαια αξίζει να παρατηρήσουμε ότι σε τόσο χαμηλές θερμοκρασίες το φυσικό αέριο είναι σε μία παχύρρευστη υγρή φάση. Για την χάραξη των καμπυλών χρησιμοποιήθηκε ο εξής τύπος:

$$C_p = \left(a' b^{T' T^c} \right) + \left(d' e^{P' P^f} \right) \frac{\rho SG}{0.6}^{0.025} \dots\dots(7)$$

T = θερμοκρασία

P = πίεση

C_p = ειδική θερμότητα

Ο παραπάνω τύπος, είναι ένας μη γραμμικός φθίνων αλγόριθμος, που χρησιμοποιήθηκε για να καθοριστούν οι σωστές τιμές των παραμέτρων a,b,c,d,e,f.

Πρώτα, οι τιμές του C_p για κάθε αέριο του πίνακα (1), χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογιστούν οι παράμετροι a έως f. Έπειτα όλες οι γενικευμένες τιμές του C_p, χρησιμοποιήθηκαν για να ρυθμιστούν οι γενικευμένες παράμετροι.

Αυτές οι γενικευμένες παράμετροι συντονίστηκαν με τον καλύτερο τρόπο, ώστε να εκπροσωπούν και τα πέντε είδη αερίων σε ένα πλατύ εύρος σχετικών πυκνοτήτων από 0.6 έως 0.8. Για κάθε περίπτωση, οι παράμετροι και τα στατιστικά λάθη ανάλυσης, παρουσιάζονται στον πίνακα (2.9).

Να σημειωθεί, ότι οι τιμές του C_p για τις διπλές φάσεις του αερίου, δεν χρησιμοποιήθηκαν. Τα θερμοκρασιακά όρια είναι από 20°C έως 200°C (68°F έως 392°F), ενώ τα όρια πίεσεως είναι από 0.1 Mpascaal έως 20 Mpascaal (14.5 psia έως 2900psia)

T in °C, P in MPa, and Cp in kJ/kg·°C (0.10 to 20 MPa)										
Gas SG	a	b	c	d	E	f	AAPD	MAPD	T range, °C	NPT
0.60	0.9426	1.0106	-0.5260	2.1512	1.0140	0.0155	3.43	12.10	15 to 200	150
0.65	1.1684	1.0123	-0.6476	2.1436	1.0146	0.0188	3.94	16.05	15 to 200	150
0.70	0.2633	1.0200	-0.7330	2.2486	1.0146	0.0204	4.39	20.44	20 to 200	147
0.75	1.8455	1.0194	-1.0665	2.1972	1.0148	0.0246	4.83	22.88	30 to 200	139
0.80	0.0133	1.0053	0.3912	2.1488	1.0155	0.0234	4.45	21.34	40 to 200	129
Overall							4.21	22.88		715
Gas SG	a	b	c	d	E	f	AAPD	MAPD	T range, °C	NPT
0.60-0.8	0.90	1.014	-0.700	2.170	1.015	0.0214	4.34	23.19	See above	715
T in °F, P in Psia/1000, and Cp in Btu/lbm·°F (14.5 to 2900 Psia)										
Gas SG	a	b	c	d	E	f	AAPD	MAPD	T range, °F	NPT
0.60	1.1231	1.0057	-0.7351	0.5126	1.1032	0.0161	3.43	12.35	59 to 392	150
0.65	1.9309	1.0068	-0.9104	0.5170	1.1075	0.0195	3.94	16.31	59 to 392	150
0.70	1.6987	1.0108	-1.2230	0.5506	1.1062	0.0209	4.39	20.27	68 to 392	147
0.75	8.7046	1.0108	-1.4945	0.5437	1.1079	0.0250	4.83	22.83	86 to 392	139
0.80	0.0014	1.0030	0.4652	0.5372	1.1118	0.0235	4.45	21.30	104 to 392	129
Overall							4.21	22.83		715
Gas SG	a	b	c	d	E	f	AAPD	MAPD	T range, °F	NPT
0.60-0.8	1.15	1.008	-0.944	0.533	1.110	0.0216	4.34	23.61	See above	715

Πίνακας 2.9

Παρακάτω παραθέτω τα πέντε διαγράμματα που επισημάνθηκαν με τους σχολιασμούς.

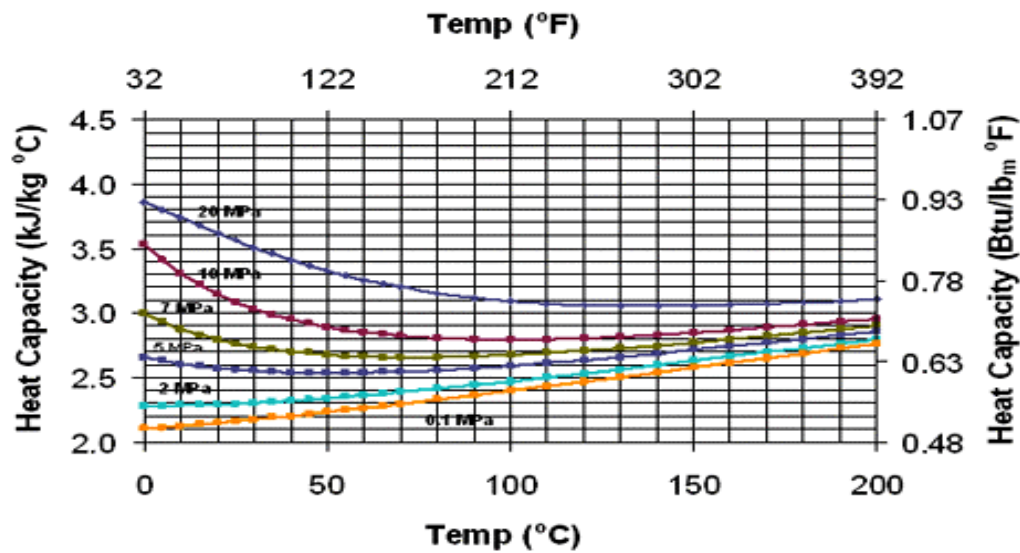


Figure 1. Heat Capacity for SG = 0.60 Natural Gas

Πίνακας 2.10

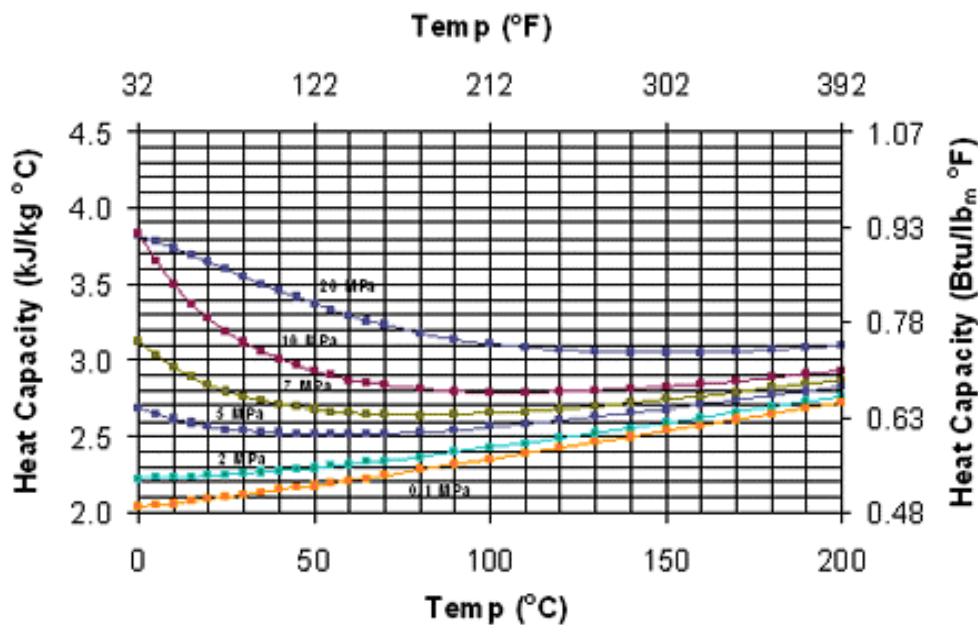


Figure 2. Heat Capacity of SG = 0.65 Natural Gas

Πίνακας 2.11

The shaded regions are in two phase of gas and liquid. 20 MPa passes through dens es phase .

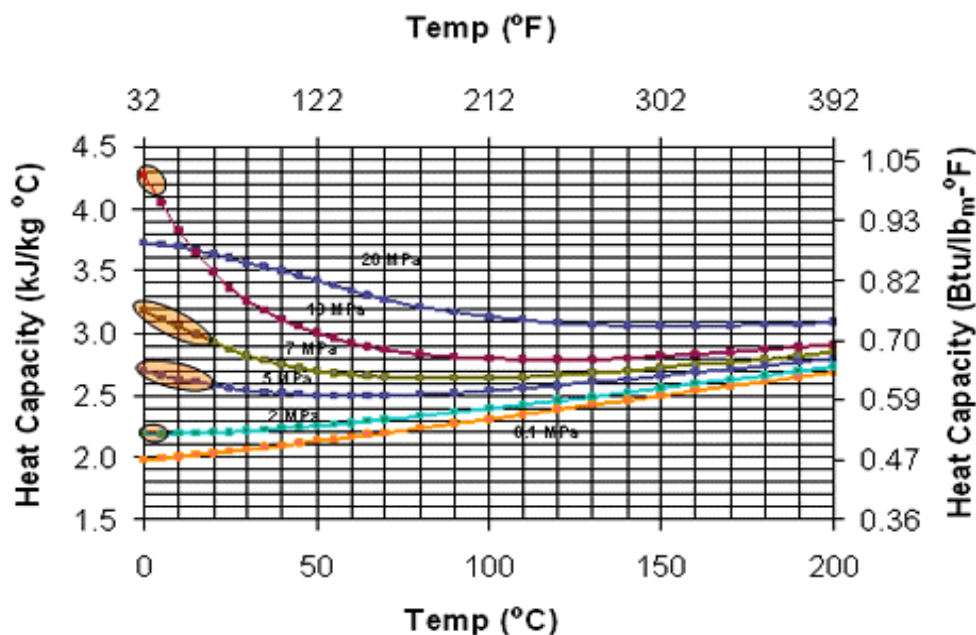


Figure 3. Heat Capacity of SG =0.70 Natural Gas

Πίνακας 2.12

The shaded regions are in two phase of gas and liquid. 20 MPa passes through dens es phase .

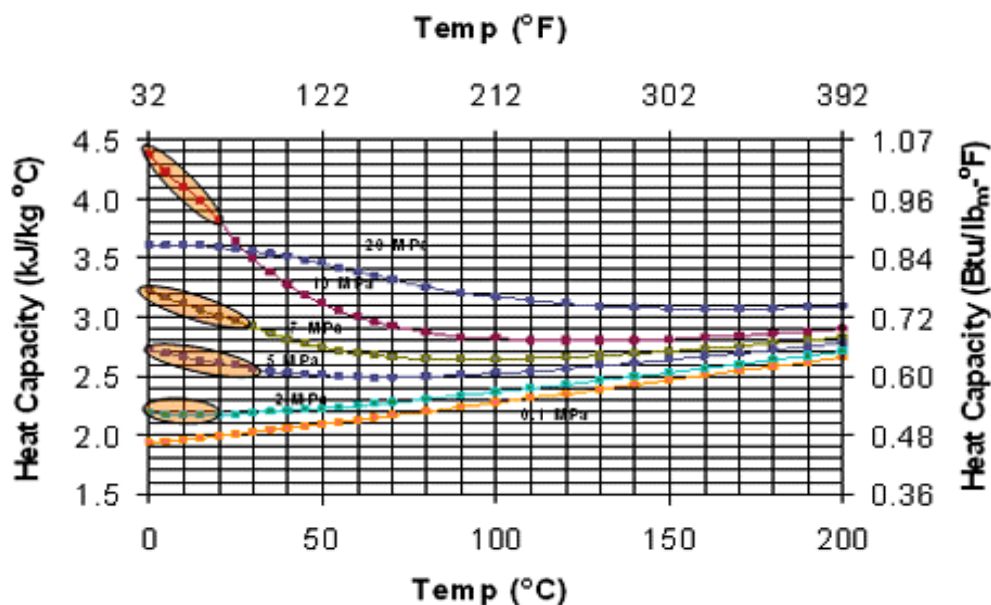


Figure 4. Heat Capacity of SG =0.75 Natural Gas

Πίνακας 2.13

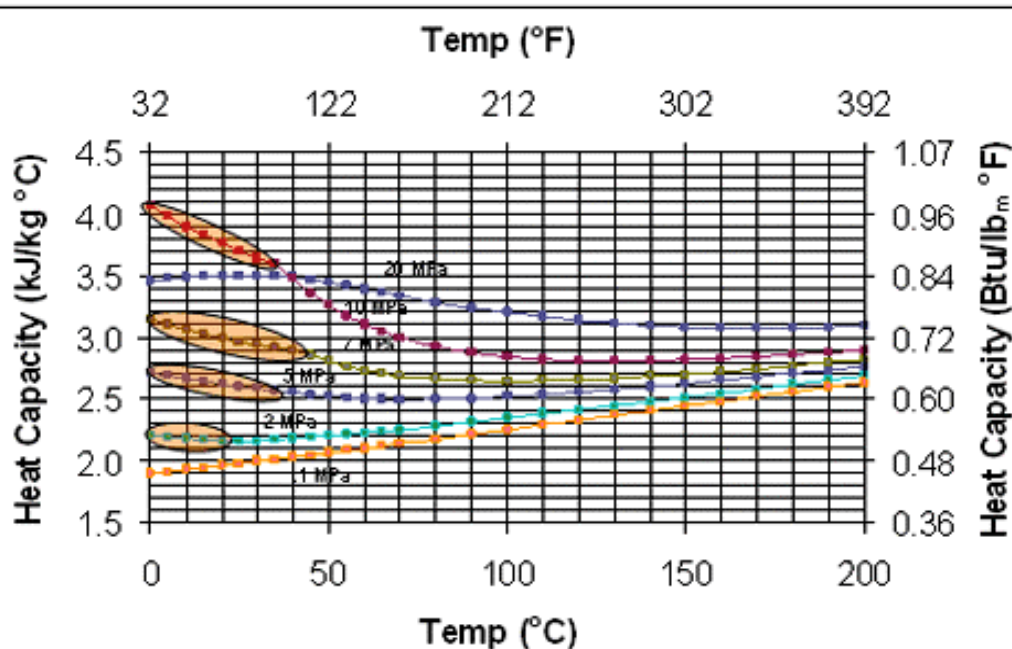


Figure 5. Heat Capacity of SG = 0.80 Natural Gas

Πίνακας 2.14

(20)

2.7) ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ (22)

Στην φυσική, θερμική αγωγιμότητα είναι η ιδιότητα των υλικών να άγουν την θερμότητα. Σαν ιδιότητα έχει αξιολογηθεί πρώιμα από τους νόμους του Fourier. Υλικά με χαμηλή θερμική αγωγιμότητα επιτρέπουν σε χαμηλό βαθμό την μεταφορά θερμότητας, ενώ υλικά με υψηλή θερμική αγωγιμότητα επιτρέπουν σε μεγαλύτερο βαθμό την μεταφορά θερμότητας.

Υλικά με υψηλή θερμική αγωγιμότητα χρησιμεύουν ως ψήκτρες, δηλαδή να απορροφούν την θερμότητα από μία ηλεκτρομηχανολογική κατασκευή που αναπτύσσει ανεπιθύμητα υψηλές θερμοκρασίες. Υλικά με χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, χρησιμεύουν ως μονωτές, δηλαδή όταν επιδιώκεται να διατηρηθεί μία συγκεκριμένη θερμοκρασία σε μια ηλεκτρομηχανολογική κατασκευή. Επίσης, καλό είναι να αναφερθεί πως το αντίθετο της θερμικής αγωγιμότητας είναι η θερμική αντίσταση.

2.7.α) Μονάδες

Η θερμική αγωγιμότητα στο διεθνές σύστημα μονάδων μετριέται σε:

$$\frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_m \cdot K \cdot \Delta T}$$

ο διαστατικός τύπος της είναι:

$$M(\text{mass})^1 \cdot L(\text{length})^1 \cdot T(\text{time})^{-3} \cdot Q^{-1}$$

Σε αγγλικές μονάδες μετριέται σε:

$$\frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_m \cdot \text{feet} \cdot \Delta T}$$

Στις εταιρίες κατασκευής χρησιμοποιούν μονάδες όπως R-Value, U-Value, που αφορούν το πάχος του υλικού.

2.7.β) Τρόποι μέτρησης

Υπάρχουν πολλοί τρόποι μέτρησης της θερμικής αγωγιμότητας. Ο καθένας από αυτούς ασχολείται με περιορισμένο εύρος υλικών, και εξαρτάται από τις θερμικές ιδιότητες και την μέση

θερμοκρασία. Υπάρχει ένας γενικός διαχωρισμός των μεθόδων. Η μια μέθοδος είναι της σταθερής κατάστασης, ενώ η άλλη είναι η μέθοδος μεταβατικής τεχνικής.

Η πρώτη μέθοδος χρησιμοποιείται, όταν γίνεται μία συγκεκριμένη παροχή θερμότητας από μία συγκεκριμένη μεριά. Η δεύτερη μέθοδος γίνεται όταν, η παροχή θερμότητας αυξομειώνεται και μεταφέρεται σε διάφορες μεριές του υλικού.

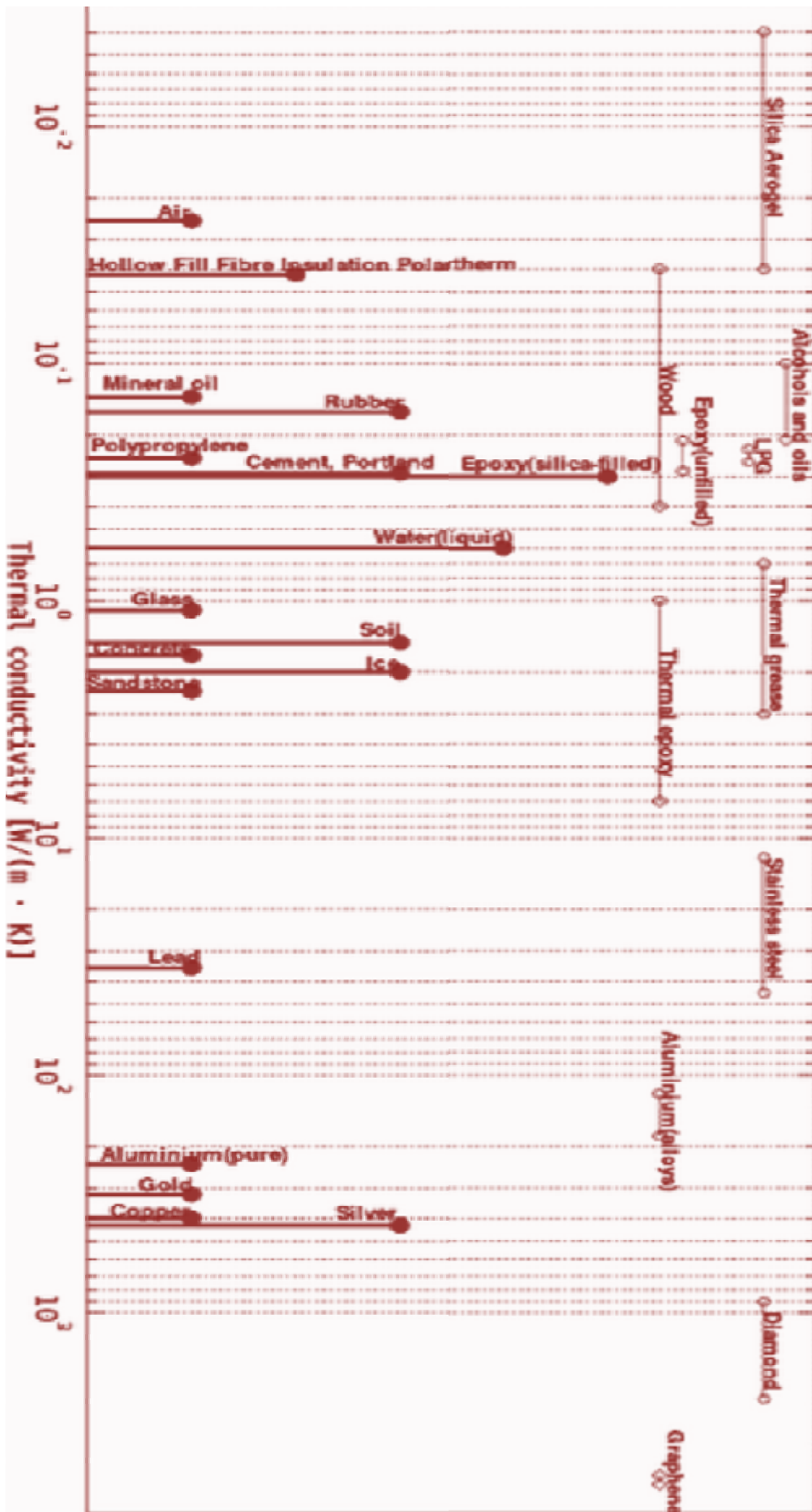
2.7.γ) Πειραματικές τιμές

Η θερμική αγωγιμότητα είναι σημαντική στην επιστήμη των υλικών, στην έρευνα, στην ηλεκτρονική τεχνολογία, στις μονωτικές κατασκευές όπου εμφανίζονται υψηλές θερμοκρασίες. Στον πίνακα πειραματικών τιμών παρουσιάζονται διάφορα υλικά. Αυτές οι τιμές πρέπει να θεωρηθούν κατά προσέγγιση ακριβείς, λόγω της ανακρίβειας στο ποσοστό καθαρότητας των υλικών.

Τα υψηλά επίπεδα παραγωγής ενέργειας στην ηλεκτρονική τεχνολογία, στις τουρμπίνες κ.α, απαιτούν την χρήση υλικών, με υψηλές θερμικές αγωγιμότητες όπως χαλκός, ασήμι, αλουμίνιο. Αντιθέτως, για κατασκευές μόνωσης όπως σε φούρνους, απαιτείται καθυστέρηση του θερμικού φορτίου για αυτό χρησιμοποιούνται υλικά όπως η Αλουμίνα, Πολυστηρένιο κ.α.

Παρακάτω παραθέτω τις πειραματικές τιμές της πηγής:

EXPERIMENTAL VALUES OF THERMAL CONDUCTIVITY



Πίνακας 2.15

2.7.δ) Το φαινόμενο της αγωγής

Η αγωγή της θερμότητας, σε ένα υλικό μετρείται ως η ποσότητα της θερμικής ενέργειας που περνά σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, δια μέσου μίας πλάκας συγκεκριμένου εμβαδού και πάχους, όταν η άλλη πλευρά της πλάκας, έχει κατά έναν βαθμό Κέλβιν λιγότερη θερμοκρασία. Για μια πλάκα θερμικής αγωγιμότητας k, εμβαδού A και πάχους L, η αγωγή μετρείται ως (k x A)/L. Και ως μονάδες έχει (W/°K), (W/°C). Η θερμική αγωγιμότητα και η αγωγή εν γένει, είναι ανάλογη της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (A x m⁻¹ x V⁻¹) και ηλεκτρικής αγωγής (A x V⁻¹).

$$\text{Θερμική αγωγή} = \frac{k \cdot A \text{ Watt } \ddot{\text{u}}}{L \text{ } \overset{\circ}{\text{K}} \text{ } \ddot{\text{u}}}$$

$$\text{Sunt el est } \eta \text{ } \overset{\circ}{\text{V}} \text{ } \overset{\circ}{\text{C}} \text{ } \overset{\circ}{\text{m}} \text{ } \overset{\circ}{\text{K}} \text{ } \overset{\circ}{\text{V}} = k = \frac{P \text{ } \overset{\circ}{\text{Watt}} \text{ } \ddot{\text{u}}}{L \cdot T \text{ } \overset{\circ}{\text{m}} \text{ } \overset{\circ}{\text{K}} \text{ } \ddot{\text{u}}}$$

$$P = I \cdot U$$

$$L = m$$

$$T = \text{Θερμοκρασία}$$

$$\text{Sunt el est } \eta \text{ } \overset{\circ}{\text{V}} \text{ } \overset{\circ}{\text{C}} \text{ } \overset{\circ}{\text{m}} \text{ } \overset{\circ}{\text{K}} \text{ } \overset{\circ}{\text{V}} = \frac{k \text{ } \overset{\circ}{\text{Watt}} \text{ } \ddot{\text{u}}}{L \text{ } \overset{\circ}{\text{m}} \text{ } \overset{\circ}{\text{K}} \text{ } \ddot{\text{u}}} \text{ (} \overset{\circ}{\text{Daj or o} \overset{\circ}{\text{po} \overset{\circ}{\text{i} \overset{\circ}{\text{h} \overset{\circ}{\text{s} \overset{\circ}{\text{h}} \text{ sunt el est } \eta \text{ } \overset{\circ}{\text{V}} \text{ } \overset{\circ}{\text{C}} \text{ } \overset{\circ}{\text{m}} \text{ } \overset{\circ}{\text{K}} \text{ } \overset{\circ}{\text{V}})}$$

$$\text{Ant } \overset{\circ}{\text{i} \overset{\circ}{\text{s} \overset{\circ}{\text{t} \overset{\circ}{\text{r}} \overset{\circ}{\text{o}} \text{ } } \overset{\circ}{\text{V}} \text{ } \overset{\circ}{\text{C}} \text{ } \overset{\circ}{\text{m}} \text{ } \overset{\circ}{\text{K}} \text{ } \overset{\circ}{\text{V}} = \frac{L \text{ } \overset{\circ}{\text{K}} \text{ } \ddot{\text{u}}}{k \cdot A \text{ } \overset{\circ}{\text{Watt}} \text{ } \ddot{\text{u}}}$$

$$\text{Ant } \overset{\circ}{\text{i} \overset{\circ}{\text{s} \overset{\circ}{\text{t} \overset{\circ}{\text{r}} \overset{\circ}{\text{o}} \text{ } } \overset{\circ}{\text{V}} \text{ } \overset{\circ}{\text{C}} \text{ } \overset{\circ}{\text{m}} \text{ } \overset{\circ}{\text{K}} \text{ } \overset{\circ}{\text{V}} = \frac{L \text{ } \overset{\circ}{\text{K}} \text{ } \overset{\circ}{\text{m}} \text{ } \ddot{\text{u}}}{k \text{ } \overset{\circ}{\text{Watt}} \text{ } \ddot{\text{u}}}$$

2.7.ε) Θερμική διαπερατότητα

Η θερμική διαπερατότητα είναι μια ιδιότητα που διαχωρίζει την αγωγή της θερμότητας λόγω δομής υλικού, από την αγωγή της θερμότητας λόγω ακτινοβολίας και μεταγωγής. Μετρείται στις μονάδες της θερμικής αγωγής (Watt/°K), και συχνά αναφέρεται ως η σύνθετη θερμική αγωγή. Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως η U-value.

2.7.στ) Θερμική εισδοχή

Η θερμική εισδοχή ενός υλικού, είναι η μέτρηση της ικανότητας του, να μεταφέρει θερμότητα από την μία πλευρά ενός υλικού στην άλλη. Έχει της ίδιες μονάδες με τον συντελεστή θερμικής μεταφοράς (Watt/m² x °K). Η θερμική εισδοχή μετρείται ευρέως σε οικοδομικές κατασκευές (τοιχοποιία κ.α.).(22)

2.7.ζ) Μικροσκοπική παρατήρηση του φαινομένου της θερμικής αγωγής(24)

Η θερμική αγωγή είναι η μεταφορά της εσωτερικής ενέργειας της ύλης, λόγω μικροσκοπικών διαχύσεων και συγκρούσεων των μορίων αλλά και των ελεύθερων ηλεκτρονίων. Ουσιαστικά η δυναμική ενέργεια που ενέχει η ύλη μετατρέπεται λόγω της θερμοκρασίας σε άτακτες κινήσεις αυτών των μορίων, δηλαδή κινητική ενέργεια. Εξού και το γεγονός ότι αναφέρθηκαν στην εσωτερική ενέργεια.

Η αγωγή επιτυγχάνεται είτε σε ένα αντικείμενο, είτε σε δύο ή περισσότερα αντικείμενα που είναι σε επαφή. Η αγωγή πρέπει να παρατηρήσουμε πως συμβαίνει σε ΟΛΕΣ τις μορφές της ύλης, και γίνεται εύκολα αντιληπτή όταν η ύλη δεν βρίσκεται στην διαδικασία χημικής αντίδρασης με κάποια άλλη ύλη και όταν δεν υπόκειται σε διαφορετικές τοπικές εσωτερικές ροές από διαχωρισμένα χημικά στοιχεία της ίδιας της σύστασης της ύλης. Η θερμότητα μεταφέρεται ΠΑΝΤΑ από το πιο ζεστό, στο πιο κρύο κομμάτι της ύλης. Αυτό θα συνεχιστεί μέχρι να εξισωθεί η θερμοκρασία σε όλο τον όγκο της ύλης.

Στην αγωγή, η θερμή ροή γίνεται εσωτερικά και διαμέσου του σώματος του ίδιου. Στην μεταφορά θερμότητας από θερμική ακτινοβολία, η μεταφορά γίνεται μεταξύ σωμάτων που δεν έρχονται σε υλική επαφή μεταξύ τους.

2.7.η) Νόμος του Fourier

Ο νόμος του Fourier, μας λέει ότι, ο ρυθμός μεταφοράς της θερμότητας στο εμβαδόν ενός υλικού, είναι ανάλογος με το αρνητικό θερμοκρασιακό πεδίο ροής, σε κάθετη κλίση με αυτό το πεδίο, από το οποίο διέρχεται η θερμική ροή. Η συγκεκριμένη διατύπωση μπορεί να γίνει αντιληπτή με δύο τρόπους. Ο ένας είναι βλέποντας συνολικά την ενέργεια που ρέει εντός και εκτός του όλου σώματος. Ο άλλος τρόπος είναι να εστιάζεις σε συγκεκριμένα μέρη του σώματος και να εντοπίζεις την ροή ενέργειας σε αυτά τα μέρη.

Ο τύπος του Fourier, μας λέει ότι η τοπική θερμική ροή επιφάνειας q , είναι ίση με το γινόμενο της θερμικής αγωγιμότητας k και το αρνητικό πεδίο ροής της θερμοκρασίας $-\tilde{\nabla}T$. (24)

Θερμική ροή επιφάνειας(32)

Θερμική ροή επιφάνειας είναι ο ρυθμός μεταφοράς της θερμότητας σε μια επιφάνεια. Οι μονάδες στο S.I είναι $Watt/m^2$.(32)

2.7.η.1) Τύποι(24)

Ο βασικός τύπος του Fourier και πιο απλοποιημένος είναι ο παρακάτω:

$$q = -k \cdot \tilde{\nabla}T \quad \frac{Watt}{m^2}$$

$$q = Q_{er} \cdot \mu_{ik} \quad \text{ή} \quad q_{er} \cdot \mu_{ij} \quad \text{άπει} \quad aV$$

$$k = \frac{Sunt \cdot el \cdot est}{\eta V} \quad q_{er} \cdot \mu_{ik} \quad \eta V \quad agwgh \cdot \mu_{ht} \quad ht \quad aV$$

$$\tilde{\nabla}T = Q_{er} \cdot \mu_{kr} \quad asiako \quad pedio \quad r \quad o \quad \eta V$$

Για μιας διεύθυνσης ζητήματα χρησιμοποιείται ο ακόμα πιο απλοποιημένος τύπος που είναι:

$$q_x = -k \cdot \frac{dT}{dx}$$

2.7.η.2) Ολοκληρωτική μορφή του νόμου του Fourier

Όταν ασχολούμαστε με μια επιφάνεια ενός υλικού τότε χρησιμοποιούμε σαν βάση τον παρακάτω τύπο:

$$\frac{dQ}{dt} = -k \int_s \tilde{\nabla}T \cdot dA$$

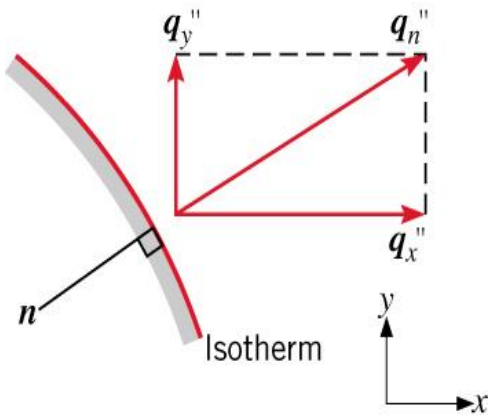
$$\frac{dQ}{dt} = [Watt] \quad \text{Pos} \quad \acute{o} \quad t \quad h \quad t \quad a \quad q_{er} \quad \mu_{ht} \quad h \quad t \quad a \quad V \quad \text{aná} \quad \mu \eta \nu \acute{a} \quad d \quad a \quad c \quad r \quad \acute{o} \quad \nu \mu$$

$$\tilde{\nabla}T = Q_{er} \cdot \mu_{kr} \quad asiako \quad pedio \quad r \quad o \quad \eta V$$

$$dA = \hat{e}_m^2 \cdot \hat{e}_i \cdot \hat{e}_j \cdot \mu_{Sh} \cdot \mu_{ai} \quad \text{ή} \quad \mu_{er} \cdot \mu_{ij} \quad \text{άπει} \quad a$$

Η παραπάνω διαφορική εξίσωση, όταν ασχολείται με ένα ομογενές υλικό που μελετάται σε επίπεδο επιφάνειας από ένα σημείο σε ένα άλλο, με συγκεκριμένη αρχική και τελική θερμοκρασία τότε χρησιμοποιούμε τον εξής τύπο:

$$\frac{DQ}{Dt} = -k \cdot A \cdot \frac{DT}{Dx} \quad (24)$$

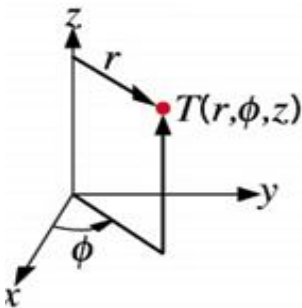


Καρτεσιανές συντεταγμένες

$$T(x, y, z)$$

$$\vec{q}'' = -k \frac{\partial T}{\partial x} \vec{i} - k \frac{\partial T}{\partial y} \vec{j} - k \frac{\partial T}{\partial z} \vec{k}$$

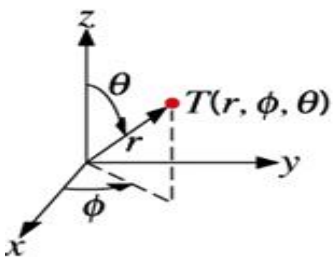
Κυλινδρικές Συντεταγμένες



$$T(r, \phi, z)$$

$$\vec{q}'' = -k \frac{\partial T}{\partial r} \vec{i} - k \frac{\partial T}{r \partial \phi} \vec{j} - k \frac{\partial T}{\partial z} \vec{k}$$

Σφαιρικές συντεταγμένες



$$T(r, \phi, \theta)$$

$$\vec{q}'' = -k \frac{\partial T}{\partial r} \vec{i} - k \frac{\partial T}{r \partial \phi} \vec{j} - k \frac{\partial T}{r \sin \theta \partial \theta} \vec{k}$$

Στις κυλινδρικές και σφαιρικές συντεταγμένες, το διάνυσμα της θερμοκρασίας βασίζεται στην αλλαγή της θερμοκρασίας στο πέρασμα του μήκους, για αυτό έχει μονάδες C⁰/m. Τέλος, άμα θέλουμε να υπολογίσουμε την ποσότητα θερμότητας για μονοδιάστατη ακτινική αγωγή σε κύλινδρο ή σφαίρα τότε:

Κύλινδρος

$$q_r = A_r q_r'' = 2\pi r L q_r''$$
$$q_r = A_r q_r'' = 2\pi r q_r''$$

Σφαίρα

$$q_r = A_r q_r'' = 4\pi r^2 q_r'' \quad (23)$$

2.7.9) Η θερμική αγωγιμότητα για το Φυσικό αέριο(25)

*Στην συγκεκριμένη πηγή οι συμβολισμοί αλλάζουν σε σχέση με την προηγούμενη πηγή, παρόλα αυτά θα εξηγήσω οποιοσδήποτε αλλαγές.

Υπάρχει ο γνωστός τύπος:

$$j = l \cdot s \cdot \frac{\nabla T}{\nabla y}$$

$$j = Q_{\text{ερμική}} \dot{V} \text{ αγωγής } r \text{ ο } \dot{V} [\text{Watt}]$$

$$l = \frac{\text{Suntel est } \dot{V} \text{ qermik } \dot{V} \text{ agwghm } \dot{V} \text{ ta } \nabla \frac{\text{é Watt } \dot{V}}{\text{é m}^{-0} \text{ K } \dot{V}}}{\text{é m}^{-2} \text{ K } \dot{V}}$$

$$s = \text{Epij } \dot{V} \text{ a } \text{ agwgh } \dot{V} \text{ th } \dot{V} \text{ qermik } \dot{V} \text{ ta } \nabla \frac{\text{é m}^{-2} \dot{V}}{\text{é m}^{-2} \dot{V}}$$

$$\frac{\nabla T}{\nabla y} = Q_{\text{ερμική}} \text{ asiak } \dot{V} \text{ pedio } r \text{ o } \dot{V}$$

Η θερμική αγωγιμότητα ενός μονατομικού αέριου δίνεται από τον τύπο:

$$l = 2.63 \cdot 10^{-23} \cdot \frac{\sqrt{T/M}}{\text{s}^{-2} \cdot \text{W}^{(2,2)*}}$$

$$l = \text{suntel est } \dot{V} \text{ qermik } \dot{V} \text{ agwghm } \dot{V} \text{ ta } \nabla$$

$$T = \text{qermik } \dot{V} \text{ asia}$$

$$s = \text{di } \dot{V} \text{ r } \dot{V} \text{ moriak } \dot{V} \text{ s } \dot{V} \text{ gkroush } \dot{V}$$

(βλέπε

$$W = \text{H } \dot{V} \text{ gkroush } \dot{V} \text{ por } \dot{V} \text{ iwn } \dot{V} \text{ ap } \dot{V} \text{ to } \dot{V} \text{ pr } \dot{V} \text{ isma}$$

του ol okl hrwtikó l ogismó, pou exart átai apó thn el áttwsh thV qermikras íaV

$$M = \text{poriak } \dot{V} \text{ bár } \dot{V} \text{ oV}$$

ιξώδες)

Συνδυάζοντας το ιξώδες με την θερμική αγωγιμότητα και λαμβάνοντας υπόψη τον τύπο του ιξώδους:

$$m = 2.6693 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\sqrt{M \cdot T}}{\text{s}^{-2} \cdot \text{W}^{(2,2)*}} \text{ προκύπτει ότι: } l = \frac{15}{4} \cdot \frac{R}{M} \cdot m$$

Για μονατομικά αέρια, ο αριθμός του Eucken (Eu) παρουσιάζεται:

$$Eu = \frac{l \cdot M}{m \cdot C_v}$$

$$C_v = \text{Qermicwrhtik } \dot{V} \text{ áhta } \dot{V} \text{ upo } \dot{V} \text{ sta } \dot{V} \text{ qer } \dot{V} \text{ ó } \dot{V} \text{ gko}$$

$$l = \text{Suntel est } \dot{V} \text{ qermik } \dot{V} \text{ agwgh } \dot{V}$$

$$m = \text{Dunamik } \dot{V} \text{ íx } \dot{V} \text{ ódeV}$$

$$M = \text{Moriak } \dot{V} \text{ bár } \dot{V} \text{ oV}$$

Ο παραπάνω τύπος ισχύει για τα μονατομικά αέρια, για τα οποία ο αριθμός Eucken, προσεγγίζει την τιμή 5/2.

Όταν όμως αναφερόμαστε σε πολυατομικά αέρια, τότε γίνεται ένας διαχωρισμός μεταξύ των μεγεθών που αφορούν την εσωτερική ενέργεια από τα μεγέθη που σχετίζονται με την μετατρεπόμενη ενέργεια. Έτσι, ο τύπος που συμπεριλαμβάνει τον αριθμό Eucken, αλλάζει:

$$Eu = \frac{l \cdot M}{m \cdot C_v} = f_{tr} \cdot \frac{C_{tr}}{C_v} + f_{in} \cdot \frac{C_{in}}{C_v}$$

$$C_{tr} = \frac{3}{2} \cdot R$$

$$C_{in} = C_v - C_{tr}$$

$$f_{tr} = \text{Sunt el est } \eta V \text{ moriak } \eta V \text{ di } \acute{\alpha} \text{cushV (met atr ep } \acute{\omicron} \text{menh en } \acute{\epsilon} \text{r geia)}$$

$$f_{in} = \text{Sunt el est } \eta V \text{ moriak } \eta V \text{ di } \acute{\alpha} \text{cushV (eswt er ik } \eta \text{ en } \acute{\epsilon} \text{r geia)}$$

$$C_{tr} = \text{qer } \mu \text{cwr htikothta (met atr ep } \acute{\omicron} \text{menhV en } \acute{\epsilon} \text{r geiaV)}$$

$$C_{in} = \text{qer } \mu \text{cwr htikothta (eswt er ik } \eta \text{V en } \acute{\epsilon} \text{r geiaV)}$$

Τέλος, παρουσιάζεται και ένας εναλλακτικός τύπος σε δύο διαφορετικές μορφές, που το C_p αντικαθιστά το C_v :

$$Eu = \frac{l \cdot M}{m \cdot C_v} = 1 + \frac{\frac{9}{4}}{\frac{C_p}{R} - 1}, Eu = \frac{l \cdot M}{m \cdot C_v} = 1.32 \frac{1.77}{\frac{C_p}{R} - 1} \quad (25)$$

$$C_p = \text{Qer } \mu \text{cwr htik } \acute{\alpha} \text{hta upo sta qer h } \mu \text{ese}$$

2.8)ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΤΑΣΗ(9)

Η ιδιότητα της επιφανειακής τάσης, είναι μία ιδιότητα που παρατηρείται περισσότερο σε υγρά. Παρόλα αυτά, σαν ιδιότητα, παρατηρείται σε όλο το εύρος των ρευστών, ανέφερα τα υγρά, διότι η ιδιότητα της επιφανειακής τάσης, είναι πιο εύκολα κατανοήσιμη σε υγρά.

Όλα τα υγρά, έρχονται σε επαφή με άλλα υλικά, όπως αέρας, άλλα υγρά, στέρεα. Η ιδιότητα της επιφανειακής τάσης, ασχολείται με την διεπαφή αυτή. Παραδείγματα αυτής της ιδιότητας, είναι όταν ένα κουνούπι πατάει πάνω στο νερό, όταν πυκνά κύματα αέρα σαρωνουν την επιφάνεια μίας λίμνης, όταν ένα πυκνότερο υγρό όπως λάδι, έρχεται σε επαφή με το νερό και παραμένει έστω και στιγμιαία στην επιφάνειά του.

Άρα, η επιφανειακή τάση παρουσιάζεται, κάθε φορά που ένα αντικείμενο σε οποιαδήποτε μορφή, σύσταση και όγκο, πλέει στην επιφάνεια ενός υγρού. Οι παρατήρηση του φαινομένου, είναι πιο εύκολο να επιτευχθεί όταν το υγρό που παρουσιάζει αυτήν την ιδιότητα είναι το νερό.

2.8.α)Αίτια

Οι δυνάμεις συνοχής μεταξύ των μορίων του υγρού, είναι υπεύθυνες για την επιφανειακή τάση. Σε όλο τον όγκο ενός υγρού, κάθε μόριο σπρώχνεται εξίσου σε κάθε κατεύθυνση, λόγω της γειτονίας με άλλα μόρια. Αυτό, έχει σαν αποτέλεσμα, να δημιουργείται ένα δίκτυο δυνάμεων σε όλη την μάζα του υγρού, που όταν το υγρό είναι σε ηρεμία, αυτό το δίκτυο δυνάμεων έχει συνισταμένη δύναμη μηδέν.

Στην επιφάνεια όμως του υγρού, τα μόρια δεν σπρώχνονται εξίσου το ίδιο, αφού εκεί είναι τα σύνορα του υγρού με κάποιο άλλο είδος ύλης. Οι δυνάμεις σε εκείνη την περιοχή δεν είναι ισοροπημένες, τα μόρια της επιφάνειας δέχονται ίσες δυνάμεις από όλες τις μεριές, εκτός από το πάνω μέρος, αφού δεν υπάρχουν άλλα μόρια του υγρού αυτού. Αυτό οδηγεί τα μόρια της επιφάνειας να σπρώχνονται προς τα μέσα. Αυτό με την σειρά του, οδηγεί στην ανάπτυξη εσωτερικών δυνάμεων στην περιοχή της επιφάνειας, έτσι τα μόρια αυτά καταλαμβάνουν λιγότερο όγκο από αυτόν που τους αναλογεί. Για αυτό παρατηρείται και μια κυρτότητα στην επιφάνεια των υγρών.

Η επιφανειακή τάση, είναι υπεύθυνη για το σχήμα των σταγόνων του υγρού. Παρόλο που αλλάζουν σχήμα εύκολα, οι σταγόνες έχουν σχήμα σφαιρικό διότι έτσι εξισορροπείται η ανισορροπία των δυνάμεων στην επιφάνεια της σταγόνας. Αν όμως αρχίσει να επενεργεί ένα πλήθος δυνάμεων σε αυτήν, τότε το σχήμα αλλάζει και γίνεται σχεδόν σφαιρικό. Αυτό συμβαίνει διότι καθώς επενεργεί μια δύναμη (βαρύτητα), στην σταγόνα, το υγρό παλεύει για την συντήρηση της συνοχής του, αλλά η βαρύτητα τραβάει τα μόρια της σταγόνας προς τα κάτω, έτσι η επιφανειακή τάση της σταγόνας λειτουργεί ανασταλτικά προς την διάλυση της σταγόνας, αφού τα μόρια της επιφάνειας πιέζονται ακόμα περισσότερο και αντιδρούν ακόμα περισσότερο και η επιφανειακή τάση αναπτύσσεται σε μεγαλύτερο βαθμό. Αυτό όμως, οδηγεί στο να υπάρξει μεγάλη καμπυλότητα στο κάτω μέρος της σταγόνας, το οποίο στερεί κατά πολύ την καμπυλότητα στο πάνω μέρος της σταγόνας.

Από ενεργειακής άποψης, η καλύτερη ισορροπία, βρίσκεται εκεί που υπάρχει ο μεγαλύτερος αριθμός μορίων, διότι η ενέργεια που εκλύεται από κάθε μόριο, εξουδετερώνεται από τα γειτνιάζοντα μόρια και αυτό συμβαίνει σε κάθε μόριο. Στην περιοχή της επιφάνειας, τα μόρια είναι λιγότερα, άρα δεν υπάρχει το επίπεδο της ενεργειακής ισορροπίας που υπάρχει στον ενδότερο όγκο του υγρού. Στην επιφάνεια λοιπόν, έχουμε υψηλά επίπεδα ενέργειας, ενώ οπουδήποτε αλλού έχουμε χαμηλότερα επίπεδα ενέργειας. Στην φύση όμως παρατηρείται η τάση της αυθυπαρξίας με τα χαμηλότερα ποσοστά ενέργειας που γίνεται, για αυτό στην συγκεκριμένη περίπτωση το υψηλό επίπεδο ενέργειας της επιφάνειας επιχειρείται να μειωθεί με το να μικραίνει όσο το δυνατόν περισσότερο ο όγκος των μορίων στην επιφάνεια, μακροσκοπικά όλο αυτό το φαινόμενο λέγεται επιφανειακή τάση.

2.8.β) Παραδείγματα επιφανειακής τάσης

- 1) Η εναπόθεση σταγόνων βρόχινου νερού, σε λείες, κηρώδης επιφάνειες όπως φύλλα δέντρων. Το νερό προσκολλάται ασθενώς στη λεία επιφάνεια και παράλληλα τα μόριά του αποκτούν εξαιρετική συνοχή σε συγκεκριμένα κομμάτια, με αποτέλεσμα να διασπάται το νερό σε σταγόνες. Η επιφανειακή τάση δίνει στις σταγόνες το σχεδόν σφαιρικό σχήμα, ώστε ο λόγος του επιφανειακού εμβαδού και του όγκου που καταλαμβάνει η σταγόνα καθολοκλήρη να είναι το μικρότερο δυνατό.
- 2) Το πέσιμο της σταγόνας από την βρύση. Λόγω της επίδρασης της βαρύτητας το σφαιρικό σχήμα της σταγόνας αλλάζει. Αυτό σημαίνει ότι η επιφανειακή τάση της σταγόνας, είναι μια δύναμη που αντιστέκεται στην βαρύτητα να την υπερνικήσει και να αλλάξει το σφαιρικό σχήμα της σταγόνας, το φαινόμενο αυτό εξελίσσεται καθώς η σταγόνα κάνει ελεύθερη πτώση.
- 3) Η πλεύση διάφορων εντόμων στο νερό. Λόγω του ότι, το έντομο είναι πολύ ελαφρύ, η επιφανειακή τάση έχει μεγαλύτερο μέγεθος από την δύναμη του βάρους του εντόμου που ισομοιράζεται στα πόδια του. Έτσι, το νερό λειτουργεί, σαν μια λεπτή μεμβράνη που διατηρεί όλο το σώμα και τα πόδια του εντόμου πάνω από την επιφάνεια του νερού.

2.8.γ) Μαθηματική έκφραση της επιφανειακής τάσης

Η επιφανειακή τάση εκφράζεται με το γράμμα « γ ». Ας φανταστούμε ένα πλαίσιο ορθογωνικού σχήματος. Οι τρεις από τις τέσσερις πλευρές είναι ακίνητες. Η τέταρτη όμως είναι κινητή και μάλιστα κινείται με πολύ μεγάλη ευκολία. Σε αυτό το πλαίσιο, ρίχνουμε με πολύ μικρή ταχύτητα μια ποσότητα υγρού που γνωρίζουμε εκ των προτέρων ότι θα καλύψει επ' ακριβώς τον όγκο του πολύ λεπτού πάχους πλαισίου και το αφήνουμε να ηρεμήσει. Σε κάποιο διάστημα πολύ μικρό, θα παρατηρηθεί ότι τα μόρια του υγρού έχουν δημιουργήσει ένα λεπτό φιλμ που εκτείνεται σε όλο το μήκος του πλαισίου και συγκεκριμένα στα τοιχώματα του πλαισίου, τα μόρια του υγρού θα έχουν προσκολληθεί σε αυτά. Τότε το υγρό θα λειτουργήσει σαν μια μεμβράνη που θα επιχειρήσει να τραβήξει τα τοιχώματα προς το κέντρο του όγκου του υγρού. Η κινητή πλάκα είναι αυτή που θα υπακούσει και θα κινηθεί.

Με αυτόν τον πειραματισμό μπορούμε να μετατρέψουμε το φαινόμενο της επιφανειακής τάσης σε απλές μαθηματικές εκφράσεις. Συγκεκριμένα, έχει παρατηρηθεί πως η επιφανειακή τάση ισούται με το εν δεύτερο της οριακής δύναμης που δεν θα κινήσει την κινούμενη πλάκα προς το μήκος της κινούμενης πλάκας του υγρού. Με τον όρο οριακή δύναμη, εννοώ τόση δύναμη ώστε άμα αυξηθεί ελάχιστα, η κινούμενη πλάκα θα αρχίσει να κινείται.

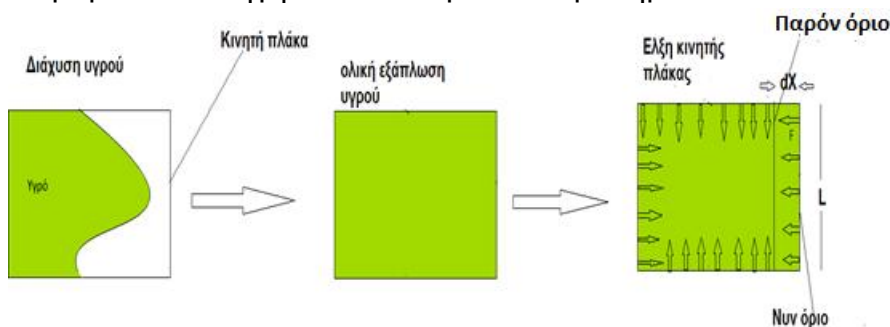
$$g = \frac{1}{2} \cdot \frac{F}{L} \frac{\dot{N}}{\hat{\epsilon} m \dot{h}}$$

$$g = \text{Eπι} \text{ij} \text{ a nei} \text{a k} \acute{\eta} \text{ t} \acute{\alpha} \text{s h} \quad (9)$$

$$F = \text{D} \acute{\upsilon} \text{n} \alpha \text{ m} \eta \text{ [N]}$$

$$L = \text{M} \acute{\eta} \text{k} \omicron \text{V}$$

(9) Το 1/2 εμφανίζεται, διότι εκφράζει τις δύο πλευρές του φιλμ. Ο συγκεκριμένος τύπος ισχύει για κάθε είδος υγρού και κάθε είδος πλαισίου που το υγρό διαχέεται. Ο λόγος F/L εξαρτάται μόνο από την σύνθεση, την πυκνότητα και την θερμοκρασία του υγρού. Παρακάτω παραθέτω εικονικά, το πείραμα που οδήγησε στον παραπάνω μαθηματικό τύπο:



Εικόνα 2.16

Ακόμα, θα έπρεπε να αναφέρουμε πως η οριακή δύναμη που επενεργεί και οριακά δεν επιτρέπει την κίνηση της πλάκας, είναι επίσης ικανή να διατηρήσει την κίνηση της πλάκας επ' άπειρον, αν αρχίσει να επενεργεί αφού η κινούμενη πλάκα έχει ήδη αρχίσει να κινείται. Αν όμως η κινούμενη πλάκα κινείται, το ενεργειακό επίπεδο της επιφανειακής τάσης του υγρού αναπτύσσεται και μεγαλώνει. Με αυτόν τον τρόπο σκέψης, καταλήγουμε στον τύπο της επιφανειακής τάσης σε μονάδες ενέργειας.

$$g = \frac{F}{2 \cdot L} \frac{\dot{N}}{\hat{\epsilon} \text{ και } \text{par onomast} \acute{\eta} \text{ m} \dot{d} X} \frac{\dot{h}}{\dot{h}}$$

$$g = \frac{F' dX}{2 \cdot L' dX} \quad \text{g} = \frac{W \acute{\epsilon} \text{Joule} \dot{h}}{dA \hat{\epsilon} \text{ m}^2 \dot{h}} \quad (9)$$

2.8.5) Επιφανειακή καμπυλότητα(9)

Αν δεν υπάρχει εντατική δύναμη που να επενεργεί στην επιφάνεια ενός υγρού, η επιφάνεια παραμένει σε κατάσταση ηρεμίας. Παρόλα αυτά, αν η πίεση στη μια πλευρά της επιφάνειας διαφέρει από την πίεση στην άλλη πλευρά της επιφάνειας, τότε αυτή η διαφορά πίεσης επί του επιφανειακού εμβαδού έχει σαν αποτέλεσμα την ύπαρξη μιας μετρήσιμης δύναμης. Όταν η επιφανειακή τάση τείνει να ακυρώσει την δύναμη λόγω διαφοράς πίεσης, η επιφάνεια δημιουργεί καμπυλότητες. Η σχέση της επιφανειακής τάσης με την πίεση απεικονίζεται μαθηματικά από την εξίσωση Young-Laplace.

$$DP = g \left(\frac{\rho_1}{\rho} R_x + \frac{1}{R_y} \frac{\partial}{\partial \theta} \right)$$

$DP = \text{Dia}j$ or $\acute{\alpha}$ ρ i $\text{resh}V$ twn $d\acute{o}$ epij $anei\acute{\omega}n$ tou j il m

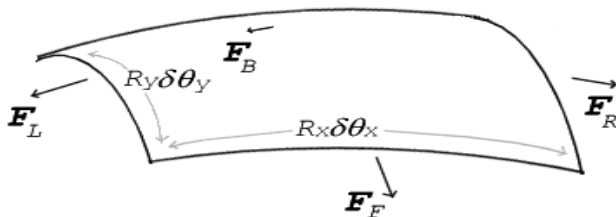
$g = E_{ij}$ $aneiak\acute{\eta}$ $t\acute{o}sh$

Akt $\acute{i}nev$ $kampul$ $\acute{\alpha}htaV$ pou $br\acute{i}skontai$

$R_x, R_y = \rho$ $\acute{\alpha}nw$ $stouV$ $nohtodV$ $k\acute{\alpha}qetouV$

pr oV thn epij $\acute{\alpha}neia$ tou j il $m\acute{\alpha}xoneV$

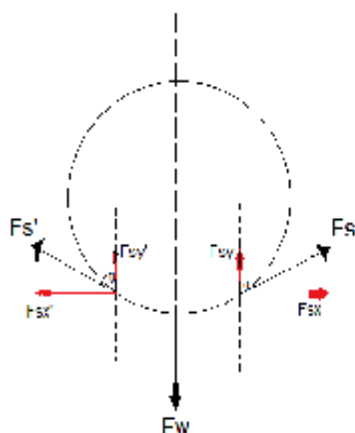
Παρακάτω παραθέτω το φαινόμενο της επιφανειακής καμπυλότητας εικονικά:



Εικόνα 2.17

2.8.ε) Επιπλέοντα αντικείμενα

Όταν ένα αντικείμενο τοποθετείται στην επιφάνεια ενός υγρού, το βάρος του F_w , πιέζει την επιφάνεια του υγρού και ισορροπεί, λόγω της ύπαρξης των παράλληλων προς την επιφάνεια του νερού διανύσματα επιφανειακής τάσης F_s . Σχηματικά εξηγείται ως εξής:



$$\sum F_{yy'} = 0$$

$$F_w - F_{sy} + F_{sy'} \rightarrow F_w - \cos(\theta)F_s + \cos(\theta)F_s' \rightarrow F_w = 2F_s \cos(\theta)$$

$$\sum F_{xx'} = 0$$

$$F_{sx} - F_{sx'} = 0 \Rightarrow F_{sx} = F_{sx'} = 0$$

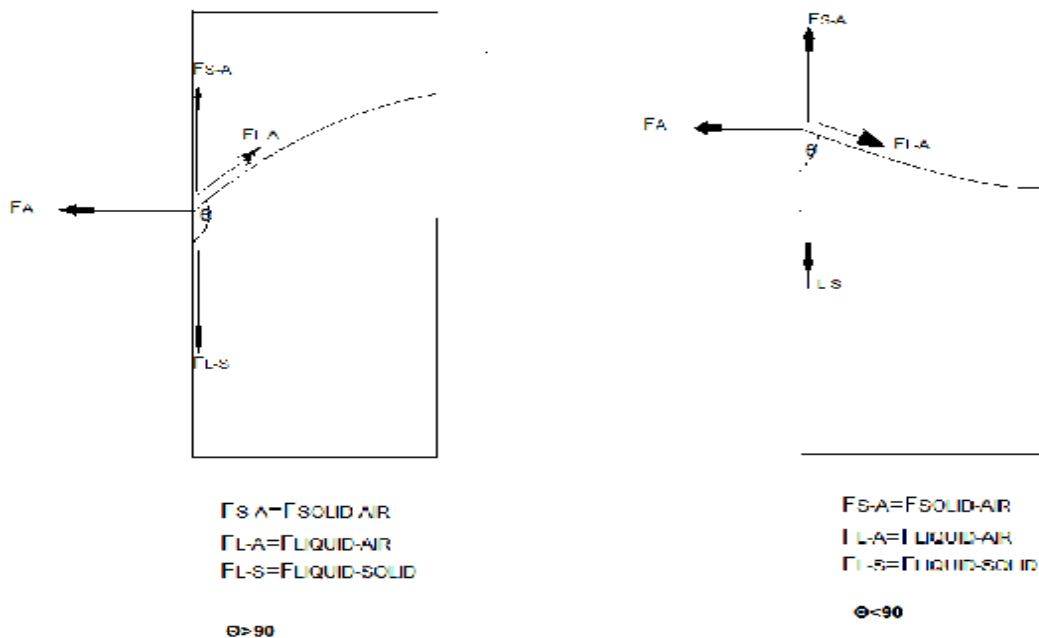
Εικόνα 2.18

Σαφώς το αντικείμενο πρέπει να είναι πολύ ελαφρύ και να έχει αρμονικό σχήμα.

2.8.στ) Γωνίες επαφής

Η επιφάνεια οποιουδήποτε υγρού, ουσιαστικά αποτελεί την διεπαφή του υγρού με οποιοδήποτε άλλο είδος ύλης. Στην επιφάνεια μιας λίμνης, για παράδειγμα, υπάρχει η διεπαφή του νερού και του αέρα. Άρα αποδεικνύεται, πως η επιφανειακή τάση δεν είναι ιδιότητα μόνο των υγρών, αλλά και των αερίων. Αν έχουμε τοποθετήσει νερό σε ένα δοχείο η επιφανειακή τάση αναπτύσσεται και μεταξύ νερού- αέρα και νερού- τοιχώματος και αέρα-τοιχώματος. Σαφώς η διεπαφή αέρα- νερού μας οδηγεί σε επιφανειακή τάση πολύ μεγαλύτερη από την διεπαφή νερού- τοιχώματος.

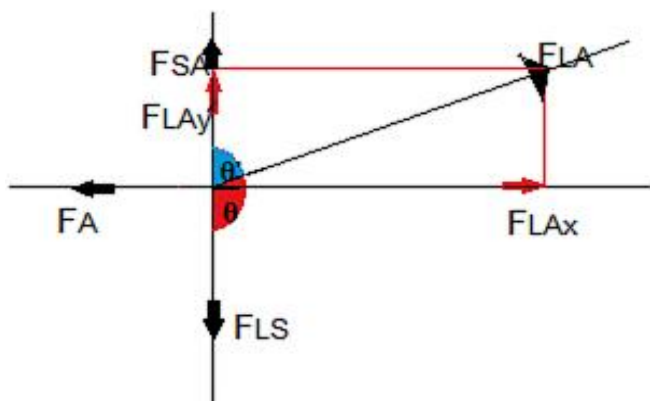
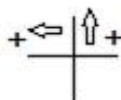
Στην διεπαφή νερού- τοιχώματος, δημιουργείται μια γωνία επαφής θ , που είναι είτε $<90^\circ$, είτε $>90^\circ$. Σχηματικά μπορεί το παραπάνω παράδειγμα να απεικονιστεί έτσι:



Εικόνα 2.19

Η γωνία «θ», είναι η επαπτόμενη της επιφάνειας του υγρού, με την στέρεη επιφάνεια. Στο παραπάνω απεικονισμένο παράδειγμα, η διεπαφή υγρού- στερεού και στερεού- αέρα έχουν επιφανειακή τάση μικρότερη από την διεπαφή υγρού- αέρα.

Για $\theta > 90$, ισχύει:



Εικόνα 2.20

$$q' = 180^\circ - q$$

$$\sin(p - w) = \sin(w), \cos(p - w) = -\cos(w)$$

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_A - F_{LAx} = 0 \Rightarrow$$

$$F_A - \sin(q') \cdot F_{LA} = 0 \Rightarrow F_A = \sin(q') \cdot F_{LA}$$

$$F_A = \sin(q) \cdot F_{LA}$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow F_{SA} + F_{LAy} - F_{LS} = 0 \Rightarrow$$

$$F_{SA} - F_{LS} + \cos(q') \cdot F_{LA} = 0 \Rightarrow$$

$$F_{LS} - F_{SA} = -\cos(q) \cdot F_{LA}$$

$F_{LS} - F_{SA} = -\cos(q) \cdot F_{LA}$ $\hat{=}$ Διαίρω με το μήκος L $\hat{=}$
 $g_{LS} - g_{SA} = -\cos(q) \cdot g_{LA}$ $\hat{=}$ και προκύπτει το «g»

$$g_{LS} - g_{SA} = -\cos(q) \cdot g_{LA}$$

$$g_{LA} > g_{LS} - g_{SA} > 0$$

Για $\theta < 90$, κάνουμε την ίδια διαδικασία και προκύπτει ότι:

$$g_{LA} > 0 > g_{LS} - g_{SA}$$

Ειδικές περιπτώσεις:

Όταν η γωνία $\theta = 90$ τότε: $g_{LS} - g_{SA} = 0$

Όταν η γωνία $\theta = 180$ τότε: $g_{LA} = g_{LS} - g_{SA} > 0$

2.8.ζ) Μέθοδοι μέτρησης επιφανειακής τάσης

1. Du Nouy (Μέθοδος δαχτυλιδιού):

Είναι μια παραδοσιακή μέθοδος μέτρησης επιφανειακής τάσης και μετριέται, η μέγιστη έλξη που ασκείται στην περιφέρεια του δαχτυλιδιού, από το φιλμ του υγρού, εντός της περιφέρειας. Στην συγκεκριμένη μέθοδο, οι ιδιότητες της επιφάνειας του υγρού φιλμ δεν παίζουν σημαντικό ρόλο.

2. Du Nouy-Padday:

Είναι μια μέθοδος μέτρησης σαν την προηγούμενη, αλλά έχει χαμηλότερη κλίμακα διαστάσεων. Χρησιμοποιεί μια μεταλλική βελόνα, μικρής διαμέτρου αντί για δαχτυλίδι, σε συνδυασμό με έναν πολύ μικρό ζυγό, υψηλής μετρητικής ευαισθησίας. Αυτός ο ζυγός μετράει την μέγιστη έλξη της βελόνας από την επιφάνεια του υγρού φιλμ. Το συγκριτικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι σε δείγματα όγκου υγρών μικρότερα των 10 μικρολίτρων, μπορούν να μετρηθούν με πολύ υψηλή ακρίβεια και παράλληλα η άνωση να μην επηρεάζει το αποτέλεσμα.

3. Μέθοδος πιάτου Wilhelmy:

Είναι μια μέθοδος που αρμόζει στον υπολογισμό επιφανειακών τάσεων που διατηρούνται για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η συγκεκριμένη μέθοδος συμπεριλαμβάνει ένα πιάτο σε κάθετη θέση το οποίο λούζεται στην κοίλη του επιφάνεια για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και μια ζυγαριά που είναι κατάλληλα συνδεδεμένη και μετρά την δύναμη που δέχεται το πιάτο από το υγρό που το βρέχει.

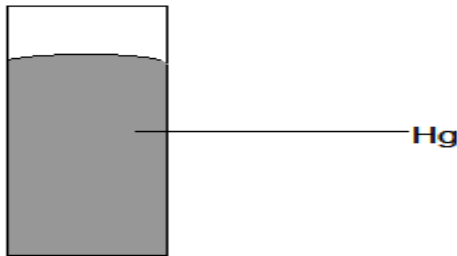
4. Μέθοδος περιστροφής σταγόνας:

Η μέθοδος αυτή, χρησιμοποιείται για την μέτρηση επιφανειακών τάσεων πολύ μικρού μεγέθους. Ουσιαστικά τοποθετούν μια σταγόνα εντός ενός δοχείου που περιέχει ένα βαρύ υγρό (υγρά με εξαιρετικά μεγάλη πυκνότητα) και περιστρέφουν το δοχείο σε επίπεδα πέρα των συμβατικών (xy, xz, yz) δηλαδή, σε επίπεδα που έχουν ποικίλες μοίρες διαφοράς από τα τρία βασικά, και μετράνε την διάμετρο της σταγόνας.

Έπειτα, συμπεριλαμβάνοντας όλες τις μετρήσεις διαμέτρων που μετρήσανε, βγαίνουν σε ασφαλή συμπεράσματα μέσω μαθηματικών υπολογισμών, για την επιφανειακή τάση της σταγόνας του συγκεκριμένου υγρού υπό συνθήκες διαφορετικής ταχύτητας και κλίσης κάθε φορά.(9)

2.8.η) Φαινόμενο τριχοειδούς προσκόλλησης(9)

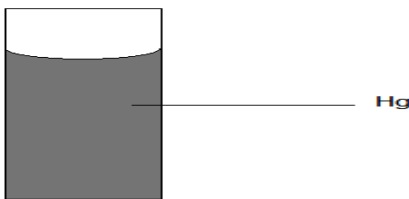
Έστω, ότι έχουμε ένα παραδοσιακό βαρόμετρο υδραργύρου, σε έναν κάθετο γυάλινο σωλήνα διαμέτρου 1 εκατοστού. Ο σωλήνας αυτός είναι γεμισμένος εν μέρη με υδράργυρο και φυσικά ο υπόλοιπος σωλήνας είναι κενομένος. Όσο απομακρυνόμαστε από την περιφέρεια του σωλήνα και πλησιάζουμε στο κέντρο του, ο υδράργυρος έχει όλο και πιο ανεβασμένη στάθμη, δηλαδή έχει σχήμα θόλου και μοιάζει κάπως έτσι:



Εικόνα 2.21

Το κέντρο μάζας, της στήλης υδραργύρου θα ήταν λίγο χαμηλότερα, αν η επιφάνεια του ήταν επίπεδη. Το σχήμα θόλου μειώνει λίγο το επιφανειακό εμβαδόν του υδραργύρου, δηλαδή το άθροισμα της επιφάνειας που ακουμπά στα τοιχώματα του σωλήνα, με αποτέλεσμα αυτό να έχει μετρήσιμη επίπτωση στην επιφανειακή τάση.

Αν αντί για γυάλινο σωλήνα, είχαμε χάλκινο σωλήνα, τα πράγματα θα ήταν εντελώς διαφορετικά, αφού σε αντίθεση με το γυαλί, στον χαλκό ο υδράργυρος προσκολλάται πολύ επιθετικά. Έτσι, δεν θα είχε το σχήμα θόλου, αλλά το σχήμα κοίλου, δηλαδή:



Εικόνα 2.22

Άρα συμπεραίνουμε πως ανάλογα το υλικό στο οποίο προσκολλάται ένα υγρό, παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στο επιφανειακό εμβαδόν και κατεπέκταση στο μέγεθος της επιφανειακής τάσης.

Όταν λοιπόν, υπάρχει επιθετική προσκόλληση του υγρού στο τοίχωμα, συμβατικά λέμε ότι αναπτύσσει αρνητική επιφανειακή τάση, διότι το υγρό χρησιμοποιεί μεγαλύτερο κομμάτι της εσωτερικής του ενέργειας για να προσκολληθεί στα τοιχώματα του σωλήνα, με αποτέλεσμα να μειώνεται καθολικά η προσμετρήσιμη ενέργεια του υγρού.

Αυτό το φαινόμενο της προσκόλλησης ονομάζεται το φαινόμενο της τριχοειδούς προσκόλλησης, η διαφορά ύψους που προκύπτει σε σχέση με την οριζόντια επιφάνεια, που θα είχε υπό άλλες συνθήκες το υγρό, εκφράζεται από τον τύπο:

$$h = \frac{2 \cdot \sigma_{LA} \cdot \cos(\theta)}{r \cdot \rho \cdot g}$$

$$\sigma_{LA} = \text{Επιφανειακή τάση} \text{ ή } \text{Επιφανειακή ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας} \text{ ή } \text{Επιφανειακή ενέργεια ανά μονάδα όγκου} \text{ ή } \text{Επιφανειακή ενέργεια ανά μονάδα μήκους}$$

$$r = \text{Ακτίνα σωλήνα} \text{ ή } \text{Ακτίνα τριχοειδούς} \text{ ή } \text{Ακτίνα σφαιρικού κομματιού υγρού} \quad (9)$$

$$\rho = \text{Πυκνότητα υγρού}$$

$$g = \text{Επιτάχυνση βαρύτητας}$$

$$\theta = \text{Γωνία επαφής υγρού με το τοίχωμα}$$

2.8.9) Τοπικές ανυψώσεις επιφάνειας(9)

Ρίχνοντας μια σταγόνα υδραργύρου σε ένα οριζόντια τοποθετημένο φύλλο, παρατηρείται πως η σταγόνα του υδραργύρου έχει την μορφή ενός φιλμ που σε συγκεκριμένο σημείο έχει συσσωρευθεί μεγαλύτερη ποσότητα μάζας με αποτέλεσμα την τοπική ανύψωση του υδραργύρου, όπως στην εικόνα παρακάτω:



Εικόνα 2.23

Οι συγκεκριμένες τοπικές ανυψώσεις του υδραργύρου, έχουν ελάχιστο πάχος 1 εκατοστού. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της μεγάλης επιφανειακής τάσης του υδραργύρου. Η μάζα του υγρού ισοπεδώνεται στην οριζόντια επιφάνεια όσο το δυνατόν περισσότερο, αλλά η ισχυρή επιφανειακή τάση του υγρού αντιτίθεται σε αυτήν την διαδικασία και επιχειρεί να μικρύνει όσο το δυνατόν περισσότερο το εμβαδόν εξάπλωσης του υγρού. Η τοπική ανύψωση του υγρού σε επιφάνεια κλίσης 180 μοιρών εκφράζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$h = 2 \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{r \cdot g}}$$

$$h = \frac{2 \gamma \cos \theta}{r \rho g}$$

$$\gamma = \text{Επιφανειακή τάση} \quad (9)$$

$$r = \text{Επιφανειακή κλίση}$$

$$g = \text{Βαρύτητα}$$

Για επιφάνεια κλίσης μικρότερη των 180 μοιρών ισχύει ο τύπος:

$$h = \sqrt{\frac{2 \gamma \cos \theta (1 - \cos \alpha)}{r \rho g}}$$

2.8.ι) Ο διαχωρισμός των ροών σε σταγόνες(9)

Στην καθημερινότητα, έχουμε παρατηρήσει πως το νερό που πέφτει από μια βρύση, μετατρέπεται σε σταγόνες όσο ομαλή και να είναι η ροή. Αυτό οφείλεται στο φαινόμενο αστάθειας του Plateau-Rayleigh, που προκύπτει από το φαινόμενο της επιφανειακής τάσης.

Αυτή η αστάθεια, υπάρχει λόγω μικρών διαταραχών στη ροή. Έχουν μια μορφή ημιτονοειδή, άλλες διογκώνονται στον χρόνο και άλλες αποδιογκώνονται στον χρόνο. Κάποιες από αυτές τις διαταραχές διογκώνονται γρηγορότερα από άλλες. Οι διαταραχές αυτές εξαρτώνται από τον αριθμό των κυμάτων τους και από την διάμετρο ροής στον σωλήνα.

2.8.κ) Θερμοδυναμική προσέγγιση φαινομένου(9)

Από θερμοδυναμικής άποψης, ο γενικός τύπος που εκφράζει την επιφανειακή τάση και κάνει μια γενική αλλά εύστοχη προσέγγιση είναι ο εξής:

$$g = \frac{\partial G}{\partial A}$$

$$A = \text{Επιφάνεια του υγρού} \quad (9)$$

$$G = \text{Ελεύθερη ενέργεια του Gibbs}$$

Ελεύθερη ενέργεια του Gibbs(10)

Η ελεύθερη ενέργεια του Gibbs, είναι ένα θερμοδυναμικό μέγεθος που προσμετρά την παραγωγή του έργου, σε ένα θερμοδυναμικό σύστημα υπό συνθήκες σταθερής θερμοκρασίας και πίεσης.

Όπως στην μηχανική, έτσι και εδώ, η παραγωγή ενέργειας είναι ένας άτοπος όρος, αφού η ενέργεια δεν παράγεται, απλά μετατρέπεται από μια μορφή σε μια άλλη υπό συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας, ιδιότητες της ύλης κ.α. Ουσιαστικά εννοούμε την παραγωγή έργου, δηλαδή το μέγιστο ποσοστό ενέργειας που μπορεί να εξαχθεί από ένα κλειστό θερμοδυναμικό σύστημα, χωρίς την ανταλλαγή ύλης μεταξύ συστήματος και περιβάλλοντος.

Αυτή λοιπόν η «παραγωγή έργου» ή αλλιώς ελεύθερη ενέργεια του Gibbs, μετριέται σε Kjoule/mole. Αυτό το μέγιστο ποσοστό ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί σε ένα πλήρως αντιστρεπτό σύστημα.(10)

(9) Η θερμοδυναμική όμως των πραγματικών συστημάτων, μας ξεκαθαρίζει πως μια πλήρως αντιστρεπτή διαδικασία δεν μπορεί να επιτευχθεί, άρα καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η ελεύθερη αυτή ενέργεια διαρκώς μειώνεται, οπότε συνειδητοποιούμε και τον λόγο που η επιφανειακή περιοχή μιας μάζας μειώνεται με το πέρασμα του χρόνου.

Η ελεύθερη ενέργεια του Gibbs, αποτυπώνεται μαθηματικά από την παρακάτω έκφραση:

$$G = H - T \cdot S$$

$$H = \text{Enthalpia} \quad (9)$$

$$S = \text{Entropia}$$

Ενθαλπία(11)

Η ενθαλπία είναι ένα θερμοδυναμικό μέγεθος, που συντελείται από το άθροισμα της εσωτερικής ενέργειας και του γινομένου της πίεσης με τον όγκο, δηλαδή το έργο, ο βασικός της τύπος είναι:

$$H = U + P \cdot V \quad \text{ή} \quad H = U + W [\text{Joule}] \quad (11)$$

Εντροπία(12)

Η εντροπία είναι και αυτό ένα θερμοδυναμικό μέγεθος που ουσιαστικά περιγράφει τις αλλαγές του ενεργειακού επιπέδου σε ένα θερμοδυναμικό σύστημα, δηλαδή την απώλεια ή την πρόσληψη ενέργειας στο σύστημα. Ο βασικός της τύπος είναι:

$$DS = \frac{1}{T} dQ \quad \frac{\text{é Joule}}{\text{é Kelvin}} \quad \text{ή}$$

$$T = \text{Qermonkrasia}$$

$$Q = \text{Qermothta}$$

Σε ένα πλήρες αντιστρεπτό σύστημα η ενθαλπία παραμένει πάντοτε σταθερή, σε ένα όμως μη αντιστρεπτό σύστημα, η εντροπία μεταβάλλεται και πρέπει οι μεταβολές αυτές να καταγραφούν.

*Κάποιες φορές η εντροπία δίνεται ανά mole ουσίας και οι μονάδες της είναι:

$$\frac{\text{é Joule}}{\text{é Kelvin} \cdot \text{mole}} \quad \text{ή}$$

Βάση των παραπάνω τύπων προκύπτουν δύο τύποι της επιφανειακής τάσης σε συνδυασμό με την ενθαλπία και την εντροπία(11,12)

$$\frac{\partial g}{\partial T} = -S^A$$

$$H^A = g - T \cdot \frac{\partial g}{\partial T}$$

2.8.Α)Επιρροή της θερμοκρασίας(9)

Η επιφανειακή τάση, εξαρτάται από την θερμοκρασία. Εξού και όταν δίνεται η επιφανειακή τάση ενός υγρού, μαζί με άλλους παραμέτρους, αναφέρεται και η θερμοκρασία του υγρού. Σε γενικές

γραμμές, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία, μειώνεται η επιφανειακή τάση. Παρακάτω παρατίθενται οι τύποι του Eotvos που το αποδεικνύουν:

$$g \cdot V^{2/3} = k \cdot (T_c - T)$$

$$V = \text{MoriakóV óγκov} \frac{\dot{e} \text{ ml}}{\dot{e} \text{ mole}} \dot{u}$$

$$k = \text{Pagkósmia staqer} \dot{a} \frac{\dot{e} \text{ Joule}}{\dot{e}^0 \text{ K} \cdot \text{mole}^{2/3}} \dot{u}$$

$$g = \text{Epijanaiakí t ásh}$$

$$T_c = \text{Krisiníth qer mokr as ía} \dot{e}^0 \text{ K} \dot{u}$$

Μια παραλλαγή, του παραπάνω τύπου δημιούργησαν οι Ramay-Shields, που συμπεριλαμβάνουν και έναν διορθωτικό παράγοντα της θερμοκρασίας, που αναφέρεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες:

$$g \cdot V^{2/3} = k \cdot (T_c - T - b)$$

Ένας άλλος τύπος που δημιουργήθηκε από τους Guggenheim-Katayama είναι:

$$g = g^0 \cdot \frac{\dot{e} T}{\dot{e} T_c} \dot{u}$$

$$g^0 = \text{Staquer á me xecwr ist í timí gia káqe diaj or etikó ugr ó} (g)$$

$$n = \text{EmpirikóV par áqontaV pou}$$

$$n = \text{gia or ganiká ugr á eínai } 11/9$$

2.8.μ) Επιφανειακή τάση και φυσικό αέριο(14)

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι, που προσεγγίζουν την επιφανειακή τάση μεταξύ πετρελαίου και φυσικού αερίου. Ο ένας αφορά το μαύρο πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, δηλαδή δημιουργούνται σύνθετα μοντέλα που υπολογίζουν την επιφανειακή τάση μεταξύ του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Ο άλλος τρόπος είναι πιο εμπειρικός και βασίζεται περισσότερο στην γνώση επι των εφαρμογών διεπαφής φυσικού αερίου και πετρελαίου.

Παρακάτω θα ασχοληθούμε με την καταγραφή των σύνθετων μοντέλων, μιας και προσδίδουν μια μεγαλύτερη ακρίβεια και ορθότητα στα αποτελέσματα των τιμών της επιφανειακής τάσης.

Ένα τέτοιο σύνθετο μοτίβο δημιούργησαν οι Weinaug και Katz:

$$s_{go}^{1/4} = \dot{a} \sum_{i=1}^N P_i \frac{\dot{e} r_0}{\dot{e} M_0} - y_i \frac{\dot{e} r_g}{\dot{e} M_g} \dot{u} \dots (1)$$

Το P_i είναι μια ανεξάρτητη θερμοκρασιακή παράμετρος. Χαρακτηρίζει τα αγνά υλικά και καθορίζεται από τις μετρήσεις της επιφανειακής τάσης και ονομάζεται παράχωρο.

$$s_{go}^{1/4} = \sum_{i=1}^N P_i \frac{\rho_i}{\rho} \left(\frac{r_0}{M_0} - y_i \right) \frac{r_g}{M_g} \dots (1)$$

P_i = Παράχωρο

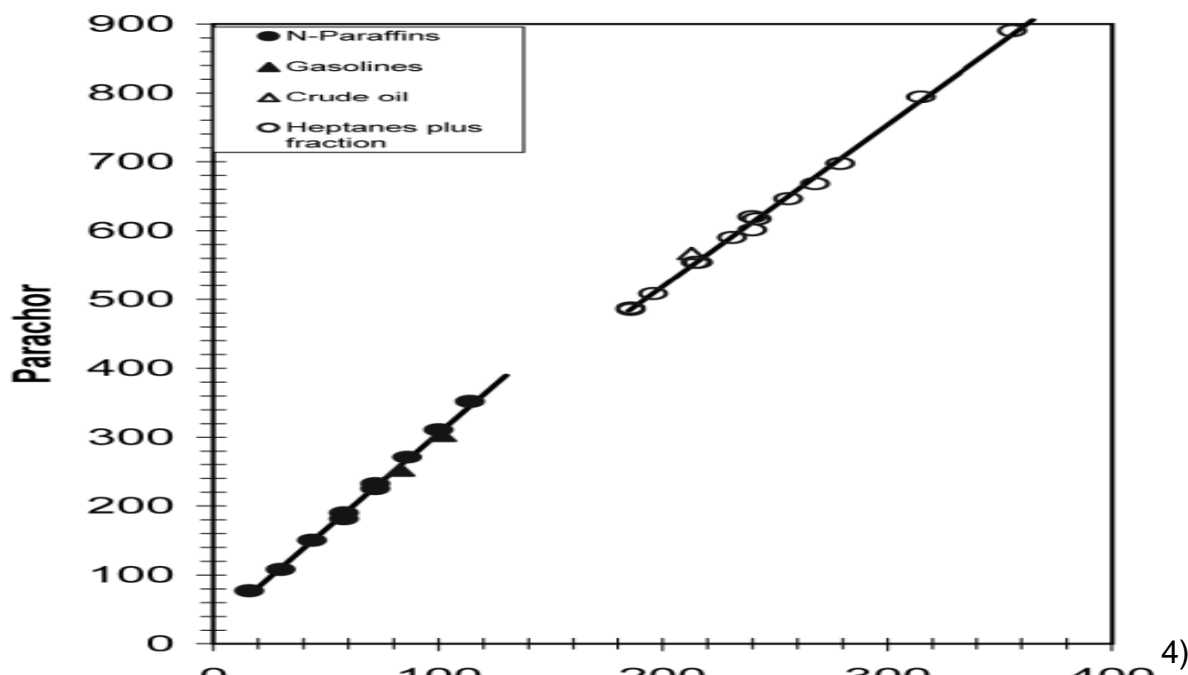
r_0 = Πυκνότητα πετρελαίου $\frac{g}{cm^3}$

r_g = Πυκνότητα αερίου $\frac{g}{cm^3}$

M_0 = Μοριακό βάρος πετρελαίου

M_g = Μοριακό βάρος αερίου

Το παρακάτω διάγραμμα, δείχνει την σχέση μεταξύ του παραχώρου και του μοριακού βάρους:



Πίνακας 2.24

Μοντέλα υπολογισμού Επιφανειακής τάσης(14)

Το 1973, ο Ramey εφηύρε, μια μέθοδο υπολογισμού της επιφανειακής τάσης μεταξύ πετρελαίου και φυσικού αερίου. Σαφώς ισχύει η προϋπόθεση ότι το αέριο είναι ελεύθερο να εισχωρήσει στο πετρέλαιο και το αντίστροφο:

$$s_{go}^{1/4} = P_o \frac{\rho_o}{\rho} \left(\frac{r_o}{M_{og}} - y_o \right) \frac{r_g}{M_{go}} + P_g \frac{\rho_g}{\rho} \left(\frac{r_o}{M_{og}} - y_g \right) \frac{r_g}{M_{go}} \dots (2)$$

x_o = Μοριακό κλάσμα πετρελαίου στην πετρέλαια φάση

y_o = Μοριακό κλάσμα αερίου στην πετρέλαια φάση

x_g = Μοριακό κλάσμα πετρελαίου στην αέρια φάση

y_g = Μοριακό κλάσμα αερίου στην αέρια φάση

Το μοριακό κλάσμα του πετρελαίου στην πετρέλαια φάση είναι:

$$x_o = \frac{p}{p_o} + \frac{7.521 \cdot 10^{-6} \cdot R_s \cdot M_o \cdot \bar{u}}{y_o \cdot \bar{u}} \dots (3)$$

$R_s =$ Κι όσμα διάλυση αερίου στο πετρέλαιο

Το μοριακό κλάσμα του πετρελαίου στην αέρια φάση είναι:

$$x_g = 1 - x_o \dots (4)$$

Το μοριακό κλάσμα του αερίου στην πετρέλαια φάση είναι:

$$y_o = \frac{p}{p_o} + \frac{7.521 \cdot 10^{-6} \cdot M_o \cdot \bar{u}}{g_o \cdot r_h \cdot \bar{u}} \dots (5)$$

$g_o =$ Σεικλή πυκνότητα πετρελαίου

$r_h =$ Λόγος αεροποίησης πετρελαίου στο αέριο

$$y_g = 1 - y_o \dots (6)$$

Στην προσέγγιση του μαύρου πετρελαίου, γίνεται η υπόθεση ότι στην φάση του αερίου η αεριοποίηση του πετρελαίου είναι μηδενική άρα:

$$y_g = 1 \text{ και } y_o = 0.$$

Το σύνθετο μοριακό βάρος αερίου/ πετρελαίου είναι:

$$M_{og} = x_o \cdot M_o + x_g \cdot M_g \dots (7)$$

Το σύνθετο μοριακό βάρος πετρελαίου/ αερίου είναι:

$$M_{go} = y_o \cdot M_o + y_g \cdot M_g \dots (8)$$

Η πυκνότητα του πετρελαίου μετριέται από τον τύπο:

$$r_o = \frac{g_o + 2.179 \cdot 10^{-4} \cdot g_g \cdot R_s}{B_o} \frac{p}{\bar{u}} \dots (9)$$

$g_g =$ Σεικλή πυκνότητα φυσικού αερίου

$B_o =$ Συντελεστής όγκου διαμόρφωσης πετρελαίου $\frac{\text{έκβλ}}{\text{έκβλ STB}}$

Η πυκνότητα του φυσικού αερίου μετριέται από τον τύπο:

$$r_g = 9.3184 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{p \cdot M_{go}}{Z \cdot T} \frac{p}{\bar{u}} \dots (10)$$

$Z =$ Συντελεστής συμπιέσεως αερίων

$T =$ Θερμοκρασία συνθήκων $^{\circ}F$

$p =$ Πίεση συνθήκων

Οι Whitson και Brulé, πρότειναν τον ακόλουθο τύπο για το παράχωρο που αναπαράγει τις γραφικές μεθόδους που είχαν προταθεί από τον Ramey:

$$P_o = M_o \cdot (2.376 + 0.0102 \cdot g_{API}) \dots (11)$$

$$P_g = 25.2 + 2.86 \cdot M_g \dots (12)$$

Το 1989 ο Asheim παρουσίασε έναν άλλον τύπο για την επιφανειακή τάση, με την αρχική προϋπόθεση ότι καθόλου ποσότητα πετρελαίου δεν εξαερώνεται εντός της αέριας φάσης:

$$s^{1/4} = P_o' \frac{g_o}{M_o' B_o} + 1.493 \cdot 10^{-3} \cdot P_g' \frac{R_s}{5.614583 \cdot B_o} - \frac{1}{B_g} \dots (13)$$

$B_g =$ Suntel esthV όγκου διαμόρφωσης φυσικού αερίου $\frac{ft^3}{scf}$

$$B_g = \frac{P_{sc}' Z' (T + 459,67)}{p' (T_{CG} + 459,67)} \dots (14)$$

$P_{sc} =$ πίεση σε κανονικές συνθήκες

$T_{CG} =$ Υεδοκρ ίση με θερμότητα αερίου

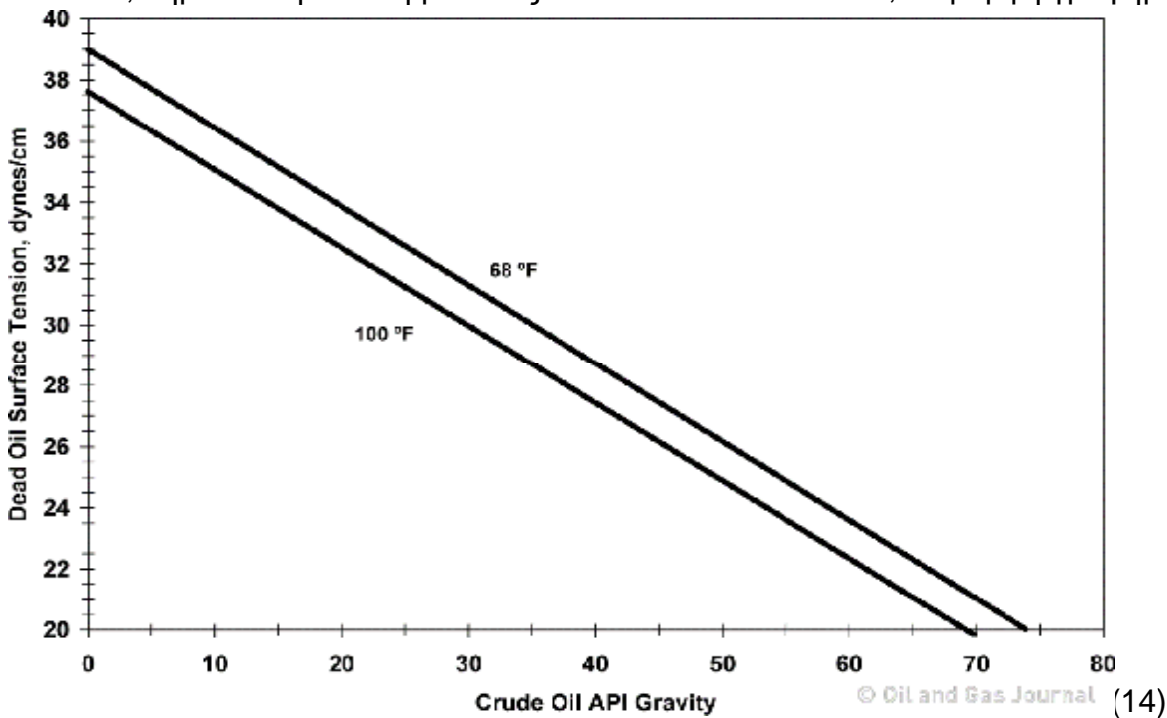
Ο Asheim, προτείνει τους παρακάτω τύπους για τον υπολογισμό των παράχωρων:

$$P_o = 2.4 \cdot M_o + 40 \dots (15)$$

$$P_g = 2.79 \cdot M_g + 40 \dots (16)$$

Ενώ η μέθοδος φαίνεται διαφορετική από αυτήν που πρότεινε ο Ramey, είναι η ίδια ακριβώς μέθοδος που σαν προϋπόθεση έχει την μη αεριοποίηση του πετρελαίου στην αέρια φάση.

Το 1955, δημοσιεύτηκε και η μέθοδος των Baker και Swerdloff, σε μορφή γραφήματος:



Πίνακας 2.25

(14) Η εξίσωση για τον υπολογισμό της επιφανειακής τάσης του πετρελαίου μεταξύ των 68 F και 100 F είναι:

$$s_{od_{68^{\circ}F}} = 39 - g_{API} \dots (17)$$

$$s_{od_{100^{\circ}F}} = 37.5 - g_{API} \dots (18)$$

$s_{od} =$ Επιφανειακή τάση ακατέργαστου πετρελαίου

Ο Beggs, προτείνει σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 100 F, να χρησιμοποιείται η τιμή που υπολογίστηκε για 100 F. Αν η θερμοκρασία είναι μικρότερη των 68 F, να χρησιμοποιείται η τιμή που υπολογίστηκε για 68 F.

$$s_{od} = s_{od_{68^{\circ}F}} - \frac{(T - 68) \cdot (s_{od_{68^{\circ}F}} - s_{od_{100^{\circ}F}})}{32} \dots (19)$$

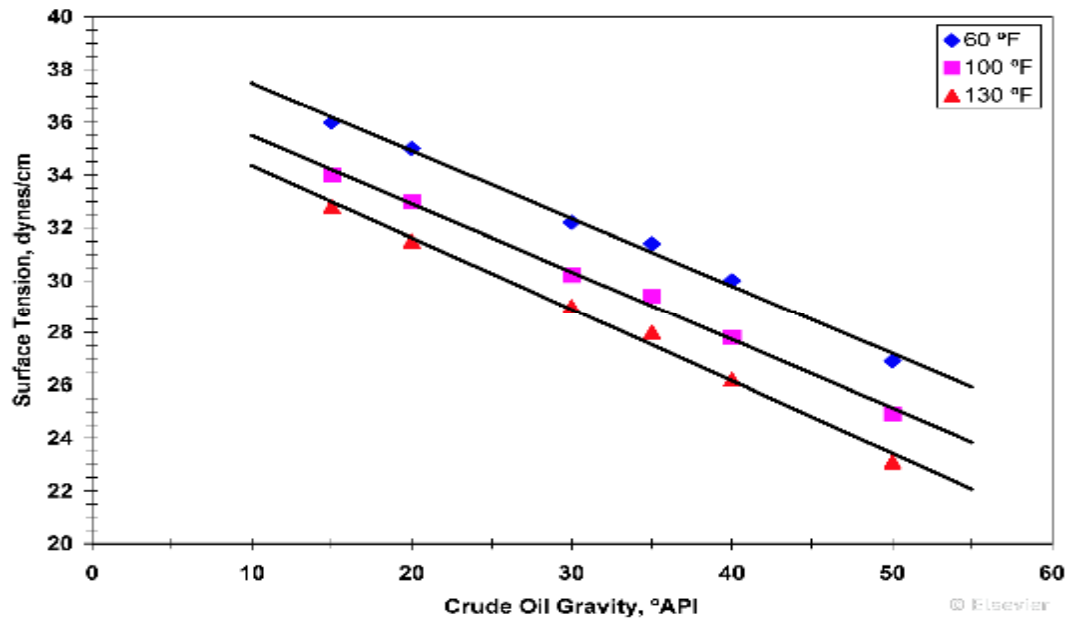
Όταν η πίεση ξεπερνά την 1 ατμόσφαιρα, το αέριο διαλύεται στο πετρέλαιο, με αποτέλεσμα να μειώνεται η επιφανειακή τάση του φυσικού αερίου. Οι Baker και Swerdloff, πρότειναν τον διορθωτικό γραφικό παράγοντα στο παρακάτω γράφημα, που σε μαθηματική μορφή είναι:

$$\frac{S_{go}}{S_{od}} = e^{(-8.6306 \cdot 10^{-4} \cdot p)} \dots (20)$$

S_{go} = Επιφανειακή τάση φυσικού αερίου / πετρελαίου

Η πραγματική επιφανειακή τάση του πετρελαίου πηγάζει από τον τύπο:

$$S_{go} = S_{od} \cdot \frac{S_{go}}{S_{od}} \dots (21)$$

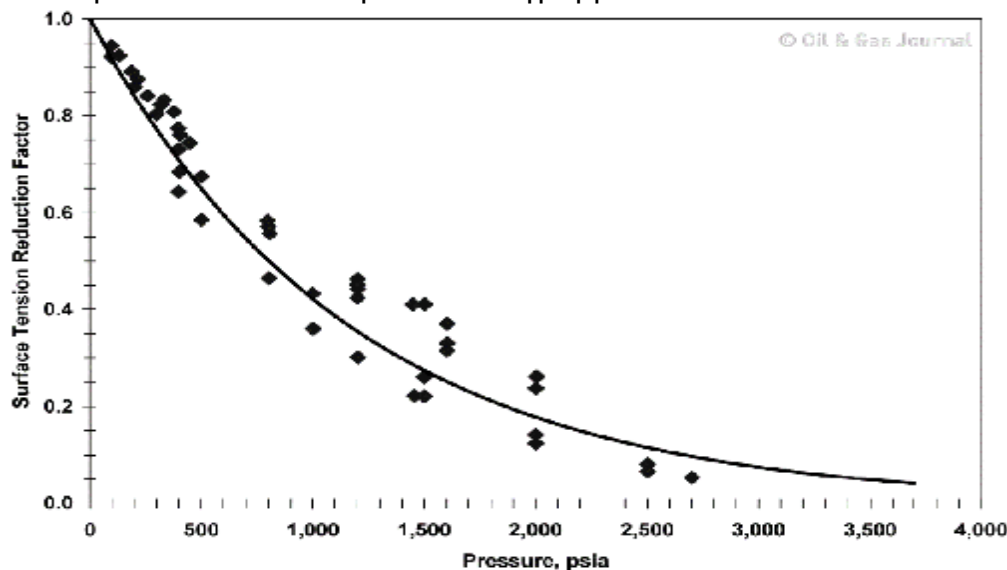


Πίνακας 2.26

Το 2000, οι Abdul- Majeed, παρουσίασαν μια εξελιγμένη μορφή της εξίσωσης Baker και Swerdloff. Τα δεδομένα από τις επιφανειακές τάσεις 18 ακατέργαστων πετρελαίων σε θερμοκρασιακό εύρος 60- 130 F, χρησιμοποιήθηκαν για να δημιουργήσουν την εξίσωση:

$$S_{od} = (1.17013 - 1.694 \cdot 10^{-3} \cdot T) \cdot (38.085 - 0.259 \cdot g_{API}) \dots (22)$$

Αυτό φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα:

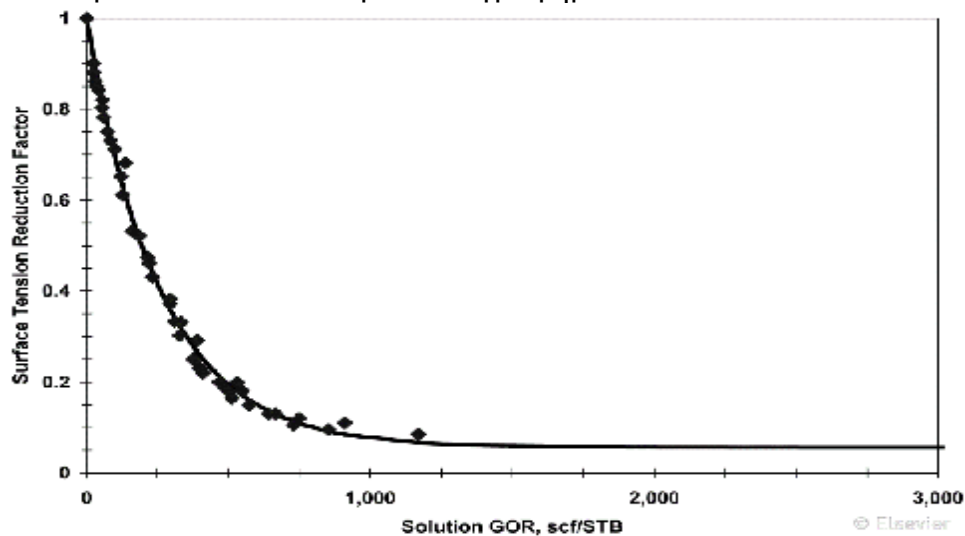


Πίνακας 2.27

Για να αναπτυχθεί ο διορθωτικός παράγοντας για το πραγματικό πετρέλαιο, χρησιμοποιήθηκαν 42 δείγματα ακατέργαστου πετρελαίου και αναπαρίσταται από τον τύπο:

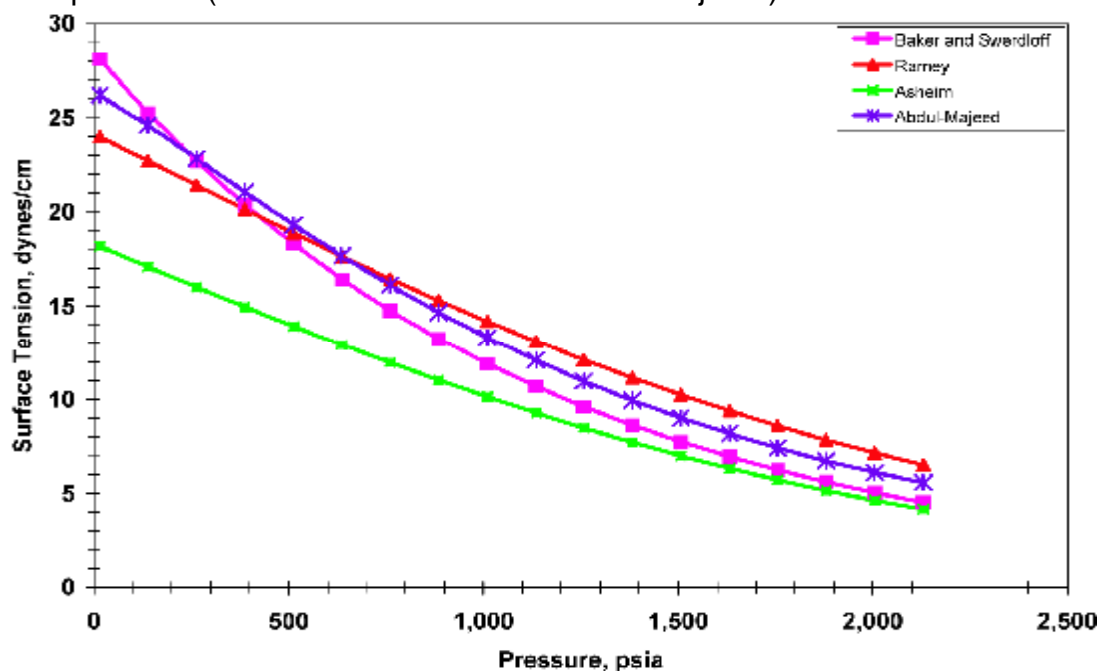
$$\frac{S_{go}}{S_{od}} = 0.056379 + 0.94362 \cdot e^{(-3.8491 \cdot 10^{-3} \cdot R_s)} \dots (23)$$

Αυτό φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα:



Πίνακας 2.28

Ενώ λοιπόν, η εξίσωση (21), μας δείχνει την επιφανειακή τάση του πετρελαίου σύμφωνα με τους Baker και Swerdloff, ο παρακάτω πίνακας μας δείχνει τα στατιστικά συγκρίσιμα αποτελέσματα των δύο μεθόδων (Baker και Swerdloff και Abdul- Majeed):



Πίνακας 2.29

Τέλος παρατίθεται ένας πίνακας που δείχνει τις 2 μεθόδους που αναλυτικά περιγράψαμε παραπάνω, συγκριτικά η μια με την άλλη.

TABLE 6.11—STATISTICAL SUMMARY OF SURFACE TENSION CORRELATIONS

(Reprinted from *J. of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 27, Abdul-Majeed and Abu Al-Soof, "Estimation of Gas-Oil Surface Tension," 197, Copyright 2000, with permission from Elsevier.)

Correlation	Average Error (%)	Average Absolute Error (%)	Standard Deviation
Baker and Swerdloff	1.12	16.25	21.7
Abdul-Majeed	0.64	7.28	9.77

(14)

Πίνακας 2.30

2.8.v) Επιφανειακή τάση μεταξύ υδρογονανθράκων/ νερού(14)

Η επιφανειακή τάση μεταξύ υδρογονανθράκων και νερού ποικίλει από 72 δίνες ανά εκατοστό για φυσικό αέριο και 20 έως 40 δίνες ανά εκατοστό για πετρέλαιο σε συνθήκες μιας ατμόσφαιρας. Το 1973, Ο Ramey δημοσίευσε μεθόδους αξιολόγησης της επιφανειακής τάσης στο σύστημα νερό/ υδρογονάνθρακα.

Δυστυχώς αφορούσε περισσότερο την διεπαφή του νερού με το πετρέλαιο, παρόλα αυτά αργότερα, μιας γενικής φύσεως εξίσωση για διεπαφή φυσικού αερίου και νερού δημοσιεύτηκε από τους Firoozabadi και Ramey. Δεδομένα επιφανειακής τάσης από καθαρά συστατικά n-δωδεκανίων έως και μεθάνιο απεικονίζονται στον πίνακα παρακάτω:

TABLE 6.12—PROPERTIES FOR EXAMPLE 6.1

Property	Value
Crude oil gravity, °API	37.9
Watson characterization factor	11.8
Gas specific gravity	0.804
Nitrogen content in the surface gas, mole %	2.38
GOR, scf/STB	769
Pressure, psia	4,500
Temperature, °F	120

Πίνακας 2.31

Ο παράγοντας της επιφανειακής τάσης που χρησιμοποιήθηκε για τα παραπάνω αποτελέσματα είναι:

$$\sigma_{hw} = \frac{0.25}{\rho_w - \rho_h} T_r^{0.3125} \dots (24)$$

σ_{hw} = Επιφανειακή τάση υδρογονανθράκων / νερού

ρ_w = Πυκνότητα νερού

ρ_h = Πυκνότητα υδρογονανθράκων

T_r = Μετρήσιμη θερμοκρασία

Αφού η πυκνότητα του νερού διαφέρει από την πυκνότητα του υδρογονάνθρακα, χρησιμοποιήθηκε μέσω πειραματικών ελέγχων μια συνέχεια του τύπου (24) που είναι:

$$\frac{\sigma_{hw}}{\rho_w - \rho_h} \frac{\dot{\sigma}}{\dot{\sigma}} T_r^{0.3125} = 1.58 + \frac{1.76}{\rho_w - \rho_h} \dots (25)$$

Λύνοντας ως προς την επιφανειακή τάση του τύπου (25), προκύπτει:

$$\sigma_{hw} = \frac{1.58 (\rho_w - \rho_h) + 1.76 \dot{\sigma}}{T_r^{0.3125}} \dots (26)$$

Η εξίσωση (26), απαιτεί η ψευδοκρίσιμη θερμοκρασία του πετρελαίου και του φυσικού αερίου να υπολογιστεί, ώστε να αξιολογηθεί η μείωση της θερμοκρασίας. Η εξίσωση του Riazi για υγρό υδρογονάνθρακα, μπορεί να ρυθμιστεί για να αποδώσει τον παρακάτω τύπο:

$$T_{CO} = 24.2787 K_W^{1.76544} g_o^{2.12504} \dots (27)$$

T_{CO} = Ψευδοκρίσιμη θερμοκρασία πετρελαίου

K_W = Carakthristikó parágon ta Watson, °R^{1/3}

g_o = Scetikή puknótita petrelaίου

Η εξίσωση του Sutton, για την ψευδοκρίσιμη θερμοκρασία μπορεί αν χρησιμοποιηθεί για την φάση του φυσικού αερίου:

$$T_{CG} = 169.2 + 349.5 g_{ghc} - 74 g_{ghc}^2 \dots (28)$$

g_{ghc} = Scetikή puknótita udrogonanqrákwon sto aérío

Όταν η πίεση αυξάνεται και το αέριο διαλύεται μέσα στο υγρό πετρέλαιο, η σύνθεση της μεικτής αυτής φάσης αλλάζει. Η ψευδοκρίσιμη θερμοκρασία του μείγματος μπορεί να αξιολογηθεί, υπολογίζοντας το μοριακό κλάσμα κάθε συστατικού που βρίσκεται στο μείγμα.

Για το πετρέλαιο έχουμε:

$$x_o = \frac{1}{y_o} + \frac{7.521 \cdot 10^{-6} R_s M_o \dot{\sigma}^{-1}}{\dot{\sigma}} \dots (29)$$

Το μοριακό κλάσμα του φυσικού αερίου στο πετρέλαιο είναι:

$$x_g = 1 - x_o \dots (30)$$

Η ψευδοκρίσιμη θερμοκρασία του μείγματος, είναι το μέσο βάρος του μοριακού κλάσματος στην ψευδοκρίσιμη θερμοκρασία για κάθε συστατικό:

$$T_{CM} = x_o T_{CO} + x_g T_{CG} \dots (31)$$

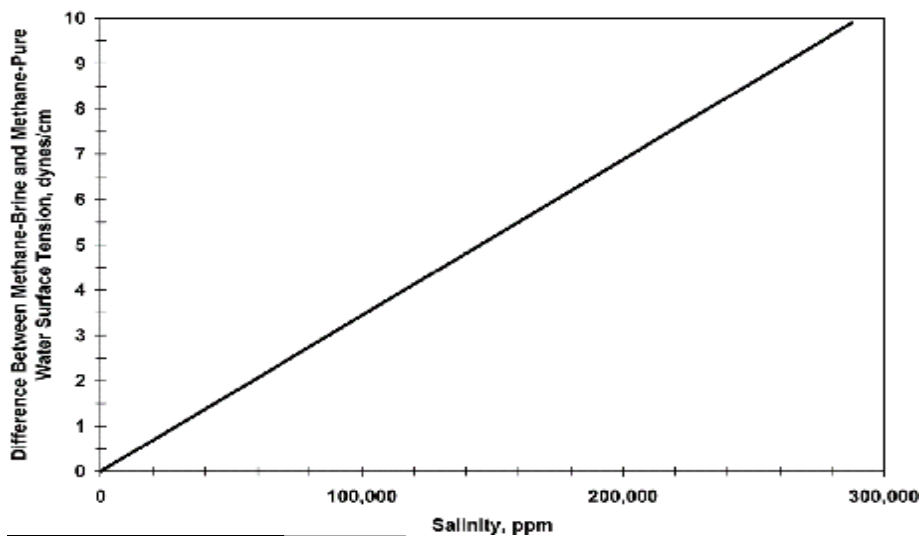
T_{CM} = Μεικτή ψευδοκρίσιμη θερμοκρασία

Ο πίνακας παρακάτω, μας παραθέτει αποτελέσματα για πετρέλαιο/ νερό και φυσικό αέριο/ νερό, που έχουν προκύψει από αυτήν την μέθοδο:

TABLE 6.13—CORRELATIONS FOR EXAMPLE 6.1	
Property	Correlation
Bubblepoint pressure	Lasater
Nitrogen correction to bubblepoint	Jacobson
Oil FVF	Al-Shammasi
Isothermal compressibility	Farshad
Viscosity	Glase, Chew and Connally, Vazquez and Beggs
Surface tension at bubblepoint	Abdul-Majeed
Oil/water interfacial tension	Firoozabadi and Ramey

Πίνακας 2.32

Για σύστημα μεθανίου/ άλμης, ο Standing υποδεικνύει ότι η επιφανειακή τάση θα αυξηθεί σύμφωνα με το γράφημα παρακάτω:



Πίνακας 2.33

Ο τύπος που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση του παραπάνω διαγράμματος είναι:

$$s_{cor} = 3.44 \cdot 10^{-5} \cdot C_{SW} \dots (32)$$

$$C_{SW} = \text{Sugk} \acute{\alpha}\text{nrwsh al} \acute{\alpha}\text{wn sto ner} \acute{o} \quad (14)$$

2.9)ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΓΚΟΥ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ(33,34,35)

Ο συντελεστής όγκου διαμόρφωσης αναφέρθηκε, στο κεφάλαιο που αφορά την επιφανειακή τάση, του φυσικού αερίου. Αξίζει να αναφερθεί χωριστά, όπως έγινε και με την πυκνότητα, διότι είναι μια ιδιότητα που παίζει καθοριστικό ρόλο στην μελέτη του φυσικού αερίου.

Όταν μπορούμε στην διαδικασία, να μελετήσουμε τις ιδιότητες του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, ένας σημαντικός παράγοντας, είναι και ο όγκος που καταλαμβάνουν σε συγκεκριμένες συνθήκες. Δηλαδή, ο όγκος του πετρελαίου και του φυσικού αερίου όταν μετρείται σε συνθήκες εξόρυξης, που προφανώς βρίσκεται σε συγκεκριμένες επιφάνειες εντός του υπεδάφους ή όταν πρωτοβγαίνει στην επιφάνεια της γης, είναι διαφορετικός από τον όγκο του πετρελαίου και του φυσικού αερίου όταν τοποθετούνται σε συγκεκριμένες δεξαμενές υπό πίεση μετά την εξόρυξη, με στόχο την μεταφορά και την επεξεργασία.

Εδώ λοιπόν, έρχεται ο συντελεστής όγκου διαμόρφωσης, που εντοπίζει αυτήν την διαφορά και αποτελεί ένα χρησιμότερο εργαλείο, για την αντίληψη του ουσιαστικού όγκου που καταλαμβάνει το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο πριν υποστούν τις επεξεργασίες που είναι απαραίτητες ώστε να χρησιμοποιηθούν σε τόσες πολλές χρήσεις.

Αν για παράδειγμα έχουμε μια ποσότητα υγρού υδρογονάνθρακα 'x', στην επιφάνεια του εδάφους, όταν αυτή η ποσότητα θα επιχειρηθεί να συμπιεστεί σε μια δεξαμενή, τότε ο όγκος του πετρελαίου υγρού υδρογονάνθρακα, θα είναι μεγαλύτερος, διότι κατά την διαδικασία συμπίεσης υγροποιείται μέρος του φυσικού αερίου, με αποτέλεσμα ο τελικός υγροποιημένος όγκος να είναι μεγαλύτερος από τον αρχικό.

Αντίθετα, αν επιχειρήσουμε να συμπιέσουμε το μείγμα των ουσιών που αποτελούν το φυσικό αέριο, τότε ο όγκος του φυσικού αερίου που βρίσκεται σε μια ελεύθερη επιφάνεια είναι μεγαλύτερος από τον όγκο του συμπιεσμένου και υγροποιημένου φυσικού αερίου, διότι τα αέρια εκ φύσεως καταλαμβάνουν μεγαλύτερο όγκο από τα υγρά λόγω της μεγαλύτερης κινητικότητας των μορίων τους.

Ο συντελεστής όγκου διαμόρφωσης, είναι ο λόγος που για αριθμητή έχει τον όγκο που καταλαμβάνει ο υγρός ή ο αέριος υδρογονάνθρακας σε συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας δεξαμενής, και για παρονομαστή έχει τον όγκο του υγρού ή αερίου υδρογονάνθρακα σε συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας κανονικές, δηλαδή περιβάλλοντος.

Για το φυσικό αέριο συγκεκριμένα, ισχύει το εξής:

$$B_g = \frac{V_R}{V_{SC}} = \frac{\frac{Z_R \cdot n_R \cdot R \cdot T_R}{P_R}}{\frac{Z_{SC} \cdot n_{SC} \cdot R \cdot T_{SC}}{P_{SC}}} [Z_{SC} = 1, n_R = n_{SC}]$$

$$B_g = \frac{P_{SC} \cdot Z_R \cdot T_R}{P_R \cdot T_{SC}} \quad B_g = \frac{P_{SC}}{P_R} \cdot \frac{Z_R \cdot T_R}{T_{SC}}$$

Λόγω του αριθμητή και του παρονομαστή ο συντελεστής όγκου διαμόρφωσης είναι αδιάστατος. Τμηματικά όμως, πρέπει να αναφερθεί ότι χρησιμοποιούν για κλίμακα θερμοκρασίας, είτε τους Kelvin, Fahrenheit, ενώ για μονάδες πίεσης χρησιμοποιούν είτε ατμόσφαιρες, psia, Kpascal. Οι κανονικές συνθήκες που αναφέραμε, παραπέμπουν σε συνθήκες πίεσης 1 ατμόσφαιρας, 14.696 psia, 101.325 Kpascal και συνθήκες θερμοκρασίας 288.71 °K, 60 °F. (33, 34, 35)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Εισαγωγή

Η επεξεργασία του φυσικού αερίου είναι μια σύνθετη βιομηχανική διαδικασία που σαν στόχο έχει, να διαχωριστεί το πρωτογενές φυσικό αέριο από έναν μεγάλο αριθμό μη-μεθανιούχων υδρογονανθράκων και υγρών υδρογονανθράκων για να προκύψει το ξηρό φυσικό αέριο ποιότητας κλειστού αγωγού.

Η επεξεργασία του φυσικού αερίου ξεκινά από το πηγάδι εξόρυξης. Το μείγμα του πρωτογενούς φυσικού αερίου, εξαρτάται από τον τύπο του πηγαδιού, το βάθος του, την τοποθεσία του υπόγειου αποθέματος και τέλος από την γεωλογία της περιοχής. Είναι πολύ συχνό φαινόμενο, να συνυπάρχει το φυσικό αέριο με τον υγρό υδρογονάνθρακα (πετρέλαιο).

Το φυσικό αέριο που εξορύσσεται από πετρελαιοπηγές λέγεται <<σχετιζόμενο και διαλυμένο>> φυσικό αέριο, που παραπέμπει στο γεγονός ότι έχει προσμιχθεί με πετρέλαιο. Το φυσικό αέριο που εξορύσσεται από πηγές που δεν συνυπάρχει με το πετρέλαιο, λέγεται <<μη σχετιζόμενο>> φυσικό αέριο.

Το μεγαλύτερο ποσοστό του φυσικού αερίου που εξορύσσεται στην γη, περιέχει συστατικά υδρογονανθράκων χαμηλού μοριακού βάρους, όπως μεθάνιο (CH_4), αιθάνιο (C_2H_6), προπάνιο (C_3H_8), βουτάνιο (C_4H_{10}). Το μοναδικό φυσικό αέριο που περιέχει 90% μεθάνιο και 10% διοξείδιο του άνθρακα, είναι αυτό που εξορύσσεται από πηγές άνθρακα και ορυχεία.

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας του φυσικού αερίου καθαρίζουν το φυσικό αέριο από προσμίξεις νερού, διοξειδίου του άνθρακα και υδρόθειου (H_2S). Κάποιες από τις προσμίξεις αυτές επεξεργάζονται και πωλούνται(1).

3.1) ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΕΣ (ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ)(5)

Ο όρος διαχωριστής στην ορολογία της εξόρυξης υδρογονανθράκων, είναι ουσιαστικά ένα δοχείο πίεσεως, που χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό ρευστών σε υγρά και αέρια, στα πηγάδια εξόρυξης υδρογονανθράκων. Στόχος του διαχωρισμού αυτού, είναι η ξεχωριστή ύπαρξη του πετρελαίου, του νερού και του φυσικού αερίου.

Ο διαχωριστής αποτελείται κατασκευαστικά από τα εξής:

1. Εγκατάσταση για έναν πρώτο τυπικό διαχωρισμό των ρευστών.
2. Μια δεύτερη εγκατάσταση για καθίζηση και διαχωρισμό των ρευστών με την εκμετάλλευση της ύπαρξης της βαρύτητας.

3. Εξαγωγή ομιχλωδών στοιχείων, για την αφαίρεση πολύ μικρών υγρών σωματιδίων από το φυσικό αέριο.
4. Έξοδος του φυσικού αερίου.
5. Εγκατάσταση διαχωρισμού και καθίζησης υγρών για την αφαίρεση των μικρών υπολοίπων αέριων στοιχείων από το υγρό.
6. Έξοδος πετρελαίου
7. Έξοδος νερού

Οι διαχωριστές πρέπει να έχουν τις εξής προδιαγραφές:

1. Επάρκεια χώρου για αποτελεσματικότερο έλεγχο των υγρών ροών που εξάγονται από τα πηγάδια.
2. Διαστατική επάρκεια του ύψους, του πλάτους και της διαμέτρου του διαχωριστή, για ευκολία στον διαχωρισμό των ρευστών και για να αποφευχθεί ο κίνδυνος επαφής των υγρών με τον εξαγωγή ομιχλωδών στοιχείων.
3. Εξοπλισμό που να ελέγχει το ύψος της στάθμης του υγρού υδρογονάνθρακα εντός του διαχωριστή, αποτελούμενο από έναν ελεγκτή ύψους στάθμης υγρού, που έχει ένα έμβολο και ένα διάφραγμα στην έξοδο του υγρού πετρελαίου.
4. Μια βαλβίδα ελέγχου πίεσης, στην έξοδο του φυσικού αερίου, για την διατήρηση της πίεσης στο προβλεπόμενο επίπεδο.
5. Εξοπλισμό εκτόνωσης της πίεσης.

Οι διαχωριστές λειτουργούν βάσει της αρχής, ότι τα τρία ρευστά που παραλαμβάνουν από τα πηγάδια εξόρυξης έχουν διαφορετικές πυκνότητες. Σε πολύ αργή ταχύτητα των ρευστών εντός του διαχωριστή, το νερό συγκεντρώνεται στο κάτω μέρος, έπειτα συγκεντρώνεται το πετρέλαιο και από πάνω του το φυσικό αέριο. Άμμος, χαλίκια, και σκουπίδια θα επικαθίσουν στο τελευταίο επίπεδο συγκέντρωσης του νερού(5).

3.1.α) Ταξινόμηση διαχωριστών κατά σχεδιασμό κατασκευής(5)

Οι διαχωριστές ταξινομούνται σε οριζόντιους, κάθετους, και σφαιρικούς.

Κάθετης διαμόρφωσης

Η κάθετης διαμόρφωσης διαχωριστές, έχουν τις εξής διαστάσεις:

- Διάμετρος->10-12 ίντσες(25-30 cm)
- Μήκος->4-5 πόδια(120-152 cm)

Έως:

- Διάμετρος->10-12 πόδια(305-366 cm)
- Μήκος->15-25 πόδια(457-760 cm)

Οριζόντιας διαμόρφωσης

Η οριζόντιας διαμόρφωσης διαχωριστές, έχουν τις εξής διαστάσεις:

- Διάμετρος->10-12 ίντσες(25-30 cm)
- Μήκος->4-5 πόδια(120-152 cm)

Έως:

- Διάμετρος->15-16 πόδια(457-488 cm)
- Μήκος->60-70 πόδια(18.3-2.14 m)

Σφαιρικής διαμόρφωσης

Η σφαιρικής διαμόρφωσης διαχωριστές έχουν τις εξής διαστάσεις:

- Διάμετρος->24-30 ίντσες(61-76 cm)

Έως:

- Διάμετρος->66-72 ίντσες(168-183 cm)

Αυτοί που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι οι οριζόντιας και κάθετης διαμόρφωσης. Μεταξύ αυτών των δύο, προτιμάται της οριζοντίου διαμόρφωσης διότι είναι πιο αποτελεσματικός σε σχέση με τον σκοπό λειτουργίας του, παρά το γεγονός ότι οι διαχωριστές κάθετης διαμόρφωσης έχουν πρωτοποριακό τρόπο λειτουργίας(Εισροή του ρευστού από το πάνω μέρος του κελύφους και έπεται ο διαχωρισμός)

3.1.β) Ταξινόμηση διαχωριστών κατά τρόπο λειτουργίας(5)

Οι τρόποι λειτουργίας είναι δύο. Διφασική λειτουργία και τριφασική λειτουργία. Στην διφασική λειτουργία το φυσικό αέριο διαχωρίζεται από το πετρέλαιο και αποθηκεύονται χωριστά. Σε αυτού του τύπου την λειτουργία, ο διαχωριστής είναι έτσι μηχανολογικά σχεδιασμένος, ώστε τα υγρά και αέρια στοιχεία του υδρογονάνθρακα που εισέρχονται στον διαχωριστή να διαχωρίζονται υπό συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας κατά Arnold(2008).

Στην τριφασική λειτουργία το ρευστό διαχωρίζεται σε φυσικό αέριο, πετρέλαιο και νερό. Αρχικά διαχωρίζεται το υγρό από το φυσικό αέριο, με κριτήριο τη μέγιστη διάμετρο της σταγόνας, χρησιμοποιώντας την εξίσωση των Souders-Brown σε συνδυασμό με έναν κατάλληλο εμπειρικό παράγοντα 'K'. Ο διαχωρισμός του πετρελαίου από το νερό εξαρτάται από τον χρόνο κατακράτησης του υγρού μείγματος εντός του διαχωριστή. Ο χρόνος αυτός υπολογίζεται από επιστημονικές έρευνες στο αντικείμενο, από τον πιλοτικό σχεδιασμό της εγκατάστασης ή τέλος και από την εμπειρία των χειριστών κατά την διάρκεια του διαχωρισμού.

3.1.γ) Ταξινόμηση διαχωριστών κατά συνθήκες πίεσης λειτουργίας(5)

Οι διαχωριστές πετρελαίου/αερίου, λειτουργούν σε συνθήκες υψηλού κενού έως 4000 και 5000 psi.(27560-10315 Kp). Οι πιέσεις που αναπτύσσονται εντός ενός διαχωριστή μπορεί να είναι από 20 psi(138 Kp) έως 1500 psi(10335Kp).Οι διαχωριστές χωρίζονται σε χαμηλής μεσαίας και υψηλής πίεσης.

Χαμηλής πίεσης

- 10-20 psi->68.9-37.8 Kp
- 180-225 psi->1240-1550 Kp

Μεσαίας πίεσης

- 230-250 psi->1585-1723 Kp
- 600-700 psi->4134-4823 Kp

Υψηλής πίεσης

- 750-1500 psi->5168-10335 Kp

3.2)ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΑΕΡΙΟΥ/ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ(3,5)

Αρχικά θα έπρεπε να αναφερθεί ότι οι διαχωριστές κάποιες φορές δεν χρειάζεται να διαχωρίσουν το μείγμα εντός του κελύφους τους. Αυτό συμβαίνει, διότι πριν το μείγμα ρευστού φτάσει στον

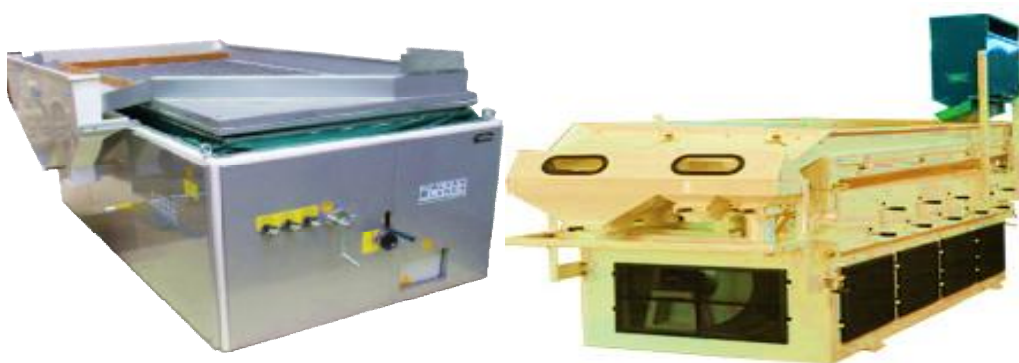
διαχωριστή, έχει ήδη χωριστεί το μείγμα κατά την πορεία των ρευστών εντός των σωληνώσεων. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο διαχωριστής αρχίζει να δουλεύει από το χρονικό σημείο που στο πηγάδι εισέρχεται ο υδρογονάνθρακας και αυξάνει τους ρυθμούς λειτουργίας του καθώς το ρευστό πλησιάζει στο κέλυφος. Έτσι, ο διαχωριστής απλά αναλαμβάνει το χρέος να μην έχουν κοινή έξοδο το αέριο και το πετρέλαιο από το κέλυφος

3.2.α) Βαρυτικός διαχωρισμός

Ο συγκεκριμένος διαχωρισμός επιτυγχάνεται με την καθίζηση των τριών ρευστών σε διαφορετικά επίπεδα, λόγω διαφοράς πυκνότητάς τους. Στην προκειμένη περίπτωση το φυσικό αέριο εισέρχεται σε μια δεξαμενή σε συνύπαρξη με το πετρέλαιο και το νερό. Αφού ηρεμίσει το μείγμα ρευστού για την ελάχιστη δυνατή ταχύτητα των μορίων του, αφήνουμε την βαρύτητα να πράξει το έργο της. Στο κάτω μέρος της δεξαμενής συγκεντρώνεται το νερό, από πάνω το πετρέλαιο και στην κορυφή το αέριο. Η διαφορά πυκνότητας του πετρελαίου από το αέριο σε συνθήκες περιβάλλοντος είναι 400 με 1600 φορές

Σαν μέθοδος, δεν έχει την αποτελεσματικότητα των προδιαγραφών που απαιτούνται, διότι για να εφαρμοστεί σωστά αυτή η μέθοδος, πρέπει η ταχύτητα του μείγματος ρευστού, που εισρέει στην δεξαμενή να είναι πολύ μικρή. Σαφώς αυτό είναι αδύνατο, αφού η εισροή του ρευστού στην δεξαμενή γίνεται τις περισσότερες φορές με μεγάλη ορμή, με πιέσεις της τάξεως των 800 psi (1 psi= 0.068 atm, 1psi=5.17 cmHg) που μειώνει την διαφορά πυκνότητας του πετρελαίου και του αερίου στις 6 με 10 φορές, ενώ η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή με αποτέλεσμα να προσδίδεται στο ρευστό μείγμα επιπλέον κινητικότητα.

Έτσι λοιπόν, χρησιμοποιείται για αφαίρεση υγρών σωματιδίων της τάξης των 300 μικρών. Ακόμα χρησιμοποιείται σαν ένας πρώτος τυπικός διαχωρισμός του ρευστού μείγματος. Τέλος χρησιμοποιείται και σαν μέθοδος αποβολής στερεών και υγρών αποβλήτων.



Βαρυτικοί διαχωριστές(3.1,3.2)

3.2.β) Φυγοκεντρικός διαχωρισμός

Όταν μια αέρια ροή μεταφέρει υγρά στοιχεία εντός μιας κυκλικής ροής, σε υψηλή ταχύτητα, η φυγόκεντρος δύναμη τα εξωθεί στα τοιχώματα του δοχείου. Έπειτα αυτά τα υγρά στοιχεία καταλήγουν στον τομέα υγρών του διαχωριστή. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι η ελεύθερη επιφάνεια των υγρών στοιχείων καθώς περιστρέφεται συσσωρεύεται στο κάτω μέρος του νοητού άξονα και δημιουργεί προβλήματα ρύθμισης της στάθμης εντός του διαχωριστή.

Αυτού του τύπου ο διαχωρισμός αφαιρεί υγρά και στέρεα σωματίδια της τάξης των 100 μικρών από το αέριο. Είναι αρκετές φορές μια πιο αποτελεσματική μέθοδος από την μέθοδο του βαρυτικού διαχωρισμού. Μια κατάλληλου μεγέθους δίνη μπορεί να αφαιρέσει και απόβλητα της

τάξης των 10 μικρών. Παρόλα αυτά δεν ενδείκνυται για αφαίρεση ομιχλωδών στοιχείων(mist elimination).



Φυγόκεντροι
Διαχωριστές(3.3.3.4)

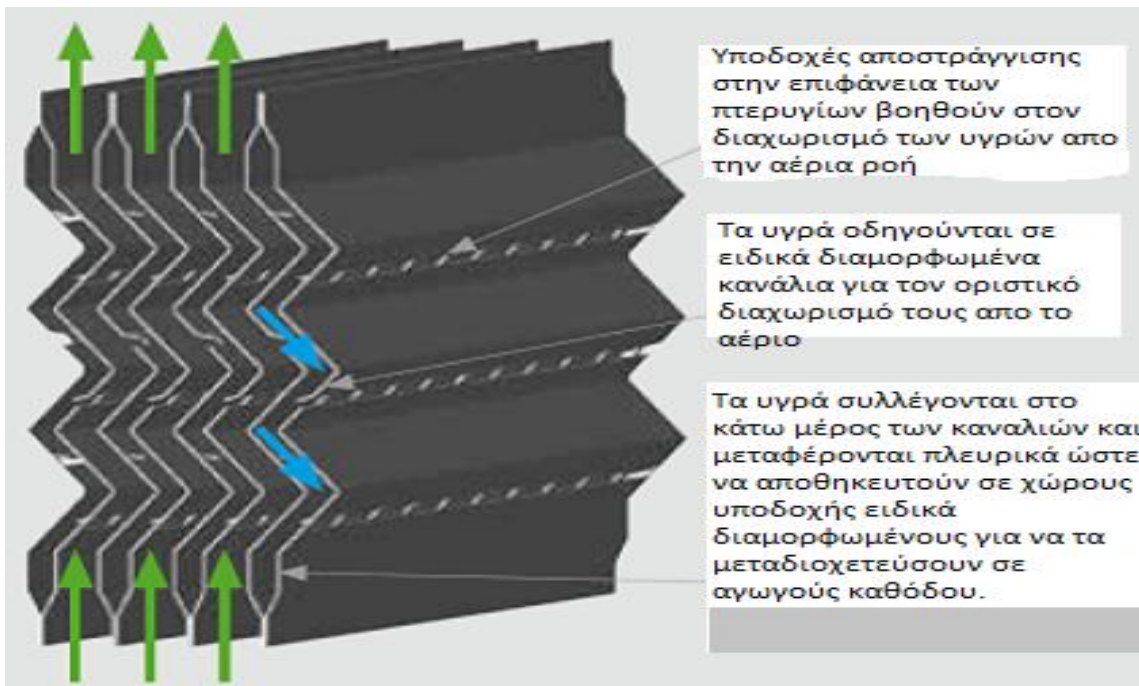
3.2.γ) Διαχωρισμός μέσω της εξουδετέρωσης ομιχλωδών στοιχείων(mist eliminators)(3,5)

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στο φαινόμενο της αδρανειακής σύγκρουσης για την αφαίρεση αποβλήτων της τάξης των 1-5 μικρών. Οι εξουδετερωτές αυτοί είναι ουσιαστικά ίνες και πυκνές πλεκτές μάζες υλικών που λειτουργούν σαν ένα πολύ πυκνό φίλτρο συσσωματώματος. Περισυλλέγουν τα υγρά του ρευστού μείγματος και επιτρέπουν στο φυσικό αέριο να περάσει αγνό. Πρέπει βέβαια η ταχύτητα να είναι σχετικά μικρή, ώστε τα υγρά σωματίδια να μην επαναεισέλθουν στην αέρια ροή και αυτό για να επιτευχθεί, απαιτεί η υποδοχή του μείγματος να είναι μεγάλη σε σχέση με τον όγκο εισροής του ρευστού.

Επειδή ο βαρυτικός διαχωρισμός δεν είναι αρκετός, χρησιμοποιούνται εξαγωγείς ομιχλωδών στοιχείων, με στόχο την αφαίρεση των υγρών στοιχείων πολύ μικρής διαμέτρου από το αέριο. Ακόμα, χρησιμοποιείται μια υποκατηγορία του μηχανισμού εξαγωγής ομιχλωδών στοιχείων που λέγεται πάνελ αγωγής θερμότητας στους φυγόκεντρους διαχωριστές. Αυτά τα πάνελ είναι τοποθετημένα από τον πάτο έως την ανώτερη έξοδο του κελύφους.



Αυτή η εικόνα αναπαριστά έναν εξουδετερωτή ομιχλωδών στοιχείων(mist eliminator) που παράγεται από την εταιρία Kimge. Η ποικιλία των υλικών που χρησιμοποιεί η εταιρία αυτή ανταποκρίνεται σε ένα μεγάλο εύρος απαιτήσεων.



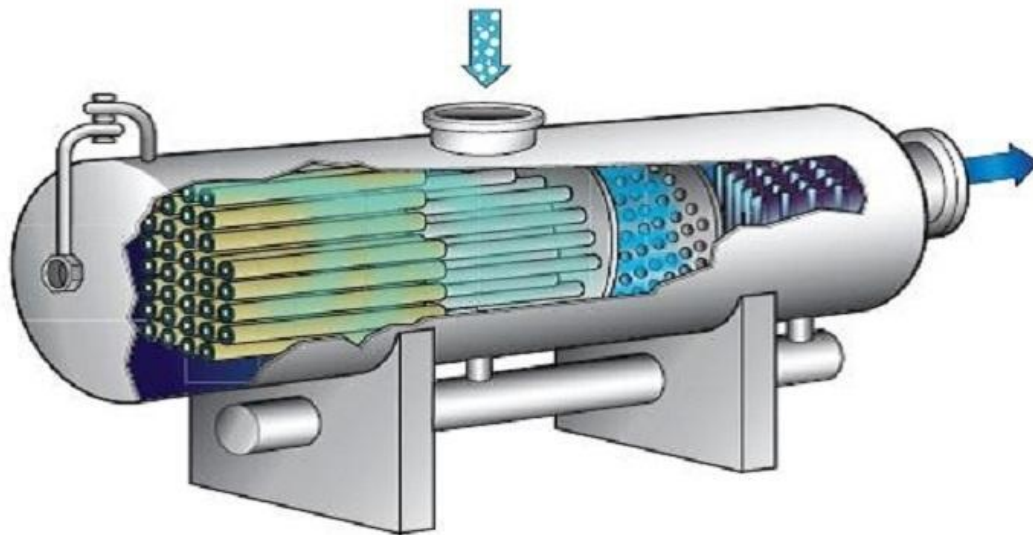
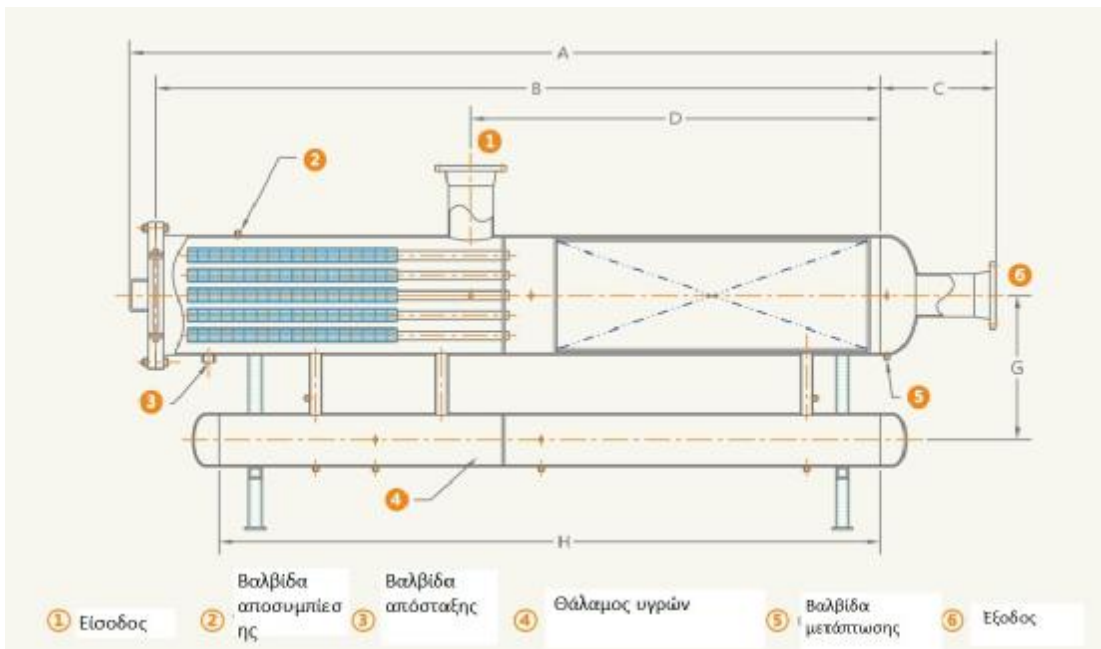
Εξουδετερωτές ομιχλωδών στοιχείων(ων(3,5,3,6)

3.2.δ) Διαχωρισμός μέσω φίλτρων μορφής έλικας

Η φιλοσοφία αυτού του διαχωρισμού είναι η αδρανειακή σύγκρουση. Οι διαχωριστές αυτοί έχουν την μορφή ανακλαστήρων ή πιάτων και βρίσκονται εντός του κελύφους διαχωρισμού. Διαχωρίζουν τις υγρές μάζες εντός του φυσικού αερίου, στην περίπτωση που η ροή έχει πολύ υψηλή ταχύτητα, δηλαδή στην περίπτωση που οι εξουδετερωτές ομίχλης αδυνατούν.

Μέσω λοιπόν αυτής της συγκρούσεως, οι υγρές στοιχειώδεις μάζες προσκολλώνται σε αυτούς τους ανακλαστήρες και πιάτα, μέχρι το σημείο που θα δημιουργήσουν σταγόνες υγρού υδρογονάνθρακα, λόγω της συσσώρευσης που προκύπτει από την συνεχή ροή του ρευστού μείγματος. Πολλές φορές μια ομάδα αυτών των ανακλαστήρων/πιάτων δεν είναι αρκετές, για αυτό και φτιάχνουν παραπάνω από μια ομάδες για να έχει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα ο διαχωρισμός.

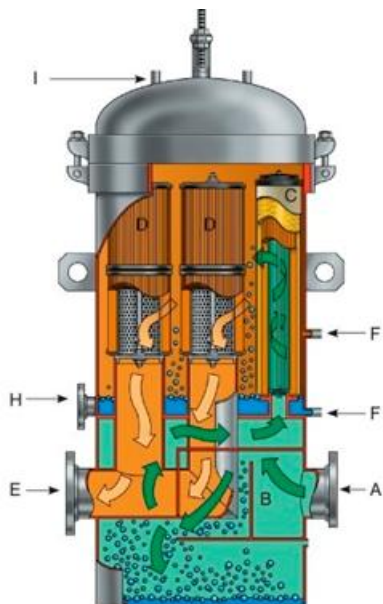
Παρά ταύτα, η απόσταση των ανακλαστήρων που αποτελούν το δίκτυο έχουν μια σχετικά μεγάλη απόσταση και διαχωρίζουν υγρά της τάξεως των 10 μικρών. Λόγω του γεγονότος ότι ανακόπτουν στιγμιαία την υψηλή ταχύτητα της ροής, λειτουργούν και σαν ελεγκτές ταχύτητας ώστε οι διαχωριστές ομιχλωδών στοιχείων να υποδέχονται ροές με μειωμένες ταχύτητες.



Φίλτρα ελικοειδής μορφής(3,7,3,8)

3.2.ε) Χωνευτές αερίου/πετρελαίου(Coalescers)

Αυτή η μέθοδος διαχωρισμού υποστηρίζεται από την ύπαρξη φυσίγγων αλλά και τον εξοπλισμό των δύο προηγούμενων μεθόδων. Το φυσικό αέριο ρέει εντός ενός στυλπνού όγκου υλικών που περιφερειακά τους εφάπτεται μια ταινία, που αποστραγγίζει την ροή του φυσικού αερίου. Τα φυσίγγια αυτά παγιδεύουν υγρά στοιχεία της τάξεως των 0.1 μικρών. Αν το πλέγμα των υλικών έχει σωστή συνοχή επιτρέπει την ανάπτυξη υψηλών ταχυτήτων ροής του φυσικού αερίου, χωρίς αυξομειώσεις στην πίεση της ροής.



Διαδικασία

Το αέριο εισέρχεται στο σημείο Α. Μέσω ανάδευσης στο σημείο Β, τα στέρεα σωματίδια διαχωρίζονται και μαζί με υγρό υδρογονάνθρακα μεταφέρονται σε ειδικό θάλαμο απόρριψης. Τα ομιχλώδη στέρεα στοιχεία και υδρογονανθρακικά υγρά που δεν διαχωρίστηκαν διοχετεύονται στο σημείο C. Εκεί τα φυσίγγια, θα παγιδεύσουν τα υγρά εναπομείναντα στοιχεία και θα τα διοχετεύσουν στα σημεία D που έχει πιο πυκνά φυσίγγια για να τα φιλτράρουν εκτός ροής φυσικού αερίου και θα τα διώξουν από τις εξόδους H,F(κάτω). Η έξοδος F (πάνω)θα φιλτράρει τα στέρεα στοιχεία. Τέλος στο σημείο E θα διοχετευτεί το αέριο αγνότερο.

Χωνευτές αερίου πετρελαίου(3.9)

3.2.στ) Διαχωρισμός μέσω της αλλαγής της ταχύτητας του ρευστού

Κατά την διαδικασία του διαχωρισμού εντός του διαχωριστή, παρατηρείται στην ροή απότομη αλλαγή της ταχύτητας, λόγω της φύσης της διεργασίας του διαχωρισμού. Όταν μειώνεται απότομα η ταχύτητα του ρευστού, λόγω αδράνειας, επηρεάζονται το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο, μόνο που δεν επηρεάζονται στον ίδιο βαθμό.

Όταν πέφτει απότομα η ταχύτητα της ροής, λόγω της μικρότερης πυκνότητας του φυσικού αερίου από του πετρελαίου, οι αδρανειακές δυνάμεις έχουν μεγαλύτερη επίπτωση στο πετρέλαιο, το οποίο αρχίζει να προπορεύεται σε σχέση με το φυσικό αέριο, που ανταποκρίνεται γρηγορότερα στην αλλαγή της ταχύτητας. Σαν αποτέλεσμα έχουμε το φαινόμενο του διαχωρισμού του φυσικού αερίου από το πετρέλαιο.

Όταν αυξάνεται η ταχύτητα απότομα, για τον ίδιο ακριβώς λόγο, το φυσικό αέριο προπορεύεται του πετρελαίου και προκύπτει πάλι ο διαχωρισμός τους.

3.2.ζ) Ανακίνηση

Η διαδικασία της ανακίνησης του ρευστού, είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για τον διαχωρισμό του πετρελαίου από το φυσικό αέριο. Σε λογικό βαθμό πάντα, η ανακίνηση βοηθάει πολύ στο να συνενωθούν τα αέρια στοιχεία εντός του ρευστού και να οδηγηθούν ομαδικά προς την επιφάνεια. Είναι μια μέθοδος πάρα πολύ χρήσιμη, για τον διαχωρισμό.

3.2.η) Θερμότητα

Η μεταφορά θερμότητας στο ρευστό, έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του. Αυτό με την σειρά του μειώνει το ιξώδες του πετρελαίου καθώς και τη διεπιφανειακή του τάση με το φυσικό αέριο. Σαν αποτέλεσμα, αυτό οδηγεί στην συσσώρευση του φυσικού αερίου περιορισμένο στο πάνω μέρος του ρευστού μείγματος.

Μια αποτελεσματική μέθοδος μεταφοράς θερμότητας είναι η εμβάπτιση του ρευστού σε καυτό νερό. Ειδικές πλάκες συμπίεσης συμπιέζουν τον ρευστό υδρογονάνθρακα και τον αναγκάζουν να κινηθεί με την μορφή μικρών στροβιλικών ροών προς τα πάνω. Από την διαδικασία αυτή

προκαλείται και μια ανακίνηση που εξωθεί το αέριο στο ανώτερο σημείο και το πετρέλαιο διαχωρισμένο ακριβώς από κάτω του.

Ενώ σαν μέθοδος είναι πολύ αποτελεσματική, αδυνατεί να συνεργαστεί με τους διαχωριστές λόγω αρχιτεκτονικής. Παρόλα αυτά, έχουν βρεθεί άλλοι μέθοδοι μεταφοράς θερμότητας όπως η θερμαντήρες, οι εναλλάκτες θερμότητας και οι δεξαμενές νερού υψηλής θερμοκρασίας.(3,5)

Παρατηρήσεις

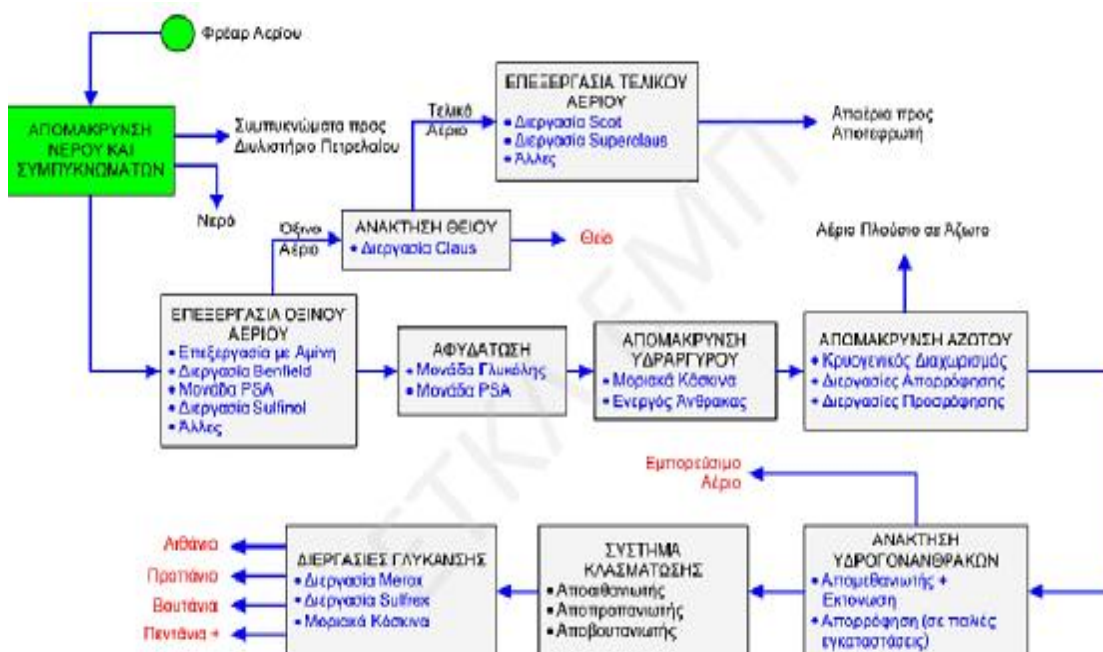
Για τον στόχο των διαχωριστών σε αυτόν τον τομέα ποτέ δεν χρησιμοποιείται κάποια από τις παραπάνω μεθόδους χωριστά, αφού καμιά από αυτές δεν μπορεί ατομικά να επιτύχει τον διαχωρισμό των προδιαγραφών του ξηρού φυσικού αερίου τύπου <<κλειστού αγωγού>>.

3.3)ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Η επεξεργασία του φυσικού αερίου γίνεται με στόχο την απομάκρυνση συστατικών που είναι ανεπιθύμητα εντός του είτε για λόγους καθαρότητας που καθορίζουν την ποιότητα της καύσης στην διάρκεια χρήσης του στην βιομηχανία, στις οικιακές συσκευές και στα μεταφορικά μέσα, είτε για λόγους προστασίας των εγκαταστάσεων επεξεργασίας του φυσικού αερίου.

Συστατικά που πρέπει να αφαιρεθούν για τους παραπάνω λόγους είναι το νερό, το υδρόθειο(H₂S), διοξείδιο του άνθρακα, στοιχειακό θείο και βαριά μέταλλα όπως ο υδράργυρος.

Παρακάτω δίνω εικονικά την ολική διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί. Έπειτα θα αναλύσω ξεχωριστά κάθε διαδικασία και τους τρόπους που οι διαδικασίες αυτές επιτυγχάνονται:



Μέθοδος κάθαρσης φυσικού αερίου(3,10)

Το φυσικό αέριο λοιπόν, πρέπει να απαλλαχθεί από το όξινο αέριο, τον εναπομείναν νερό, τον υδράργυρο και το άζωτο. Πολλοί από τους τρόπους που επιτυγχάνονται οι στόχοι αυτοί χρησιμοποιούνται σε παραπάνω από μια διαδικασία.(14,15)

3.3.α) Μέθοδοι αφαίρεσης όξινου αερίου(24,25,26,27)

Η αφαίρεση του όξινου αερίου, και εννοούνται οι ενώσεις θείου και το διοξείδιο του άνθρακα είναι απαραίτητη να γίνει, μιας και η απομάκρυνσή τους εκτός από το αποτέλεσμα της αγνότητας του φυσικού αερίου προσδίδει και προστασία των εγκαταστάσεων.

3.3.α.1) Επεξεργασία με αμίνες

Η επεξεργασία του αερίου με αμίνες, είναι μια ομάδα διαδικασιών που χρησιμοποιούν υδατικά διαλύματα αλκιλαμίνης ή αμίνης(Ενώσεις αζώτου που προέρχονται από την αμμωνία(NH₃), μόνο που τα μόρια υδρογόνου της αμμωνίας αντικαθίστανται από ομάδες αλκυλίων ή αρυλίων). Στόχος των διαλυμάτων αυτών είναι η αφαίρεση του υδρόθειου(H₂S) και του διοξειδίου του άνθρακα(CO₂) από το αέριο.

Τα είδη αμινών που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:



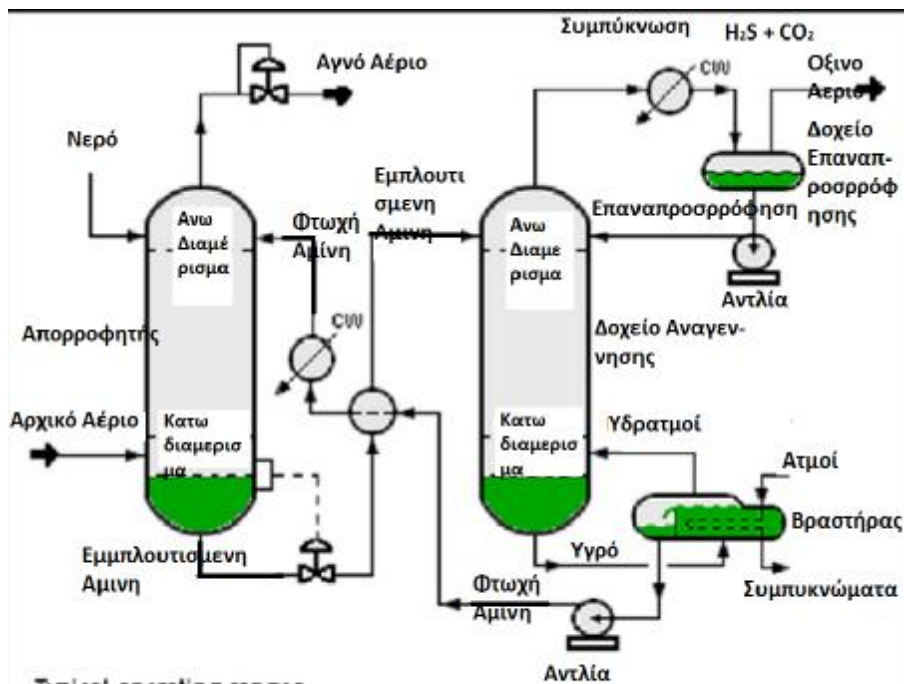
Παράδειγμα μιας χρήσης αμινών είναι η MEA. Όλη η διαδικασία εξουδετέρωσης του διοξειδίου του άνθρακα και του υδρόθειου με την MEA τιτλοφορείται ως RNH₂ και έχει τον παρακάτω χημικό τύπο:



Υπάρχει μια μονάδα αναρρόφησης και μια μονάδα αναγέννησης που συνδέονται μεταξύ τους με ειδικό εξοπλισμό σωληνώσεων μετρητών πιέσεως και εναλλακτών. Στη μονάδα απορρόφησης εισρέει από πάνω προς τα κάτω η αμίνη και από κάτω προς τα πάνω το όξινο φυσικό αέριο. Όταν συμπυκνωθούν οι δύο αντίθετες ροές παράγεται φυσικό αέριο απαλλαγμένο από υδρόθειο και διοξείδιο του άνθρακα.

Η πλούσια σε υδρόθειο και διοξείδιο του άνθρακα αμίνη, χορηγείται στην μονάδα αναγέννησης, όπου διαχωρίζεται πάλι από το υδρόθειο και το διοξείδιο του άνθρακα με έξτρα εναλλάκτες που φωλιάζουν εντός της μονάδας αναγέννησης και επαναχορηγείται πάλι στην μονάδα αναρρόφησης για επανάχρηση. Στην αναγέννηση πλέον υπάρχει μόνο υδρόθειο και διοξείδιο του άνθρακα που εκβάλλεται σε ειδικές εγκαταστάσεις.

- Η αιθανολαμίνη αφαιρεί το 20% του H₂S και 32% του CO₂
- Η διαιθανολαμίνη αφαιρεί το 20%-25% του H₂S και CO₂
- Η μέθυλο-δαιθανολαμίνη αφαιρεί το 30%-35% του H₂S και CO₂
- Η δι-ισοπροπανολαμίνη αφαιρεί το 50% του H₂S και CO₂



Typical operating ranges

Απορροφητής 35 to 50 °C and 5 to 205 atm of absolute pressure
 Δοχείο Αναγέννησης 115 to 126 °C and 1.4 to 1.7 atm of absolute pressure at tower bottom

Λειτουργία της επεξεργασίας με αμίνες(3.11)

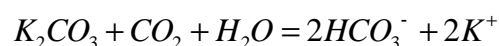
3.3.α.2) Διαδικασία Benfield(23)

Η διαδικασία Benfield αποσκοπεί στον ίδιο στόχο με τις αμίνες. Η διαδικασία ενέχει μια μονάδα απορρόφησης και μια μονάδα αναγέννησης. Στην μονάδα αναρρόφησης η ανθρακική ποτάσα (K_2CO_3), που εισέρχεται από το πάνω μέρος της μονάδας, έχει τη ιδιότητα της αναρρόφησης.

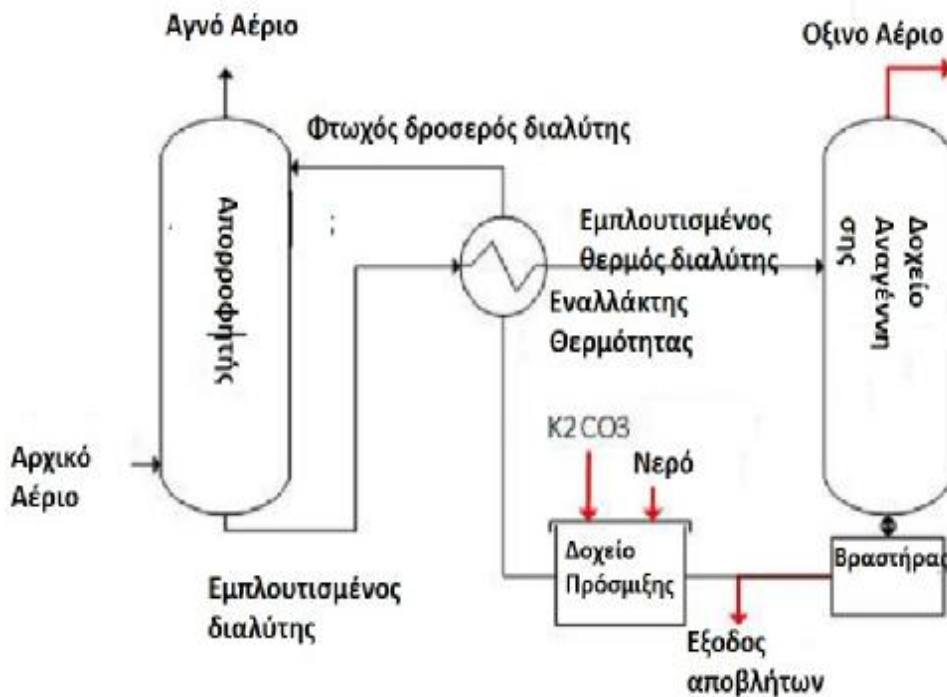
Συγκεκριμένα(23) αντιδρά με το υδρόθειο και προκύπτει διθειούχο(HS^-), ενώ παράλληλα αντιδρά με το διοξείδιο του άνθρακα και προκύπτει διπτανθρακικό(HCO_3^-). Αυτή η αντίδραση εξουδετερώνει περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα και υδρόθειο σε σύγκριση με τα υδατικά διαλύματα.

Έπειτα(23) ο διαλύτης εισέρχεται στην αναγέννηση και με την χρήση εναλλάκτη θερμότητας αφαιρείται το υδρόθειο και το διοξείδιο του άνθρακα και επαναχορηγείται αγνό πια, πίσω στην απορρόφηση.

Η χημική αντίδραση που περιέγραψα παραπάνω έχει χημική εξίσωση:



Basic Benfield Process Schematic



Λειτουργία της επεξεργασίας Benfield(3,12)

3.3.α.3) Επεξεργασία με σουλφινόλες(24,25,26,27)

Η επεξεργασία με σουλφινόλες έχει και αυτή τον ίδιο στόχο με τις προηγούμενες δύο, μόνο που επιπλέον αφαιρεί και καρβονυλοσουλφίδια. Γενικά χρησιμοποιείται για χημικές αντιδράσεις και σαν αποστακτικό μέσο στην βιομηχανία της εξόρυξης. Η φόρμουλα της σουλφινόλης είναι $(\text{CH}_2)_4\text{SO}_2$. Οι ενώσεις του θείου στο παραγόμενο αέριο μπορούν να αφαιρεθούν σε ποσότητες τέτοιες ώστε το φυσικό αέριο να έχει πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις σε ppm(parts per million).

Η διαδικασία αυτή αναπτύχθηκε για μεγάλες ποσότητες αερίου που παρουσιάζονται σε περιβάλλον πολύ υψηλής πίεσης. Η SHELL ήταν η πρώτη που δημιούργησε την φόρμουλα των σουλφιδίων για την εκπλήρωση του στόχου της αγνοποίησης των υδρογονανθρακικών μειγμάτων.

Η επεξεργασία με σουλφινόλες ενέχει την διαδικασία της φυσικής και χημικής απορρόφησης ταυτόχρονα. Ο διαλύτης αποτελείται από σουλφολάνη, δι-ισοπροπανολαμίνη ή μέθυλο-δισουλφοναμίνη και νερό. Παρατηρούμε ότι θυμίζει πολύ τις συνθέσεις για την επεξεργασία με αμίνες εκτός από την παρουσία της σουλφολάνης.

Η φυσική απορρόφηση επιτυγχάνεται με το γεγονός ότι το διάλυμα σουλφινόλης εισέρχεται εξ άνωθεν και το όξινο αέριο εισέρχεται από κάτω στον απορροφητή(όπως στις αμίνες). Η χημική απορρόφηση είναι πιο αποτελεσματική από τα φυσικά διαλύματα διότι η σουλφινόλη για την δημιουργία της απαιτούνται χημικά στοιχεία που εντοπίζονται πιο εύκολα.

Η διαδικασία είναι ίδια με τις δύο προηγούμενες μεθόδους(Επεξεργασία με αμίνες, διαδικασία Benfield).(24,25,26,27)

3.3.β)Αφυδάτωση φυσικού αερίου(1.environment,28,29,30,31,32)

Ο λόγος που επιδιώκουμε να αφαιρέσουμε όσο πιο μεγάλες συγκεντρώσεις νερού από το φυσικό αέριο, είναι γιατί έχει καταστροφικές συνέπειες για τις σωληνώσεις και την συνδεσμολογία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας φυσικού αερίου.

Σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες το νερό παγώνει και επικάθεται σε μορφή πάγου στις σωληνώσεις και στις συνδεσμολογίες. Πιο συχνά βέβαια παρατηρείται το φαινόμενο, σε θερμοκρασίες κοντινές του περιβάλλοντος, να ενώνονται τα σταγονίδια νερού με το διοξείδιο του άνθρακα και άλλους υδρογονάνθρακες όπως μεθάνιο και να οδηγούνται ενοποιημένα εκτός της ροής του φυσικού αερίου λόγω της χαμηλής πίεσης που στιγμιαία επικρατεί στις σωληνώσεις. Έπειτα προσκολλώνται σε αυτές και το όξινο αυτό μείγμα προκαλεί διάβρωση.

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί το φαινόμενο RPT(Rapid phase transition->ταχεία αλλαγή φάσης). Όταν το υγροποιημένο αέριο(LNG), έρχεται σε επαφή με το νερό, γίνεται μια ταχεία μετατροπή της υγρής φάσης του LNG σε αέρια φάση. Η ταχεία αυτή μετατροπή γίνεται με την μορφή μιας έντονης εκρηκτικής αντίδρασης, που προκαλεί έκρηξη, κάτι που οδηγεί σε βαρύς τραυματισμούς και ακαριαίο θάνατο. Για αυτούς τους σημαντικούς λόγους η GPA(gas processors association), έχει θέσει ανώτερο όριο ύπαρξης νερού εντός ενός σωλήνα τα 7rounds/10⁶cubic feet

3.3.β.1)Αφυδάτωση γλυκόλης

Η αφυδάτωση γλυκόλης έχει σαν στόχο την αφαίρεση του νερού από το φυσικό αέριο και το LNG(υγροποιημένο φυσικό αέριο). Είναι ένας οικονομικός τρόπος αφαίρεσης του νερού. Με τον όρο γλυκόλη συμπεριλαμβάνονται τα εξής:

TEG® triaiquil eniog ukol h® $HOCH_2CH_2OCH_2CH_2OCH_2CH_2OH$

DEG® diaiquil eniog ukol h® $(HOCH_2CH_2)_2O$

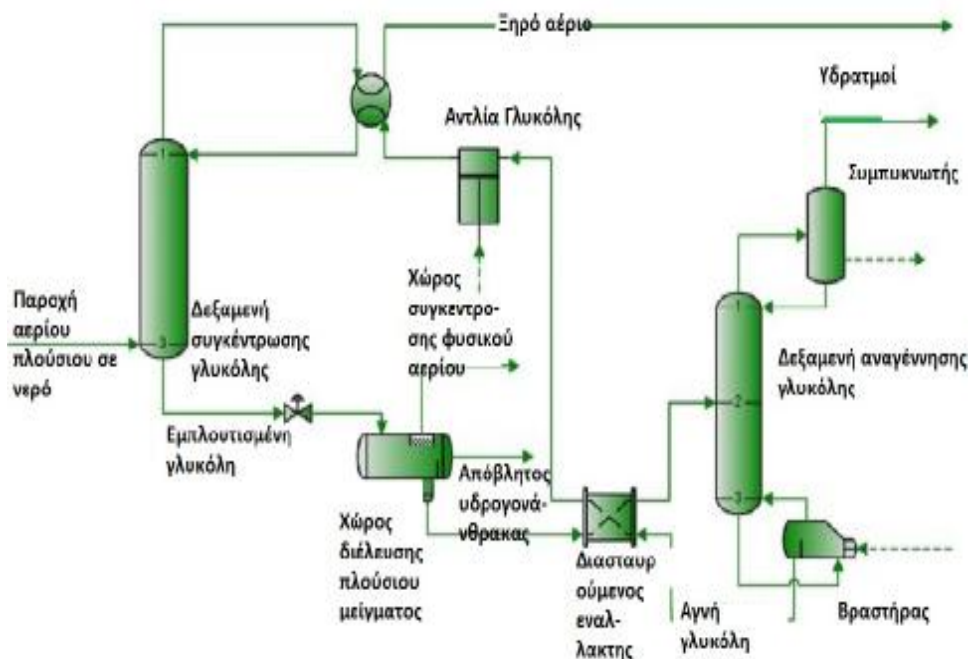
MEG® aiquil eniog ukol h® $HO - CH_2CH_2 - OH$ (par άγνωστο με νερό και αιquil άνιο)

$\left. \begin{array}{l} TREG® tetraaiquil eniog ukol h \\ PEG® poluaiquil eniog ukol h \end{array} \right\} H - (O - CH_2 - CH_2)_n - OH$

Από τις παραπάνω γλυκόλες περισσότερο χρησιμοποιείται η TEG στην βιομηχανία. Η διαδικασία είναι η εξής:

- Εισαγωγή της γλυκόλης στο πάνω μέρος της μονάδας απορρόφησης και εισαγωγή του φυσικού αερίου και του νερού από το κάτω μέρος της.
- Η γλυκόλη επιτυγχάνει την φυσική απορρόφηση του νερού και αποβάλλεται από το κάτω μέρος της μονάδας απορρόφησης.
- Το φυσικό αέριο αποξηραμένο πλέον διοχετεύεται εκτός της μονάδας από το πάνω μέρος.
- Η πλούσια σε νερό γλυκόλη, διοχετεύεται σε έναν βαρυτικό διαχωριστή όπου το νερό και πολύ μικρές υγρές ποσότητες υδρογονάνθρακα που ξέμειναν, επικάθονται στο κάτω μέρος του διαχωριστή, οι αέριες ποσότητες υδρογονάνθρακα που επίσης ξέμειναν ανεβαίνουν στο πάνω μέρος του διαχωριστή.
- Η αγνή πλέον γλυκόλη, διοχετεύεται σε έναν εναλλάκτη θερμότητας για περαιτέρω κάθαρση και τέλος εισέρχεται στην μονάδα αναγέννησης για ακόμα πιο αποτελεσματική κάθαρση.
- Τέλος κάνει την επανείσοδο της στην μονάδα απορρόφησης για επανάχρηση. (1.environment,28,29,30,31,32)

Glycol Dehydration Unit



Αφυδάτωση γλυκόλης(3.13)

*Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρω ότι οι υπόλοιποι μέθοδοι για την κάθαρση του φυσικού αερίου ασχολούνται με μια γκάμα ουσιών και όχι αποκλειστικά με μία. Για αυτόν τον λόγο από εδώ και πέρα αναφέρομαι σε μεθόδους που εκπληρώνουν τον εκάστοτε στόχο.

3.3.γ) Μονάδες PSA (Pressure Swing Adsorption) (33,34,35)

Η φιλοσοφία των μονάδων αυτών βασίζεται στη αγνοποίηση του φυσικού αερίου από πολλές ουσίες. Ουσιαστικά είναι διάφορα στέρεα υλικά που τοποθετούνται στην εγκατάσταση σε μορφή μιας παχιάς, μεγάλου εμβαδού πλάκας.

Σε συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας περιβάλλοντος το φυσικό αέριο εισέρχεται σε αυτήν την πλάκα και ανάλογα το υλικό που έχει τοποθετηθεί προσροφά και το αντίστοιχο ανεπιθύμητο στοιχείο από το φυσικό αέριο. Όταν πλέον προσροφήσει τα μέγιστα, γίνεται απότομη εναλλαγή της πίεσης και εξαπολύει πάλι στην ροή του φυσικού αερίου τα ανεπιθύμητα στοιχεία ξαναρχίζοντας ένας κύκλο, με ακριβώς την ίδια διαδικασία. Τα συνήθη υλικά που χρησιμοποιούνται είναι μοριακά κόσκινα και οι ζεόλιθοι.(33,34,35)

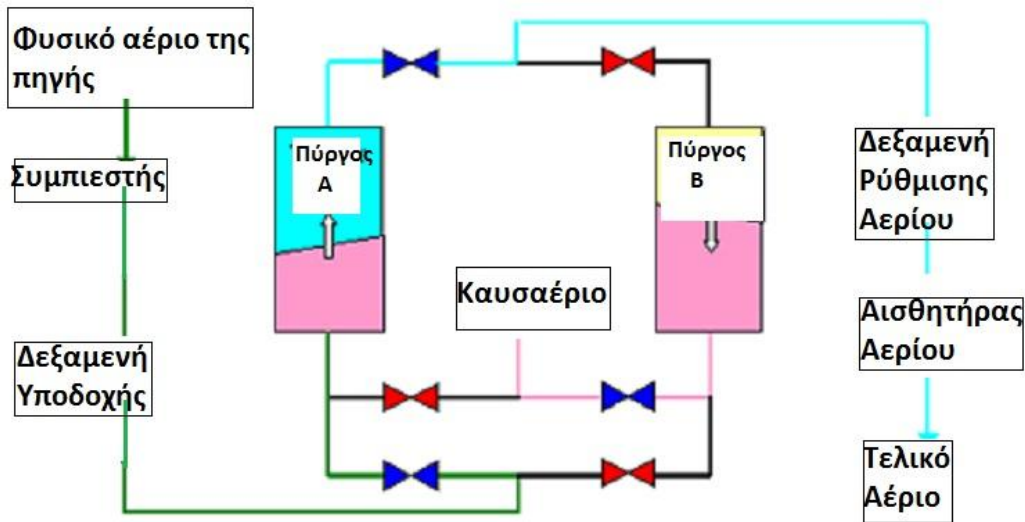


Fig.-2 Flow Diagram for PSA



Μονάδα PSA-> Τρόπος λειτουργίας(3.14). Εξωτερική απεικόνιση(3.15)

3.3.γ.1) Μοριακά κόσκινα(36,37)

Τα μοριακά κόσκινα, είναι ένα υλικό με πάρα πολύ μικρές οπές διαστάσεων υψηλότερης ακρίβειας. Οι οπές αυτές, επιτρέπουν μόνο σε συγκεκριμένα μόρια(μικρότερης διαμέτρου της διαμέτρου των οπών) την είσοδο, ενώ μόρια με μεγαλύτερη διάμετρο(μεγαλύτερης διαμέτρου της διαμέτρου των οπών) τα μπλοκάρουν. Κλασικά παραδείγματα μοριακών κοσκίνων για την αγνοποίηση του φυσικού αερίου είναι ο ενεργός άνθρακας, ο μοντμοριλλονίτης και ο πορώδης ύαλος. Η διάμετρος των μοριακών κοσκίνων μετριέται σε νανόμετρα($nm \rightarrow 10^{-9}m$) και σε Angstroms($1nm=10$ Angstroms).

3.3.γ.1.1) Ενεργός άνθρακας(36,37)

Ο ενεργός άνθρακας, είναι μια πορώδης μορφή άνθρακα και χρησιμοποιείται ως μέσον προσρόφησης και για μεθοδευμένες χημικές αντιδράσεις. Το βασικό του πλεονέκτημα, είναι ότι μια μικρή ποσότητα μάζας ενεργού άνθρακα, επενεργεί σε πολύ μεγάλη επιφάνεια. Ένα παράδειγμα που αποδεικνύει αυτό, είναι ότι η εντυπωσιακά μικρή ποσότητα ενεργού άνθρακα του 1 gr εκτείνεται σε επιφάνεια των $500 m^2$ με στόχο την προσρόφηση συγκεκριμένων στοιχείων του

φυσικού αερίου. Αυτή η εντυπωσιακή αναλογία, επιτυγχάνεται σαφώς μέσω της επεξεργασίας του ενεργού άνθρακα με συγκεκριμένες χημικές διαδικασίες.

Οι χρήσεις του ενεργού άνθρακα είναι πάρα πολλές (ιατρική, μεταλλουργία, κάθαρση υδάτων κ.α.). Στον τομέα της επεξεργασίας των υδρογονανθράκων έχει τις εξής εφαρμογές:

Αποθήκευση καυσίμων

Η αποθήκευση των καυσίμων και συγκεκριμένα του φυσικού αερίου και του αέριου υδρογόνου απαιτεί ιδιαίτερη μεταχείριση για λόγους ασφαλείας και διατήρηση της ύψιστης ποιότητας του αερίου για το χρονικό διάστημα της αποθήκευσης του. Σε αυτά τα δύο προαπαιτούμενα, η απάντηση βρίσκεται στον ενεργό άνθρακα.

Το πορώδες αυτό υλικό, λειτουργεί σαν σφουγγάρι σε ποικίλα είδη αέριων καυσίμων. Κάποια είδη άνθρακα επιτυγχάνουν δυνάμεις προσκόλλησης με τα στοιχεία του αερίου της τάξεως των 5-10Kj/mole. Το αέριο λοιπόν υπόκειται σε υψηλές θερμοκρασίες και απορροφάται από τον ενεργό άνθρακα με την παρουσία των δυνάμεων Van der Waals είτε για την καύση του, είτε στην περίπτωση του αέριου υδρογόνου, για να οδηγηθεί σε κελύφη καύσιμου υδρογόνου.

Το βασικό πλεονέκτημα του άνθρακα είναι ότι μπορεί να προσροφήσει σε συνθήκες χαμηλής πίεσης και σε μικρό όγκο το αέριο, σε σύγκριση με τις δεξαμενές συμπίεσης σε φορτηγά οχήματα που οι πιέσεις είναι πολύ υψηλές, κάτι που αυξάνει την επικινδυνότητα της διαδικασίας.

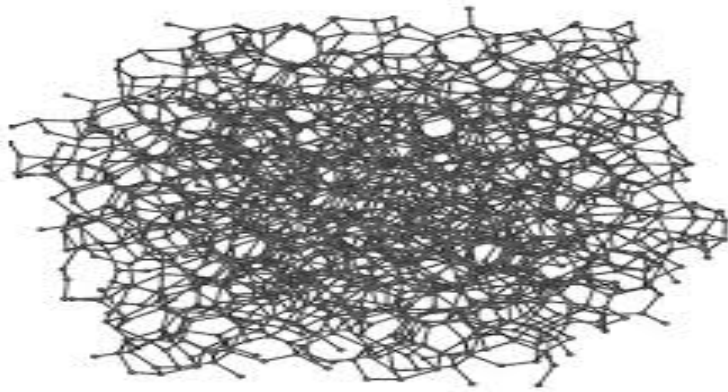
Κάθαρση Φυσικού αερίου

Τα φίλτρα ενεργού άνθρακα, χρησιμοποιούνται στην αφαίρεση αέριων υδρογονανθρακικών αποβλήτων και οσμών από το φυσικό αέριο. Τα ευρείας χρήσης συστήματα κάθαρσης, χρησιμοποιούν τον ενεργό άνθρακα στα φίλτρα 1^{ου} και 2^{ου} σταδίου. Ο ενεργός άνθρακας επίσης, παγιδεύει βλαβερά υδρογονανθρακικά αέρια εντός του μέχρι την στερεοποίησή τους και την έκλειψη της ραδιενεργής τους φύσης, ενώ επιτρέπει στο υπόλοιπο αέριο την προσπέλασή του.

Καθαρισμός υδραργύρου

Ο ενεργός άνθρακας, χρησιμεύει και στην αφαίρεση του υδραργύρου. Αφού συνενωθεί με ενώσεις θείου και ιωδίου, τροφοδοτείται στα πηγάδια εξόρυξης φυσικού αερίου. Εγχέεται το μείγμα άνθρακα στα πηγάδια εξόρυξης, διότι εκεί παρατηρείται η μεγαλύτερη συγκέντρωση του υδραργύρου.(36,37)





Ενεργός Άνθρακας (3.15,3.16)

3.3.γ.1.2) Πορώδης Ύαλος(40,43,44,45,46)

Η πορώδης ύαλος είναι γυαλί με πόρους της τάξεως των νανομέτρων και μικρομέτρων. Η πορώδης μορφή του προκύπτει με τους εξής τρόπους:

- Μετασταθή φάση διαχωρισμού σε βοριοπυριτικό γυαλί(είδος γυαλιού με διοξείδιο του πυριτίου και τριοξείδιο του βορίου, με συντελεστή θερμικής διαστολής πολύ μικρό, καθιστώντας το ανθεκτικό στα θερμικά σοκ) ακολουθούμενη από υγρό εκχυλίσεως της διαμορφωμένης φάσης του γυαλιού.
- Διαδικασία sol-gel(δημιουργία συμπαγών υλικών, από σύνθεση πολλών μικρών μορίων)
- Πυροσυσσώματωση σκόνης γυαλιού.

Στην τεχνολογία της επεξεργασίας του φυσικού αερίου, χρησιμοποιείται σαν μέσο για τον διαχωρισμό του αερίου μέσω της επιστήμης της χρωματογραφίας αερίων. Η χρωματογραφία αερίων είναι μια τεχνική διαχωρισμού που χρησιμοποιεί την ιδιότητα κάποιων στοιχείων του αερίου να είναι πιο διαλυτά από κάποια άλλα με αποτέλεσμα να προσροφώνται εντονότερα από την στατική φάση(γυαλί) και να διαχωρίζονται από τα υπόλοιπα που προσροφώνται δυσκολότερα.

Σαν αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η διαχωρισμένη έξοδος των στοιχείων του αερίου από τον διαχωριστή πορώδους υάλου. Τα συνήθη αέρια που υπόκεινται σε αυτή την διαδικασία είναι το αζωτούχο αέριο(N_2), το υδρογόνο(H_2), το αργό(Ar) και το ήλιο(He). (40,43,44,45,46)

3.3.γ.1.3) Μοντμοριλλονίτης(42,47,48,49)

Ο μοντμοριλλονίτης είναι ένα πολύ ελαφρύ φυλλοπυριτικό ορυκτό, που μικροσκοπικά έχει την μορφή κρυστάλλων και μακροσκοπικά έχει την μορφή πηλού. Ανήκει στην ομάδα των σμηκτιτών. Οι σμηκτίτες ανήκουν στην κατηγορία του ορυκτού πηλού που είναι ένυδρο φυλλοπυριτικό αλουμίνιο σε συνδυασμό πολλές φορές με σίδηρο, μαγνήσιο, αλκαλικές γαίες κ.α.

Τα μόρια του μοντμοριλλονίτη λοιπόν, έχουν την δομή 2/1, δηλαδή υπάρχουν δύο τετράεδρα φύλλα που εγκλείουν ένα οχτάεδρο φύλλο. Τα μόρια του έχουν συνολικό σχηματισμό πιάτου με μέση διάμετρο 1μm. Χημικά έχει την ταυτότητα $(Na,Ca)_{0.33}(Al,Mg)_2(Si_4O_{10})(OH)_2 \cdot nH_2O$. Το κάλιο, το σίδηρο και άλλα κατιόντα, παρατηρούνται στην σύνθεσή του, αλλά εξαρτάται το ποσοστό τους από την προέλευση του μοντμοριλλονίτη.

Ο μοντμοριλλονίτης εντοπίζεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις σε υπόγεια και υπέργεια σπήλαια. Χρησιμοποιείται στην εξόρυξη και επεξεργασία των υδρογονανθράκων. Συγκεκριμένα οι χρήσεις του είναι οι εξής:

- Στην εξόρυξη πετρελαίου χρησιμοποιείται ο μοντμοριλλονίτης σαν μέσο υγροποίησης των σκληρών πετρωμάτων λάσπης στα σημεία εξόρυξης, ώστε να μην αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες κατά την διαδικασία εξόρυξης.
- Χρησιμοποιείται σαν στέρεο πρόσθετο στην εξόρυξη υδρογονανθράκων, για να συγκρατεί το γεμάτο υδρογονανθρακικά στοιχεία νερό σε στέρεες κοιλότητες που έχουν την μορφή πηλινών φραγμάτων και αναχωμάτων, για να αποτραπεί η διαρροή των ρευστών ουσιών σε σημεία που μπορεί να προκαλέσουν εκτεταμένη και επικίνδυνη μόλυνση.
- Χρησιμοποιείται και για την αφαίρεση υγρασίας(νερό) από το φυσικό αέριο, σαν μέσο προσρόφησης. (42,47,48,49)



Μοντμοριλλονίτης(3.17,3.18)

3.3.γ.2) Ζεόλιθος(41,50,51)

Ο ζεόλιθος, είναι ένα ορυκτό αλουμινοπυριτικού άλατος. Χρησιμοποιείται σαν καταλύτης και σαν μέσο προσρόφησης. Οι ζεόλιθοι έχουν παρουσία στο περιβάλλον, παρόλα αυτά κατασκευάζονται και στα εργαστήρια σε μεγάλες ποσότητες.

Έχουν πορώδη δομή που σαν αποτέλεσμα έχει την ύπαρξη διαφόρων κατιόντων όπως Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} . Αυτά τα θετικά ιόντα, έχουν ασθενείς δεσμούς μεταξύ τους και σαν αποτέλεσμα αυτού, είναι η ανταλλαγή φορτίων στην περίπτωση της δημιουργίας κάποιου διαλύματος με άλλα στοιχεία. Κάποια είδη ζεόλιθων είναι το ανάλκιμο, ο χαβαζίτης, ο κλινοπτιλόλιθος, ο νατρολίτης κ.α. Μια τυπική χημική δομή του νατρολίτη είναι $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Οι χρήσεις τους, στην διαδικασία αγνοποίησης των υδρογονανθρακικών αερίων είναι οι εξής:

- Αφαίρεση του υδρογόνου(H_2), του διοξειδίου του άνθρακα(CO_2) και του υδρόθειου(H_2S), από το φυσικό αέριο. Ακόμα συμβάλουν στην αφαίρεση ευγενών αερίων, N_2 , O_2 , φρέον και φορμαλδεΐδες από το φυσικό αέριο.
- Χρησιμεύει και στην βιομηχανία της πετροχημείας ως καταλύτης στην διάσπαση των βαρέων υδρογονανθράκων σε απλούστερους. Για παράδειγμα, όταν ο ζεόλιθος έρχεται σε επαφή με μόρια του υδρογόνου, λόγω των χαλαρών δεσμών των κατιόντων του ανταλλάζει ιόντα με το υδρογόνο και παίρνει την μορφή ενός όξινου στερεής φάσης υλικό που μπορεί να εγκλείσει διάφορες καταλυτικές αντιδράσεις εντός του.
- ο γερμανικός όμιλος Fraunhofer e.V. ανακοίνωσε ότι έχει αναπτύξει έναν ζεόλιθο για χρήση στη βιομηχανία του βιοαερίου, με στόχο την μακροπρόθεσμη αποθήκευσή του σε πυκνότητες τετραπλάσιες του νερού. Έτσι, το πρόβλημα του χώρου λύθηκε με τον ζεόλιθο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και μικρότερες μονάδες για την αποθήκευση βιοαερίου(41,50,51)



Ζεόλιθος(3.19)

Τέλος, κάποιες άλλες χρήσεις των PSA είναι:

- Αφαίρεση διοξειδίου του άνθρακα, με στόχο την υψηλή συγκέντρωση H_2 σε διυλιστήρια υδρογονανθράκων και μονάδες παραγωγής αμμωνίας(NH_3), όπως και για την αποτροπή εμφάνισης του αερίου που επιβαρύνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου(greenhouse gas).
- Αφαίρεση υδρόθειου από ροές φυσικού αερίου με στόχο την υψηλότερη συγκέντρωση υδρογόνου
- Αφαίρεση διοξειδίου του άνθρακα από το βιοαέριο για αύξηση της συγκέντρωσης του μεθανίου με στόχο την αύξηση την ποιότητας του.
- Σε εγκαταστάσεις προπάνιου(C_3H_6 ,αέριος υδρογονάνθρακας) για την αφυδρογόνωση του. Ουσιαστικά προσροφάται το αιθάνιο και το μεθάνιο αντί του υδρογόνου με στόχο να προκύψει πιο αγνό προπάνιο.
- Σε εγκαταστάσεις γεννητριών αζώτου με στόχο την δημιουργία φυσικού αερίου πλούσιου σε άζωτο.
- Σε εγκαταστάσεις συγκέντρωσης οξυγόνου, για δημιουργία ενισχυμένου σε οξυγόνο αέριο.(33,34,35)

3.3.5)Απομάκρυνση αζώτου(38,39,52,53,65)

Η απομάκρυνση αζώτου από το φυσικό αέριο, γίνεται πρώτον για να αγνοποιηθεί το φυσικό αέριο. Όμως το άζωτο που αφαιρείται δεν πάει χαμένο αντιθέτως οδηγεί στον δεύτερο λόγο αφαίρεσης του, που είναι μια ενισχυμένης μορφής φυσικού αερίου με άζωτο. Υπάρχουν πολλοί τρόποι αφαίρεσης του αζώτου.

3.3.5.1)Κρυογενικός διαχωρισμός(Μονάδες απόρριψης αζώτου->NRU)

Χρησιμοποιείται για μεγάλες παροχές φυσικού αερίου. Είναι μια διαδικασία απόσταξης που χρησιμοποιείται με αφορμή το γεγονός ότι το μεθάνιο(CH_4) έχει διαφορετικό σημείο υγροποίησης από το άζωτο(N_2). Το μεν μεθάνιο έχει σημείο υγροποίησης τους $-161.1^{\circ}C$, ενώ το άζωτο έχει σημείο υγροποίησης τους $-195.79^{\circ}C$. Συγκεκριμένα υπάρχει ένα σύστημα συμπίεσης και ένα σύστημα απόσταξης σε μορφή στηλών, που ακαριαία μειώνει την θερμοκρασία σε βαθμό τέτοιο ώστε το μεθάνιο να υγροποιηθεί αλλά το άζωτο να παραμείνει αέριο.

3.3.5.2)Εναλλάκτες θερμότητας

Οι εναλλάκτες θερμότητας που τους έχουμε ξανασυναντήσει στον διαχωρισμό των υγρών από των αέριων υδρογονανθρακικών μειγμάτων καθώς και στις μεθόδους αφυδάτωσης και αφαίρεσης του όξινου αερίου, χρησιμεύουν και στην απομάκρυνση του αζώτου, αλλά για μικρότερες παροχές.

Ο στόχος των εναλλακτών θερμότητας είναι η εναλλαγή θερμότητας δύο ή περισσότερων ρευστών. Τα ρευστά μπορεί να διαχωρίζονται μεταξύ τους ,μπορεί και όχι. Εξαρτάται από τον σχεδιασμό του εναλλάκτη και από τα ρευστά που τοποθετούμε εντός του.

3.3.δ.3 Μονάδες PSA

Οι μονάδες αυτές, όπως ανέφερα και πριν, χρησιμεύουν και για την αφαίρεση αζώτου, με την χρήση προσροφητικών μέσων που παγιδεύουν το μεθάνιο και αφήνουν το άζωτο να διαπεράσει.(38,39,52,53)

3.3.ε) Ανάκτηση υδρογονανθράκων (56, 57, 58)

Η ανάκτηση των υδρογονανθράκων, γίνεται με στόχο την συγκέντρωση συγκεκριμένων, πιο βαρέων από το φυσικό αέριο υδρογονανθράκων ώστε να μετεπεξεργαστούν και πωληθούν ως ένα συγκεκριμένο προϊόν.

*Σημείο δρόσου/Κορεσμός

Το σημείο δρόσου, είναι ο τρόπος μέτρησης της ατμοσφαιρικής υγρασίας. Όσον αφορά το φυσικό αέριο, είναι η θερμοκρασία εκείνη που πρέπει να παγώσει για να φτάσει στο σημείο κορεσμού του.

Κορεσμός είναι η κατάσταση οποιουδήποτε μείγματος, στην οποία οι διαλυμένες ουσίες εντός του κύριου διαλύτη θα έχουν διαλυθεί όσο περισσότερο γίνεται, ενώ οι υπόλοιπες ποσότητες των διαλυμένων ουσιών που αδυνατούν να διαλυθούν θα συγκεντρωθούν στην επιφάνεια του μείγματος σαν μια ξεχωριστή φάση. Έτσι γίνεται και με το μείγμα ελαφριών υδρογονανθράκων δλδ το ακατέργαστο φυσικό αέριο.(56,57,58)

*NGL/ LPG (55)

Το ακατέργαστο φυσικό αέριο περιέχει κάποιους πιο βαρύς υδρογονάνθρακες που είναι το αιθάνιο(C_2H_6), προπάνιο(C_3H_8), βουτάνιο(C_4H_{10}) και άλλες μικροποσότητες υδρογονανθράκων. Όλοι αυτοί οι υδρογονάνθρακες είναι μεν ελαφριόί σε σχέση με το πετρέλαιο θέρμανσης, πετρέλαιο κίνησης κ.α, αλλά είναι βαρύς σε σχέση με το φυσικό αέριο. Το NGL(Natural gas liquids), είναι όλοι αυτοί οι βαρύτεροι του φυσικού αερίου υδρογονάνθρακες.

Το NGL, πρέπει να ανακτηθεί από το υπόλοιπο φυσικό αέριο μέσω της διαδικασίας του κορεσμού για να δημιουργηθεί το LPG(Liquefied Petroleum Gas) με την διαδικασία κλασμάτωσης. Το LPG τέλος, αποτελείται από προπάνιο, βουτάνιο και ενέχει μικρές ποσότητες προπυλένιου και βουτυλένιου. Είναι εύφλεκτο, μη τοξικό και άοσμο. Για τον λόγο της έλλειψης μυρωδιάς, προσθέτουν οσμηρά αέρια, όπως αιθανιοθειόλη με στόχο την αντίληψη οποιασδήποτε διαρροής έγκαιρα, πριν να είναι πολύ αργά.(55)

Μέθοδοι ανάκτησης του NGL από το φυσικό αέριο

3.3.ε.1) Συνεπαφή-Συμπύεση(39,55)

Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται για την επανάκτηση του NGL από το ακατέργαστο πετρέλαιο. Σπάνια χρησιμοποιείται για την επανάκτηση του από το φυσικό αέριο. Ουσιαστικά υπόκεινται σε συμπίεση, κλάσματα του υγρού πετρελαίου που είναι στα υψηλά επίπεδα του πύργου κλασμάτωσης με τους υδρογονάνθρακες που είναι ακόμα ψηλότερα στον πύργο κλασμάτωσης(μεθάνιο, αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο).

Έπειτα, οδηγείται το συμπιεσμένο μείγμα στον διαχωριστή. Η υγρή φάση διοχετεύεται στον απομεθανιωτή(είδος στήλης αποστάξεως) όπου προκύπτει το κυρίως LPG, ενώ η αέρια φάση που ενέχει κάποια κλάσματα του LPG χρησιμοποιείται για καύσιμο αέριο. Το ποσοστό ανάκτησης του LPG είναι 75%.

Η διαδικασία της απόσταξης, συντελείται με τον διαχωρισμό ενός φαινομενικά υγρού μείγματος, σε δύο φάσεις, της υγρής και της αέριας. Αυτό γίνεται με μεθοδευμένη εξάτμιση και συμπίεση για να προκύψουν οι δύο φάσεις. Η απόσταξη μπορεί να επιτύχει πλήρη ή μερικό διαχωρισμό ενός μείγματος. Και στις δύο περιπτώσεις, εκμεταλλευόμαστε το γεγονός της διαφορετικής τάσης εξάτμισης του κάθε στοιχείου ή ομάδα στοιχείων του μείγματος.(39,55)

3.3.ε.2) Ψύξη(5,54,55)

Η τεχνική αυτή, χρησιμοποιείται ευρέως για ανάκτηση του NGL από το φυσικό αέριο. Η φιλοσοφία της τεχνικής αυτής, είναι η ψύξη των υδρογονανθρακικών ροών, με στόχο να διαχωριστούν τα κλάσματα από τα οποία θα εκμαιεύσουμε το LPG. Υπάρχουν δύο διαφορετικές εκδοχές της μεθόδου αυτής:

3.3.ε.2.1) Διαχωρισμός ελαττωμένης θερμοκρασίας

Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται με την χρήση διαχωριστών. Το χαρακτηριστικό γνώρισμα των διαχωριστών αυτών, είναι ότι παραλαμβάνουν ρευστό υδρογονάνθρακα από τα πηγάδια εξόρυξης με πολύ υψηλές πιέσεις. Με την χρήση βαλβίδων αποσυμπίεσης και στραγγαλιστών η πίεση πέφτει και παράλληλα μειώνεται και η θερμοκρασία. Με την μέθοδο αυτή, τα αερολύματα παγιδεύονται χωρίς να έχουν τρόπο διαφυγής σε αέρια μορφή. Από την άλλη όμως πρέπει να σταθεροποιηθεί η κατάσταση των υγρών υδρογονανθράκων για να μην υπάρξει το φαινόμενο RPT(rapid phase transition).(5,54,55)

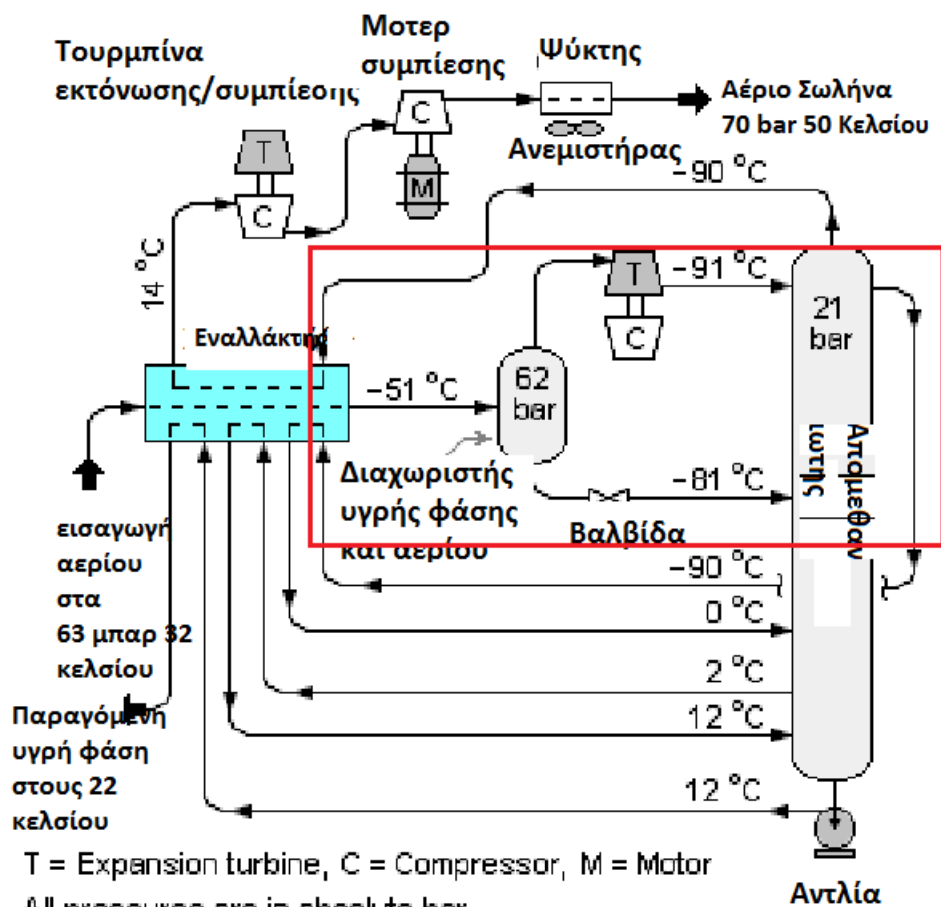
3.3.ε.2.2) Εγκαταστάσεις διαστολής(5,54,55)

Οι εγκαταστάσεις διαστολής, αποτελούνται από στροβιλοδιαστολές. Ο στροβιλοδιαστολέας είναι ένας φυγοκεντρικός ή αξονικός στροβιλοκινητήρας, όπου αέριο υψηλής πίεσης εκτονώνεται μέσω της κίνησης που του δίνεται από τον στροβιλοκινητήρα, ώστε να παραχθεί ενέργεια που χρησιμοποιείται αργότερα σε μονάδες συμπίεσης. Η θερμοκρασία εξόδου του αερίου από τον στροβιλοδιαστολέα είναι στους -150°C . Πολλές φορές παρατηρείται υγροποίηση τμημάτων του φυσικού αερίου μετά την διαδικασία εκτόνωσης.

Χρησιμοποιούνται για ψύξη σε βιομηχανικές διεργασίες, όπως στην εκμαίευση του NGL από το φυσικό αέριο, την υγροποίηση διαφόρων αερίων όπως Οξυγόνο, Υδρογόνο, Ήλιο, Αργό, Κρυπτό.

Ο στροβιλοδιαστολέας είναι συνδεδεμένος με έναν εναλλάκτη θερμότητας, έναν διαχωριστή και μια στήλη απόσταξης(απομεθανιωτής). Το φυσικό αέριο εισέρχεται σε όλο το σύστημα και κάνει μια επαναλαμβανόμενη κυκλική διαδρομή για όσο χρόνο χρειαστεί. Πρώτα μπαίνει στον εναλλάκτη θερμότητας, όπου ψύχεται στους -51°C με αποτέλεσμα να επέλθει ένας πρώτος κορεσμός του φυσικού αερίου από όπου έπειτα οδηγείται στον διαχωριστή, όπου γίνεται ένας διαχωρισμός της υγρής από την αέρια φάση.

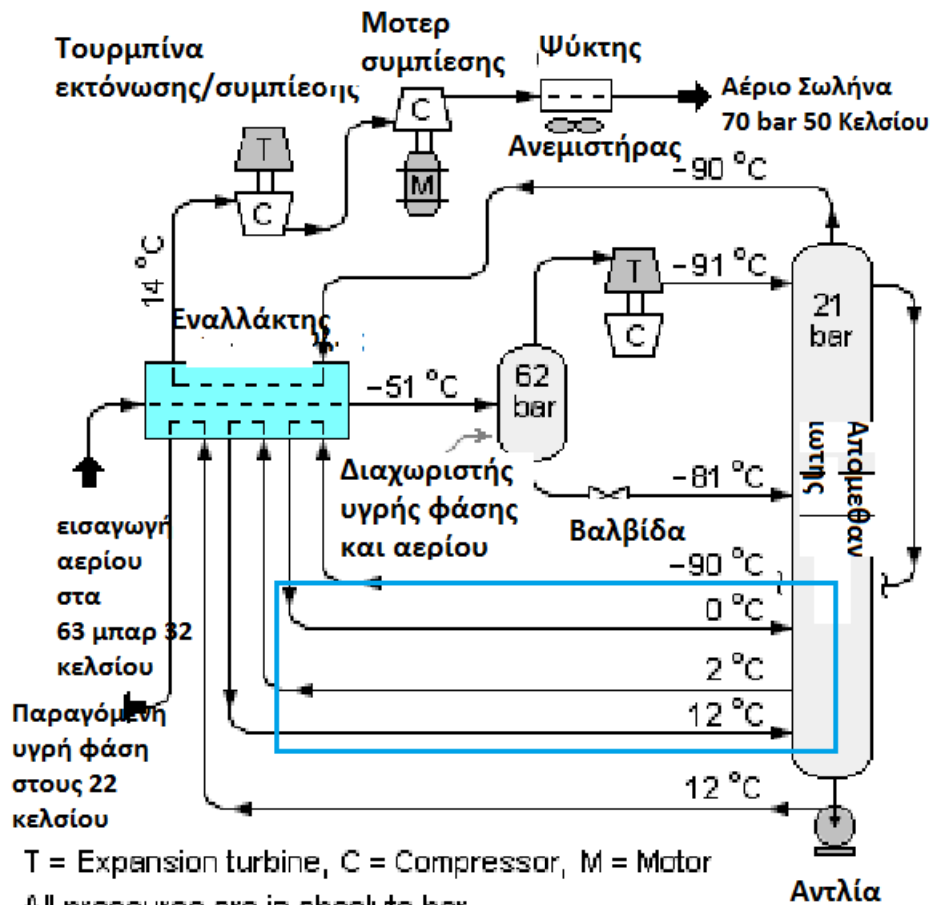
Η υγρή φάση υπόκειται σε μια ταχεία εξάτμιση μέσω μεθόδων αποσυμπίεσης(ισενθαλπικές μέθοδοι) που επιφέρουν πτώση της πίεσης από τα 6.2 MP στα 2.1MP, η οποία προσφέρει και ελάττωση της θερμοκρασίας από τους -51°C στους -81°C . Η αέρια φάση περνά και αυτή από την διαδικασία αποσυμπίεσης μέσω ισεντροπικών μεθόδων και πέφτει η πίεση από τα 6.2 MP στα 2.1MP και η θερμοκρασία από τους -51°C στους -91°C . Τώρα οι δύο φάσεις εισέρχονται στον απομεθανιωτή(Κόκκινο πλαίσιο).



The one combined expansion turbine and compressor is shown twice to depict the two functions that it serves.

3.19.α

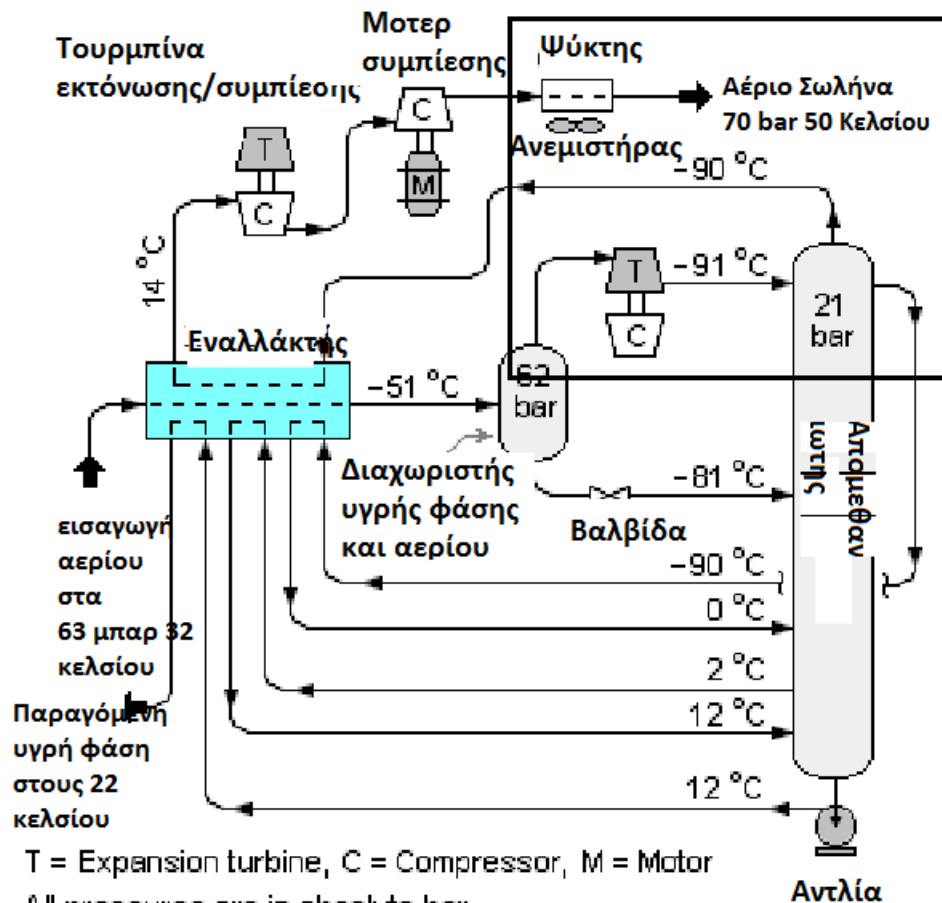
Η υγρή φάση αφού υποστεί επιπλέον απόσταξη ξαναγυρνάει στον εναλλάκτη θερμότητας, (εκτός από τους υδρατμούς που ανεβαίνουν στα ανώτερα διαμερίσματα του απομεθανιωτή) και ανεβαίνει η θερμοκρασία της στους 0°C . Η αύξηση αυτή όμως της θερμοκρασίας στην υγρή φάση, προσφέρει θέρμανση στο φυσικό αέριο που συνεχίζει να εισέρχεται στον εναλλάκτη θερμότητας. Άλλη υγρή φάση εντός του απομεθανιωτή εξέρχεται αυτού, στους 2°C και κατευθύνεται στον εναλλάκτη που θα υποστεί και άλλη αύξηση της θερμοκρασίας της και θα γυρίσει πίσω στον απομεθανιωτή στους 12°C ενώ παράλληλα θα θερμάνει και το αέριο που βρίσκεται εντός του εναλλάκτη(Μπλε Πλαίσιο).



3.19.β

Τέλος θα υποστεί μια τελευταία απόσταξη και θα εξέλθει από τον απομεθανωτή στους 12°C, θα κατευθυνθεί για τελευταία φορά στον εναλλάκτη που θα θερμανθεί στους 22°C και θα προκύψει το NGL.

Όσο γίνεται αυτή η διαδικασία με την υγρή φάση, ο απομεθανωτής συνεχίζει να αποσπάει με αποτέλεσμα εκτός της αέριας φάσης που έχει ήδη υπεισέλθει σε αυτόν προκύπτουν και άλλοι υδρατμοί από την απόσταξη. Όλοι αυτοί οι υδρατμοί θα οδηγηθούν στον εναλλάκτη όπου από -90°C θα φτάσουν τους 14°C και έπειτα θα εισέλθουν στον στροβιλοδιαστολέα για εκτόνωση και όποιοι εξ' αυτών υγροποιηθούν, γυρνάνε πίσω στον εναλλάκτη για να επαναεισέλθουν στον απομεθανωτή. Όποιοι δεν υγροποιηθούν συμπιέζονται μέσω συμπιεστών και θερμαίνονται για να φτάσουν την θερμοκρασία των 50°C και πίεση των 70bar και αποτελούν το φυσικό αέριο ποιότητας σωλήνα. (Μαύρο Πλαίσιο) (5,54,55)



3.19.γ

3.3.ε.3) Απορρόφηση λεπτόρευστου ελαίου(5,54,55)

Η συγκεκριμένη διαδικασία είναι από τις πρώτες που χρησιμοποιήθηκαν στην βιομηχανία της εξόρυξης των υδρογονανθράκων. Ένα λεπτόρευστο έλαιο(κηροζίνη), κάνει μια καθοδική διαδρομή στην εγκατάσταση απορρόφησης. Καθώς κινείται εντός της, απορροφά τους ελαφρούς υγρούς υδρογονάνθρακες(προπάνιο, βουτάνιο κ.α.) και τους αφαιρεί από το φυσικό αέριο.

Το ακατέργαστο αέριο που βρίσκεται εντός της εγκατάστασης ψύχεται από έναν εναλλάκτη θερμότητας πριν εισέλθει στον πύργο απορρόφησης(Μπλε πλαίσιο). Το λεπτόρευστο έλαιο του απορροφητή μετακυλιέται προς τα κατώτερα διαμερίσματα του απορροφητή, ενώ το ψυχρό πλέον ακατέργαστο αέριο ακολουθεί ανοδική διαδρομή στον απορροφητή(Κόκκινο Πλαίσιο).

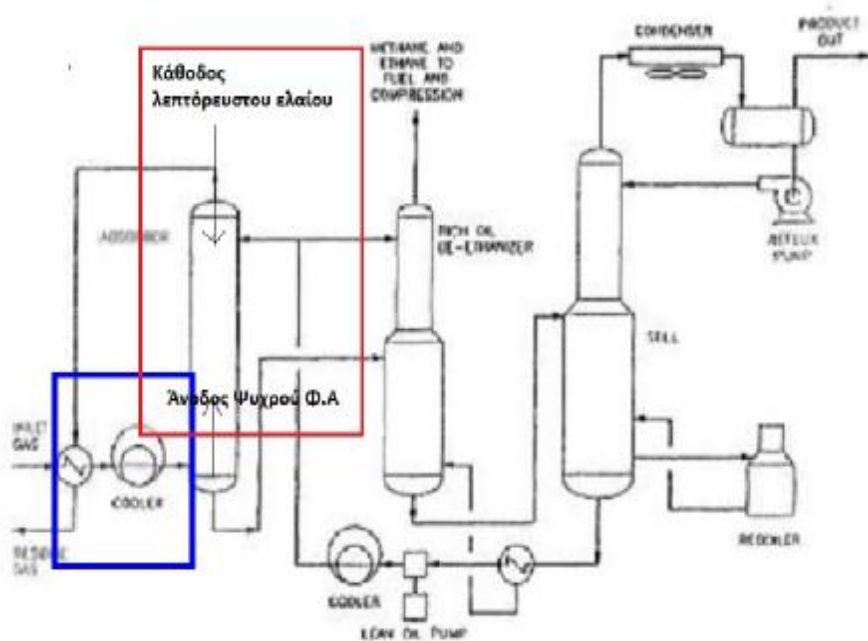


Figure 9-1. Simplified flow diagram of an absorption plant.

3.20.α

Όταν το αέριο φτάσει στην κορυφή του απορροφητή πλέον έχει απαλλαγεί από τους ελαφρούς υγρούς υδρογονάνθρακες(Κίτρινο Πλαίσιο), ενώ από το κάτω μέρος εξέρχεται το λεπτόρευστο έλαιο μαζί με τους προαναφερθέντες υδρογονάνθρακες(Καφέ Πλαίσιο).

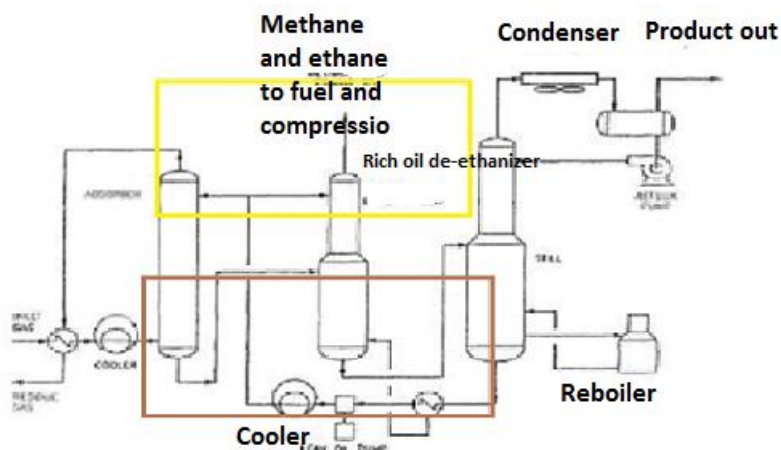


Figure 9-1. Simplified flow diagram of an absorption plant.

3.20.β

Το ποσοστό ανάκτησης του LNG με αυτή την μέθοδο είναι 98%.(5,54,55)

3.3.ε.4)Μονάδες προσρόφησης(PSA)(55,60)

Η μονάδες προσρόφησης χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία του φυσικού αερίου, για να προσκολλάται στην επιφάνεια πάνω από τα μέσα προσρόφησης(ενεργός άνθρακας κ.α.), το φυσικό αέριο και εντός του προσροφητικού μέσου να παγιδεύονται οι υδρογονάνθρακες που αποτελούν το NGL. Τις μονάδες προσρόφησης τις έχουμε δει και προηγούμενα εκτενέστερα.

Πρέπει να ξεκαθαρίσουμε πως η προσρόφηση διαφέρει από την απορρόφηση, αφού στην δεύτερη προκύπτει αλληλοεισχώρηση του ενός υλικού με το άλλο(απορρόφηση λεπτόρευστου ελαίου). Υπάρχουν δύο κατηγορίες προσρόφησης. Η φυσιρόφηση και η χημιρόφηση.

Η φυσιρόφηση, είναι μια φυσική διαδικασία που συντελείται κάτω από τους 200⁰C. Το προσροφόμενο στοιχείο προσροφάται λόγω των μοριακών αντιδράσεων μεταξύ του μέσου προσρόφησης και του προσροφόμενου στοιχείου. Οι ενεργειακή δεσμοί που αναπτύσσονται από την διαδικασία είναι της τάξης των 5-10 KJ/mole.

Η χημιρόφηση, είναι μια χημική διαδικασία που τα δύο υλικά σχηματίζουν χημικούς δεσμούς. Αυτό συμβαίνει λόγω της χημικής σύστασης των δύο υλικών που έρχονται σε επαφή. Οι ενεργειακοί δεσμοί που αναπτύσσονται ποικίλουν από 15-40 KJ/mole έως 50 KJ/mole.(55,60)

3.3.στ)Κλασμάτωση του LNG(55,61)

Αφού έχουμε πλέον ξεχωρίσει τα στοιχεία εκείνα που θα μας δώσουν το LNG, πλέον περνάμε στην διαδικασία της κλασμάτωσης που συντελείται στις εγκαταστάσεις κλασμάτωσης. Οι εγκαταστάσεις αυτές έχουν τρεις πύργους. Τον απαιθανιωτή, τον αποπροπανιωτή και τον απόβουτανιωτή.

3.3.στ.1)Απαιθανιωτής

Ο πύργος είναι σε άμεση σύνδεση με έναν εναλλάκτη θερμότητας. Το NGL τροφοδοτείται από το πάνω μέρος του πύργου και εν συνεχεία διοχετεύεται στον εναλλάκτη όπου το ψύχει. Αυτή η κυκλική διαδικασία συνεχίζεται για όσο είναι απαραίτητο. Η πίεση λειτουργείας του απαιθανιωτή είναι 390 Lb/in²(2.7 MPa).

Συγκεκριμένα ένας βραστήρας στον πυθμένα του πύργου διατηρεί την θερμοκρασία σταθερή και οι υδρατμοί του NGL είναι το αιθάνιο που ανεβαίνει στα άνω διαμερίσματα και διοχετεύεται στον εναλλάκτη όπου ψυχόμενο συμπυκνώνεται και η υγρή φάση ξανά μπαίνει στον απαιθανιωτή για να επαναληφθεί αυτή η διαδικασία. Στον εναλλάκτη υπάρχει προπάνιο στους -6.7⁰C που χρησιμεύει για την συμπύκνωση των υδρατμών. Μετά από επανάληψη της διαδικασίας αυτής, στο πάνω μέρος του πύργου υπάρχει το αιθάνιο που διοχετεύεται εκτός του πύργου και κάτω έχει παραμείνει το υπόλοιπο NGL που θα διοχετευθεί στον αποπροπανιωτή σε πίεση 290 Lb/in²(2 MPa).

3.3.στ.2)Αποπροπανιωτής

Η πίεση που επικρατεί στον αποπροπανιωτή είναι μειωμένη στα 2 MPa. Το προϊόν στα άνωθεν τμήματα του πύργου είναι πλούσιο προπάνιο. Η μέθοδος είναι ακριβώς η ίδια, η διαφορά είναι ότι στον εναλλάκτη θερμότητας το μέσο ψύξης είναι το νερό. Το προπάνιο εξέρχεται άνωθεν του πύργου και το υπόλοιπο NGL διοχετεύεται στον αποβουτανιωτή σε πίεση μειωμένη στα 110 Lb/in²(0.76 MPa).

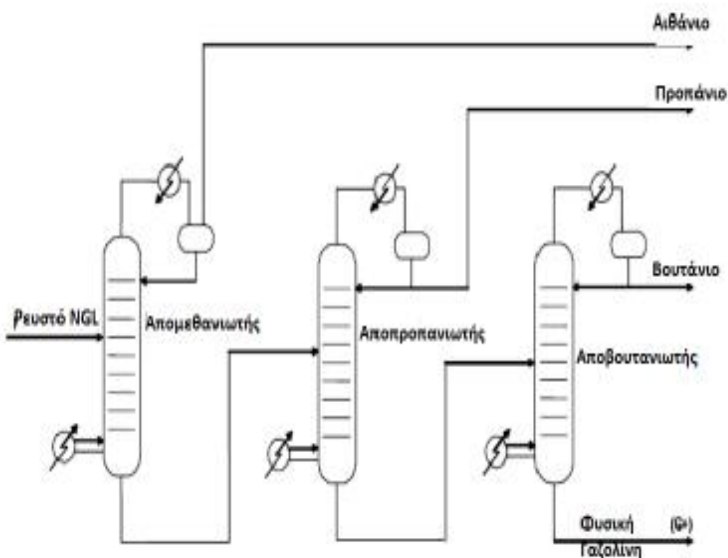
3.3.στ.3)Αποβουτανιωτής

Ακολουθείται ακριβώς η ίδια διαδικασία. Το άνωθεν προϊόν είναι βουτάνιο και το κάτωθεν είναι φυσική gasoline. Παρακάτω παραθέτω σε πίνακα την άνωθεν διαδικασία:

Type of fractionator	Feed	Top product	Bottom product
Demethanizer	C1/C2	Methane	Ethane
Deethanizer	LPG	Ethane	Propane plus
Depropanizer	Deethanizer bottoms	Propane	Butanes plus
Debutanizer	Depropanizer bottoms	Butanes	Natural gasoline(pentanes plus)
Deisobutanizer	Debutanizer top	Isobutane	Normal butane

3.21

(55,61)



3.22

3.3.z) Μονάδες γλύκανσης(62,63,64)

Το προπάνιο και το βουτάνιο που προέκυψαν από την κλασμάτωση του NGL, περιέχει κάποιες ουσίες που πρέπει να αφαιρεθούν για λόγους προδιαγραφών του τελικού προϊόντος. Οι ουσίες αυτές είναι τα υπολείμματα νερού, το υδρόθειο, διοξείδιο του άνθρακα και άλλες ενώσεις θείου.

Παρά λοιπόν το γεγονός, ότι το ακατέργαστο φυσικό αέριο έχει είδη υποστεί επεξεργασία για την αφαίρεση αυτών των ουσιών πιο πριν στην διαδικασία κάθαρσής του, υπάρχουν υπολείμματα αυτών ακόμα. Οι κύριοι μέθοδοι για την αφαίρεσή τους είναι η επεξεργασία με μοριακά κόσκινα, επεξεργασία με σουλφινόλες και με την μέθοδο οξειδωσης μερκαπτανής. Οι δύο πρώτες μέθοδοι έχουν αναλυθεί ήδη νωρίτερα.

Η μέθοδος οξειδωσης μερκαπτανής είναι μια καταλυτική χημική διαδικασία που έχει αναπτυχθεί από τον UOP(Universal Oil Products->πολυεθνική εταιρία που αναπτύσσει και μεταλαμπαδεύει τεχνολογίες για όλες τις βιομηχανίες που περιτριγυρίζουν την παραγωγή και εμπορία πετρελαίου) για την αφαίρεση μερκαπτανών από το LPG κ.α.

Η συγκεκριμένη μέθοδος απαιτεί αλκαλικό περιβάλλον που παρέχεται με την ύπαρξη υδατικών διαλυμάτων υδροξειδίου του νατρίου(NaOH) που είναι μια δυνατή βάση που λέγεται καυστικό. Η αλκαλικότητα σε άλλες περιπτώσεις παρέχεται με την αμμωνία που είναι ασθενής βάση.

Ο καταλύτης σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι ένα υδροδιαλυτό υγρό και σε άλλες περιπτώσεις εκμαιεύεται από τους κόκκους άνθρακα. Τα είδη των μερκαπτανών που αφαιρούνται είναι:

Methanethiol - CH₃SH [m-mercaptan]

Ethanethiol - C₂H₅SH [e- mercaptan]

1-Propanethiol - C₃H₇SH [n-P mercaptan]

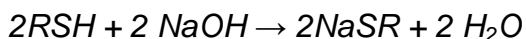
2-Propanethiol - CH₃CH (SH) CH₃ [2C3 mercaptan]

Butanethiol - C₄H₉SH [n-butyl mercaptan]

Tert - Butyl mercaptan – C (CH₃)₃SH [t-butyl mercaptan]

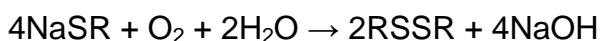
Pentanethiol - C₅H₁₁SH [pentyl mercaptan]

Η διαδικασία αφαίρεσης των μερκαπτανών ενέχει δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο το LPG διοχετεύεται σε ένα κυλινδρικό κέλυφος μαζί με το καυστικό και γίνεται μια αντίδραση που εκμαιεύει τις μερκαπτανές από το LNG. Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα έχει την εξής χημική διατύπωση:



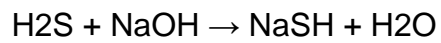
Στην παραπάνω αντίδραση το RSH είναι οι μερκαπτανές, ενώ το R αντιπροσωπεύει την οργανική ομάδα όπως μεθύλιο, αιθύλιο, πρόπυλο κ.α. Παράδειγμα η αιθύλια μερκαπτανή (αιθανιοθιόλη) έχει την φόρμουλα C₂H₅SH.

Στο δεύτερο στάδιο, υπάρχει η μονάδα αναγέννησης, όπου θερμαίνεται και οξειδώνεται το καυστικό διάλυμα που φεύγει από το κέλυφος με αποτέλεσμα η μερκαπτανή που εξέρχεται μαζί του να μετατρέπεται σε οργανικά διθειούχα. Τα οργανικά διθειούχα είναι μη υδροδιαλυτά, έτσι μεταγγίζονται εύκολα από το καυστικό. Η χημική διατύπωση της αντίδρασης αυτής είναι:



Έπειτα(62,63,64) το καυστικό διάλυμα επαναδιοχετεύεται στο κέλυφος για επανάχρηση. Προσοχή βέβαια απαιτείται πριν την είσοδο του καυστικού διαλύματος πάλι στο κέλυφος, να έχει

καθαριστεί η είσοδος από την οποία διέρχεται το LNG από υπολείμματα υδρόθειου από την προηγούμενη είσοδο του. Αυτό γίνεται με την χρήση άλλων καυστικών υδάτινων διαλυμάτων όπως το υδροξείδιο του νατρίου(NaOH). Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι:



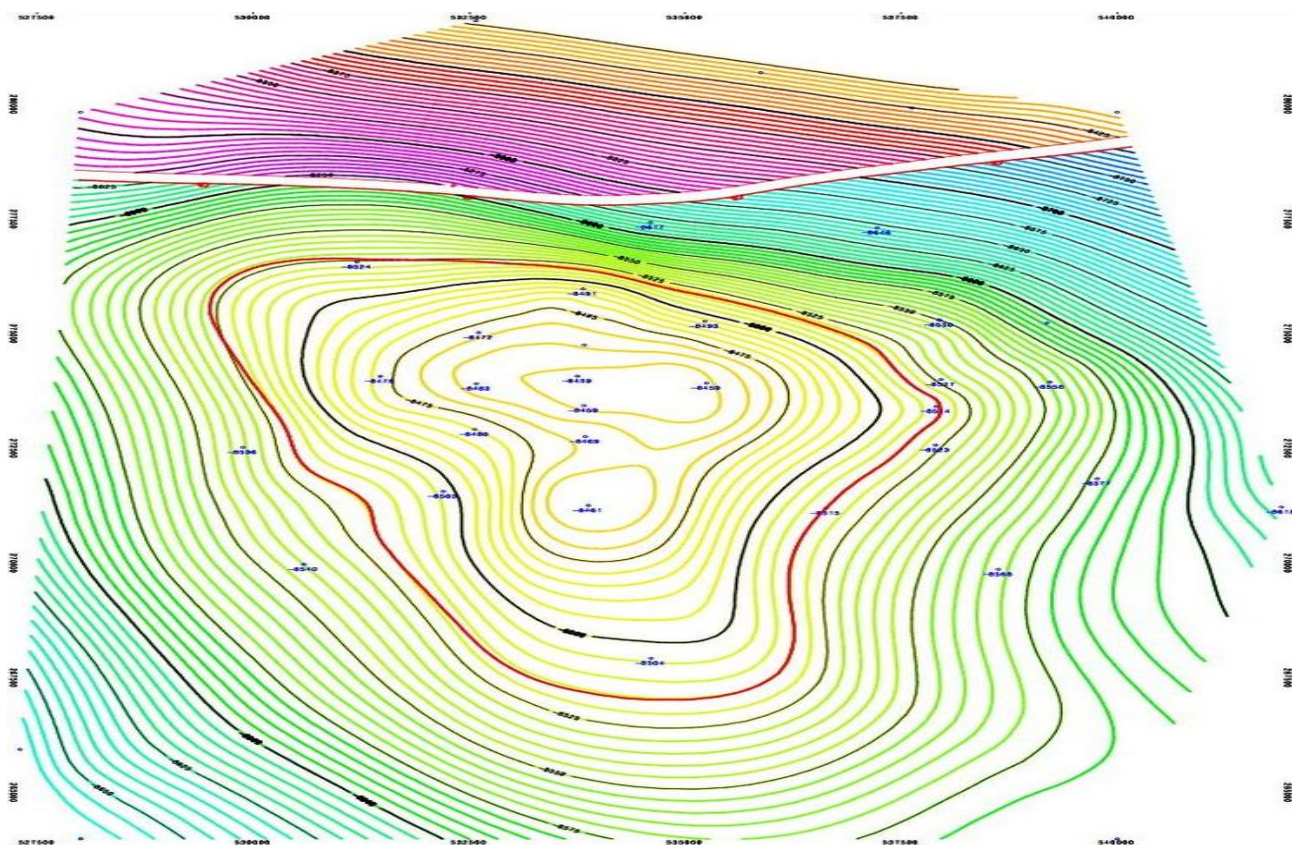
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ

Εισαγωγή(1,2,3)

Ταμιευτήρας είναι ένας χώρος αποθήκευσης ρευστών, όπως νερού, υδρογονάνθρακα, αερίου κ.α. Κάποιοι ταμιευτήρες είναι φυσικοί και άλλοι τεχνητοί. Έχουν την μορφή λίμνης, λάκκου ή και αναχώματος κατά το πλείστο υπόγειου. Οι ταμιευτήρες συνήθως υπάρχουν διαμορφωμένοι χωρίς την παρέμβαση του ανθρώπου. Κάποιες όμως φορές απαιτείται η παρέμβαση του για να δημιουργηθούν οι κατάλληλες κοιλότητες με στόχο την εξόρυξη των ρευστών εντός του.



Υπόγειοι Ταμιευτήρες(4.1)

4.1) ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

Οι ταμιευτήρες υδρογονανθράκων, είναι υπόγειοι λάκκοι που δημιουργούνται σε υπόγεια ρήγματα. Το βασικό χαρακτηριστικό των ταμιευτήρων είναι πως το πλαίσιο τους είναι πορώδες αλλά παράλληλα προστατεύει το φυσικό αέριο ή υγρό υδρογονάνθρακα από την επαφή με τα υπόλοιπα υπόγεια πετρώματα . Οι ταμιευτήρες αποτελούνται από ιζηματογενή πετρώματα όπως

άμμος, ασβεστόλιθος και δολομίτης λίθος. Κατατάσσονται σε συμβατικούς και μη συμβατικούς.(1,2,3)

4.1.α) Συμβατικοί ταμιευτήρες(1,2)

Οι συμβατικοί ταμιευτήρες δημιουργούνται από πετρώματα που καλύπτουν σαν στέγαστρο το πετρέλαιο και το αέριο με χαμηλή διαπερατότητα.

4.1.β) Μη συμβατικοί ταμιευτήρες

Οι μη συμβατικοί ταμιευτήρες, έχουν την μορφή λάκκου, ενώ το 'στέγαστρο' πετρωμάτων δεν υπάρχει. Τα πετρώματα του λάκκου είναι πορώδη αλλά δεν έχουν σε μεγάλο βαθμό την ιδιότητα της διαπερατότητας (1,2)

**Διαπερατότητα: Είναι η ιδιότητα των επιφανειών, να έχουν οπές κατά μήκος τους και σε βάθος που καλύπτει μεγάλο κομμάτι του πάχους των επιφανειών(θα γίνει εκτενής αναφορά σε επόμενες σελίδες).*

4.2) ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ (1, 2, 12)

Όπως είναι γνωστό, το πετρέλαιο και το αέριο είναι προέρχονται από ζώντες οργανισμούς(πλαγκτόν, φυτικοί οργανισμοί κ.α), που πέθαναν και θάφτηκαν σε στρώματα πετρωμάτων κάτω από την επιφάνεια της γης. Αυτοί οι ζώντες οργανισμοί συσσωρεύτηκαν σε μορφή ιζημάτων και υπό συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας(50C⁰-70C⁰) άρχισαν να υπερθερμαίνονται. Έπειτα ρευστοποιήθηκαν, άρχισαν μαζικά να μετακινούνται και υπό συγκεκριμένες συνθήκες που τώρα δεν είναι απαραίτητο να αναλυθούν δημιούργησαν τους ταμιευτήρες.

Οι υπόγειοι ταμιευτήρες υδρογονανθράκων αποτελούνται από την ιζηματογενή λεκάνη που δημιουργείται μέσω τεσσάρων σταδίων.

- Ταφή των ιζημάτων κάτω από λάσπη και χώμα
- Βρασμός των ιζημάτων λόγω της ύπαρξης υψηλής πίεσης
- Μεταφορά των ρευστών μειγμάτων σε πετρώδεις κοιλότητες(πλαίσιο ταμιευτήρα)
- Παγίδευση των ιζημάτων από μη διαπερατά πετρώματα στις λεγόμενες <<παγίδες>>
Ταμιευτήρες υπάρχουν μέχρι και σε βάθος 9000 μέτρων και είναι διάφορων ηλικιών.

4.2.α) Παγίδες

Οι παγίδες δημιουργούνται από ανωστικές δυνάμεις που οδηγούν τα ανώτερα στρώματα του κινούμενου υδρογονάνθρακα δια μέσω πετρωμάτων με επαρκή διαπερατότητα σε έναν συγκεκριμένο χώρο όπου οι τριχοειδείς δυνάμεις(ΚΕΦ.2) των επιφανειών του χώρου αυτού υπερνικούν τις ανωστικές δυνάμεις που εξαρχής παγίδευσαν τον υδρογονάνθρακα εκεί.

Οι γεωμηχανικοί και γεωλόγοι κατηγοριοποιούν τις παγίδες σε τρεις βασικές κατηγορίες:

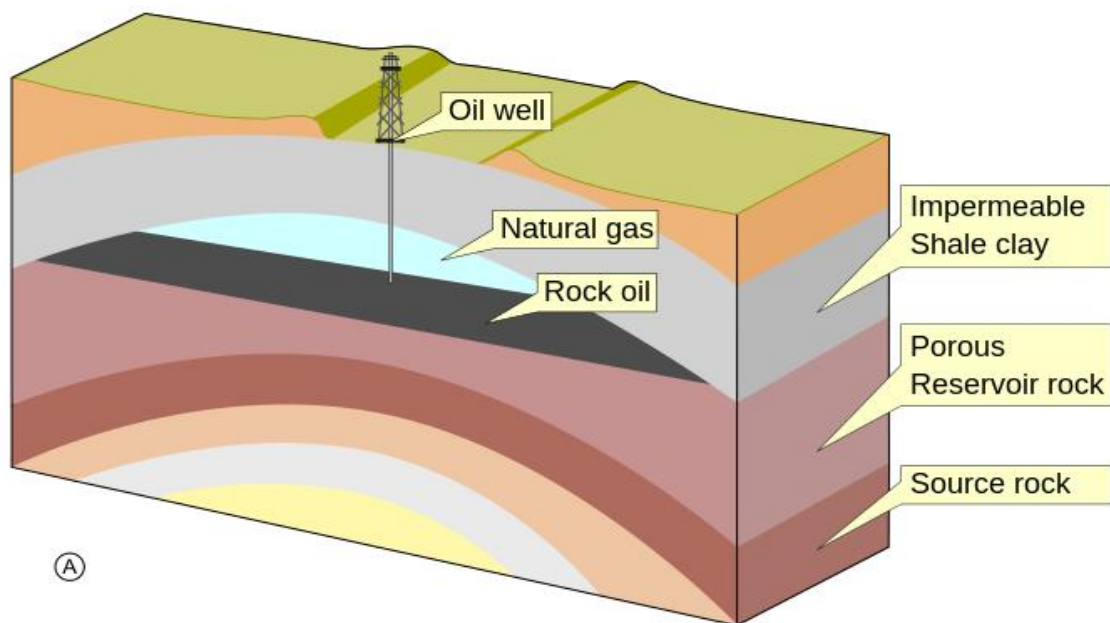
- Δομικές
- Στρωματογραφικές
- Υδροδυναμικές

4.2.α.1) Δομικές παγίδες (structural traps)

Οι δομικές παγίδες δημιουργούνται από ρήγματα της υπόγειας δομής των πετρωμάτων, που οδηγούν στην δημιουργία πτυχώσεων και θόλων. Οι δομικές παγίδες χωρίζονται σε τρεις υποκατηγορίες:

• Παγίδες μορφής αντικλίνου (anticline traps)

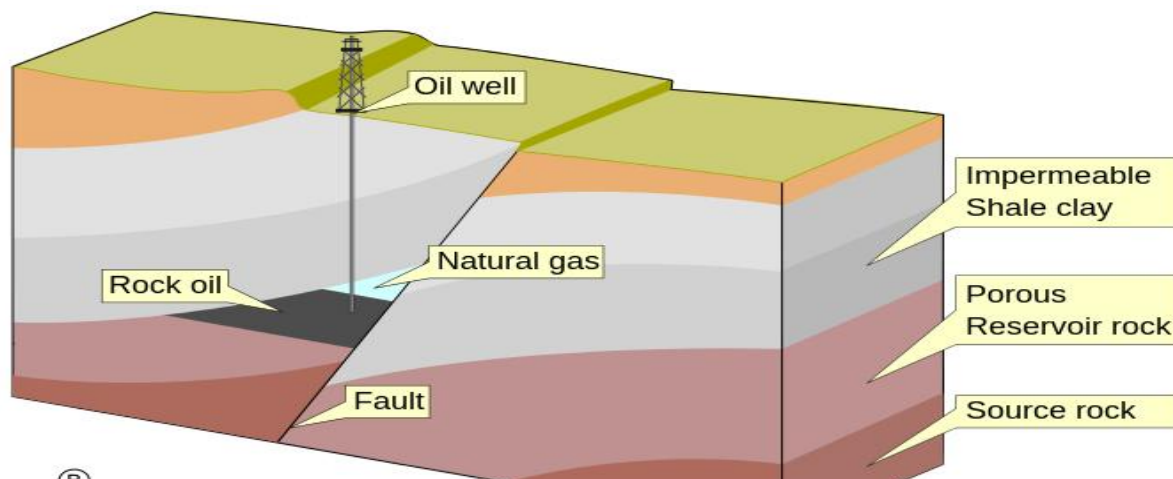
Οι παγίδες αυτές είναι ένα στρώμα υπόγειο που έχει συμπιεστεί από την μια πλευρά του και έχει δημιουργήσει έναν θόλο με το άνω στρώμα πετρωμάτων. Αν μέσα στον θόλο υπάρχει και ένα αδιαπέραστος όγκος πετρωμάτων, τότε ο υδρογονάνθρακας συγκεντρώνεται στην κορυφογραμμή του θόλου μέχρι την χρονική στιγμή που θα έχει γεμίσει όλος ο θόλος και θα μπορεί ο υδρογονάνθρακας να εκρεύσει από το αντίκλινο.



Εικόνα 4.2 (παγίδες μορφής αντικλίνου)

• Παγίδα ασυνέχειας (fault traps)

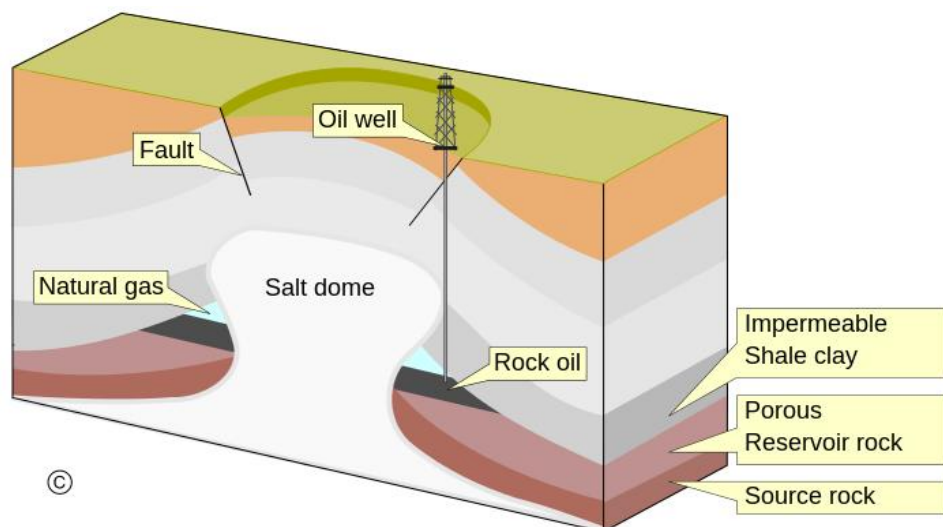
Οι παγίδες αυτές δημιουργούνται από την μετακίνηση πετρωμάτων διαπερατών ή μη διαπερατών, κατά μήκος κάποιας δομικής ασυνέχειας των υπόγειων στρωμάτων γραμμικής μορφής. Ουσιαστικά το πέτρωμα που συντελεί το πλαίσιο του ταμειυτήρα προσκολλάται σε ένα αδιαπέραστο πέτρωμα και με αυτόν τον τρόπο παγιδεύεται ο εσώκλειστος υδρογονάνθρακας.



Εικόνα 4.3 (Παγίδες ασυνέχειας)

• Παγίδες αλάτων (salt dome trap)

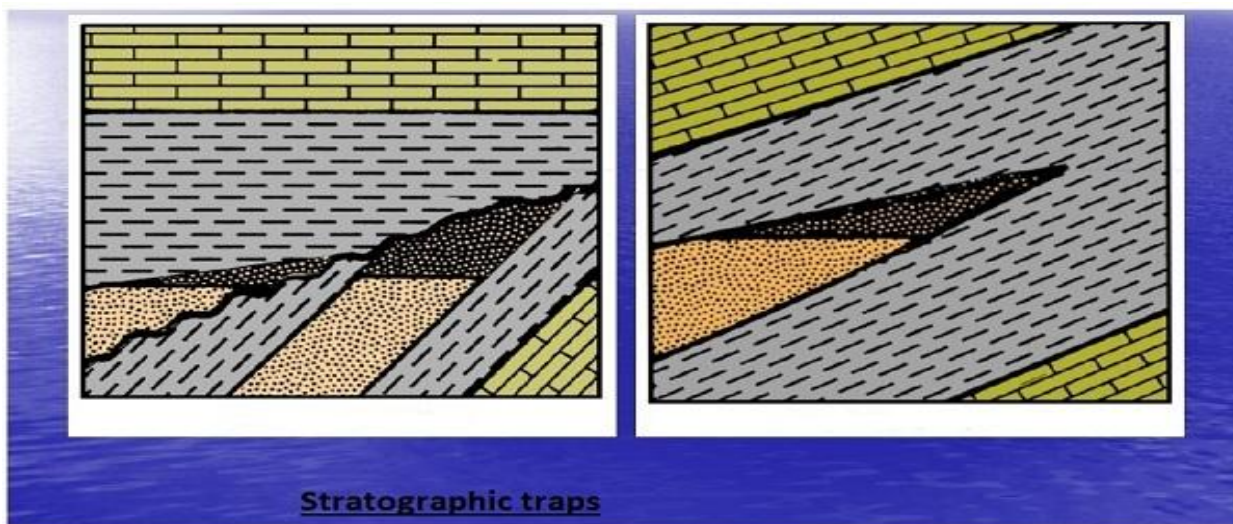
Οι παγίδες αλάτων είναι συσσωρευμένα άλατα κάτω από κλαστικά πετρώματα όπου λόγω καλύτερης πλευστότητας τα άλατα διαπερνούν τα κλαστικά πετρώματα και δημιουργούν έναν αδιαπέραστο κλοιό γύρω από τον υδρογονάνθρακα μη επιτρέποντάς του να μετακινηθεί περαιτέρω.



Εικόνα 4.4 (Παγίδες αλάτων)

4.2.α.2) Στρωματογραφικές παγίδες (stratigraphic traps)

Οι στρωματογραφικές παγίδες δημιουργούνται σαν συνέπεια της ποικίλης διαστρωμάτωσης των πετρωμάτων που αποτελούν τους ταμιευτήρες, καθώς και το πάχος, την πορότητα και το περιεχόμενο των πετρωμάτων αυτών.



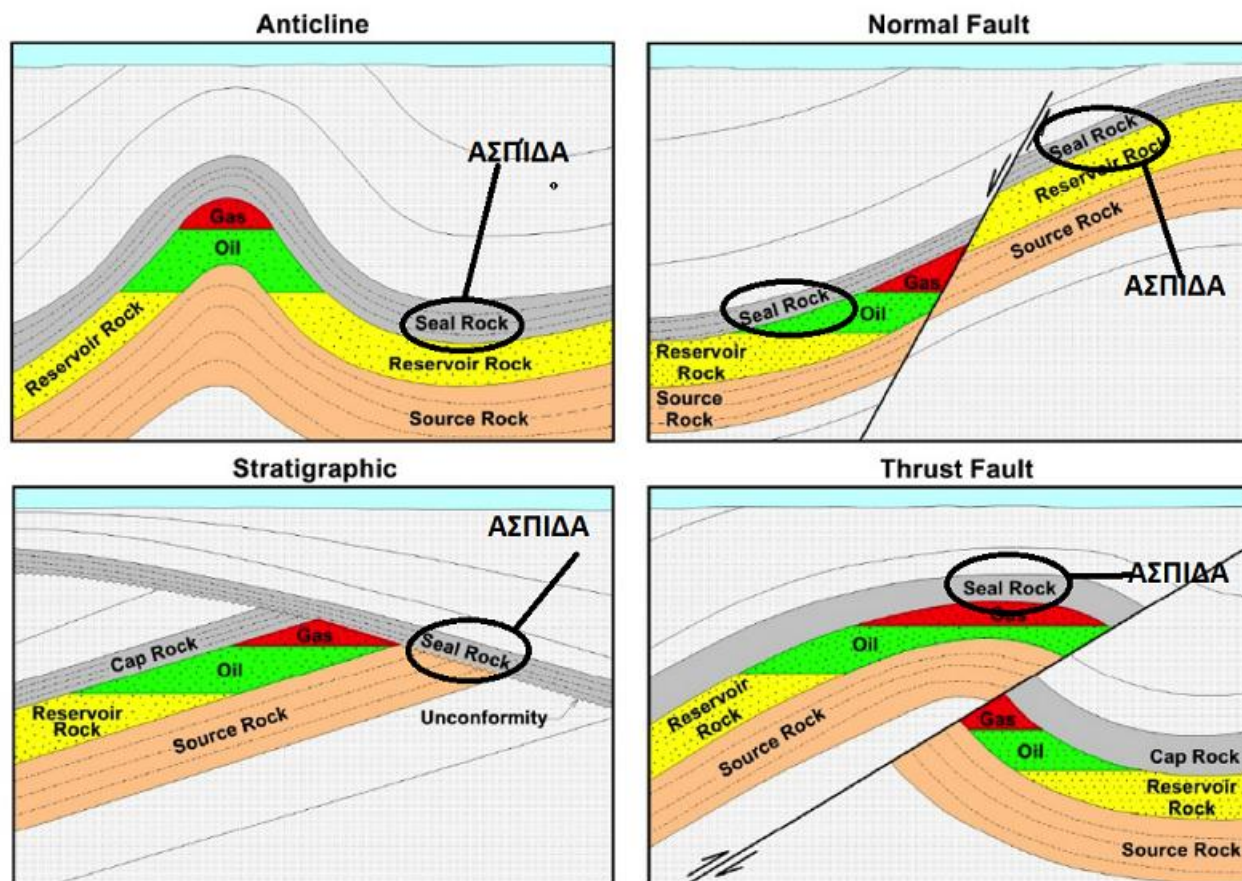
Εικόνα 4.5 (Στρωματογραφικές παγίδες)

4.2.α.3) Υδροδυναμικές παγίδες (Hydrodynamic traps)

Οι υδροδυναμικές παγίδες παρουσιάζονται στα υποστρώματα της γης συνυπάρχει νερό και υδρογονανθρακικά μείγματα. Λόγω της διαφοράς πίεσης που επικρατεί στην διεπιφάνεια νερού και υδρογονάνθρακα παρατηρείται ότι αυτές οι παγίδες δημιουργούν μια κλίση στον χώρο που εμφωλεύεται ο υδρογονάνθρακας. (1,2,12)

4.2.β) Πετρώματα σε ρόλο ασπίδας (Seals)(1, 2)

Τα πετρώματα αυτά είναι το μέρος της παγίδας που αποτρέπει το υδρογονανθρακικό μείγμα από την περαιτέρω άνοδο του στην επιφάνεια. Δημιουργούνται όταν οι τριχοειδείς δυνάμεις της εσωτερικής επιφάνειας του ταμιευτήρα είναι μεγαλύτερες ή ίσες από τις ανωστικές δυνάμεις του υδρογονάνθρακα. Αυτό ισχύει μέχρι να αλλοιωθούν η σύσταση και οι ιδιότητες της ύλης των πετρωμάτων αυτών. (1,2)



Εικόνα 4.6 (Ασπίδες)

4.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ(1,2)

Αφού ανακαλυφθεί ένας υπόγειος ταμιευτήρας οι γεωλόγοι- μηχανικοί κάνουν μια έρευνα μέσω σεισμικών δονήσεων για να εκτιμήσουν το πιθανό μέγεθος της παγίδας του ταμιευτήρα. Επιπλέον, δημιουργούν φρεάτια για να ανακαλύψουν την ακριβή τοποθεσία του υδρογονανθρακικού μείγματος. Τέλος, υπολογίζουν και το πάχος του πετρώματος που περικλείει τον υδρογονάνθρακα.

Επόμενο βήμα, είναι ο υπολογισμός της πορότητας του πετρώματος από τα δείγματα που αποκόμισαν από την διάνοιξη των φρεατίων. Αξίζει να σημειωθεί ότι από τους ελέγχους αυτούς εκτιμάται πως το 20%-30% είναι ρευστός υδρογονάνθρακας, ενώ το υπόλοιπο είναι απλά πετρώματα που δεν ελκύουν κάποιο ενδιαφέρον για τον στόχο της εξόρυξης. Τέλος, μέσω εργαστηριακών ελέγχων καταγράφουν τα χαρακτηριστικά του ρευστού υδρογονάνθρακα του ταμιευτήρα και συγκεκριμένα τον συντελεστή εκτόνωσης του.(1,2)

4.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΜΑΙΕΥΣΗΣ(1,2)

Εντός του ταμιευτήρα επικρατούν πολύ υψηλές πιέσεις με αποτέλεσμα να ωθούνται οι υδρογονάνθρακες προς τα επάνω. Όταν η διαδικασία εξόρυξης είναι σε εξέλιξη, αυτή η πίεση εκτονώνεται και από κάποια στιγμή και μετά η εξόρυξη καθυστερεί χαρακτηριστικά μέχρι που δεν είναι πλέον δυνατή, παρά το γεγονός ότι υπάρχει ακόμα υδρογονανθρακικό μείγμα προς εξόρυξη.(1,2)

4.4.α) Μέθοδος φυσαλίδων (solution gas drive) (1,2,5)

Σε έναν ταμιευτήρα που έχει αποκλειστικά υγρούς υδρογονάνθρακες, όταν τα τρυπάνια σπάνε το κέλυφος του ταμιευτήρα θα αρχίσει η μείωση της πίεσης (λόγω εκτόνωσης της προς τα πάνω). Μειούμενη η πίεση δημιουργεί συνθήκες βρασμού με την θερμοκρασία που υπήρχε στον ταμιευτήρα πριν την γεώτρηση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία φυσαλίδων (αέριο υδρογονάνθρακα) από το ίδιο το ρευστό, που ωθούν περαιτέρω τους υγρούς υδρογονάνθρακες προς την επιφάνεια. Η συγκεκριμένη διαδικασία έχει τέσσερα στάδια:

1. Αρχίζει η εξόρυξη του υγρού υδρογονάνθρακα με το αέριο να είναι υπό κορεσμό
2. Η διαδικασία συνεχίζεται, το αέριο είναι ακόμα ακίνητο, αλλά ο κορεσμός του αυξάνεται
3. Καθώς η διαδικασία συνεχίζεται το αέριο αποκτά κινητικότητα και ο λόγος αερίου/ πετρελαίου αυξάνεται διαρκώς
4. Στο τελευταίο στάδιο το φυσικό αέριο είναι πλήρως κορεσμένο και ο λόγος αερίου/πετρελαίου ξαναμειώνεται

Τα χαρακτηριστικά του πρώτου σταδίου είναι τα εξής:

- Το αέριο είναι ακίνητο
- Το εξορυγνόμενο GOR (Gas Oil Ratio-> Λόγος αερίου/ πετρελαίου) είναι ίσο με το GOR του αρχικού υδρογονανθρακικού μείγματος που βρισκόταν στον ταμιευτήρα πριν την εξόρυξη.
- Οι ποσότητες αερίου και πετρελαίου που παράγονται είναι μικρές και σχεδόν ισόποσες μεταξύ τους
- Υπάρχει απότομη πτώση πίεσης το ταμιευτήρα
Τα χαρακτηριστικά του δεύτερου σταδίου είναι τα εξής:

- Η πίεση του ταμιευτήρα είναι κάτω από το σημείο βρασμού
- Το ελεύθερα κινούμενο αέριο εμφανίζεται με μικρό κορεσμό και πολύ χαμηλή κινητικότητα
- Το παραγόμενο GOR είναι ελάχιστα μικρότερο από το GOR το αρχικό
- Η πτώση πίεσης μετριάζεται
Τα χαρακτηριστικά του τρίτου σταδίου είναι τα εξής:

- Το ελεύθερο αέριο αποκτά μεγάλη κινητικότητα
- Το παραγόμενο GOR αυξάνεται ομαλά και σταθερά
- Το παραγόμενο αέριο είναι μεγαλύτερο από το παραγόμενο πετρέλαιο
- Το τρίτο στάδιο είναι το μεγαλύτερο σε διάρκεια και κατά την εξέλιξη του εξαντλείται το 85%-95% του αποθέματος του ταμιευτήρα.

Τα χαρακτηριστικά του τέταρτου σταδίου είναι τα εξής:

- Η πίεση στον ταμιευτήρα είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα(6,8 atm-27,2 atm)

- Το παραγόμενο GOR μειώνεται
- Το απόθεμα του ταμιευτήρα έχει εξαντληθεί είτε στο τέλος το τρίτου σταδίου είτε στην αρχή το τέταρτου.(1,2,5)

4.4.β) Παρεμφερής Μέθοδος φυσαλίδων (Cap gas drive)(1,2,9)

Είναι μια μέθοδος σαν την προηγούμενη μόνο που οι συνθήκες είναι τέτοιες που οι φυσαλίδες υπάρχουν ήδη μέσα στον ταμιευτήρα. Αυτοί οι ταμιευτήρες έχουν το γνώριμο στοιχείο ότι το αέριο που βρίσκεται εντός τους είναι περισσότερο από αυτό που μπορεί να διαλυθεί στον υγρό υδρογονάνθρακα που συνυπάρχει με το αέριο μέσα στον ταμιευτήρα.

Το πλεονάζον αέριο μετακινείται στην κορυφογραμμή του ταμιευτήρα και δημιουργεί ένα στρώμα πίεσης στον υγρό υδρογονάνθρακα (Cap gas) και βοηθάει στην διαδικασία εξόρυξης του υγρού υδρογονάνθρακα. Καθώς ο υγρός υδρογονάνθρακας στερεύει η στάθμη του στρώματος του αερίου υδρογονάνθρακα πέφτει μέχρι το σημείο που ο ταμιευτήρας θα παράγει μόνο αέριο.

Ο αποτελεσματικότερος τρόπος να εκμεταλλευτούμε το ήδη υπάρχον αέριο εντός του ταμιευτήρα για να εξορύξουμε υγρό υδρογονάνθρακα, είναι να τοποθετήσουμε το πηγάδι εξόρυξης σε απόσταση από το στρώμα αερίου, ώστε να εξαντληθεί όλο το πετρέλαιο πριν τελειώσει το αέριο και χαθεί το πλεονέκτημα της πίεσης που ασκεί στο πετρέλαιο.

Αν πάλι ο βαθμός εξόρυξης αυξηθεί πολύ, θα οδηγηθούμε στο φαινόμενο το αέριο εντέλει να μετακινηθεί στα βαθύτερα στρώματα του ταμιευτήρα. Όταν συμβαίνει αυτό, η εκτόνωση της πίεσης δεν είναι τόσο απότομη όπως στην περίπτωση του Solution gas drive.(1,2,9)

4.4.γ) Μέθοδος της χρήσης του υδροφόρου ορίζοντα(1,2,6)

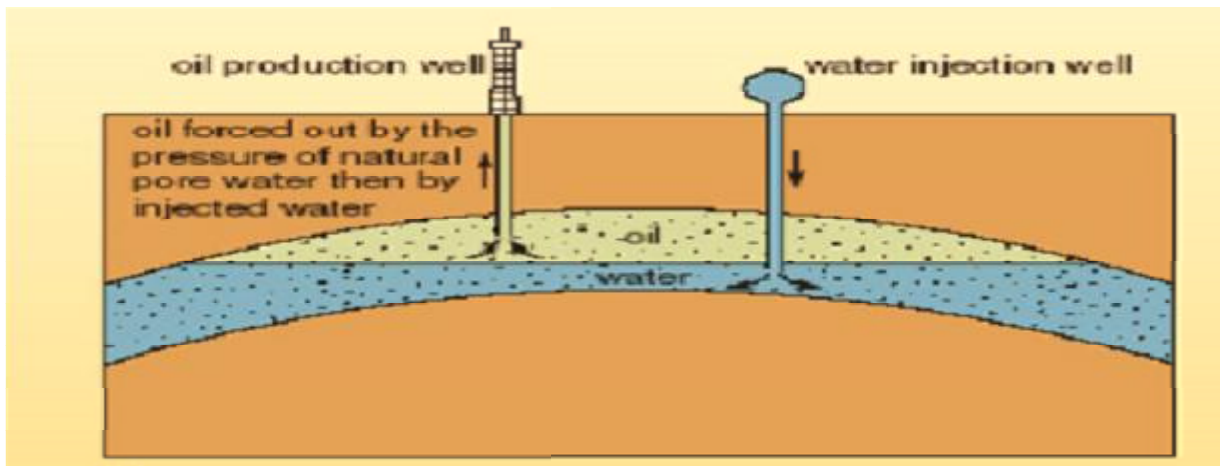
Εντός του ταμιευτήρα συνήθως συνυπάρχει το υδρογονανθρακικό μείγμα με αλμυρό νερό. Όταν θα αρχίσει η διαδικασία εξόρυξης και η πίεση αρχίζει να εκτονώνεται, τότε μαζί με τον υδρογονάνθρακα θα εκτονώνεται σε πολύ μικρό ποσοστό και το νερό(αφού θεωρείται σχεδόν ασυμπίεστο). Αν όμως το νερό είναι σε μεγάλη ποσότητα, τότε αυτή η μικρή του εκτόνωση θα οδηγήσει σε ταχεία εξόρυξη του πετρελαίου.

Πιο συγκεκριμένα καθώς η πίεση μειώνεται το νερό του υδροφόρου ορίζοντα υπό πίεση εισέρχεται και αυτό στον ταμιευτήρα και εξωθεί τον υδρογονάνθρακα προς τα άνω του ταμιευτήρα. Το ζητούμενο στην περίπτωση αυτή είναι να εξορυχθεί όσο το δυνατόν λιγότερο νερό κατά την διαδικασία.

Αν λοιπόν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι κοντά στην επιφάνεια της γης, τα πηγάδια που ανοίγονται πρέπει να έχουν και ένα είδος φράγματος στην περιοχή που αναμένεται να έρθει και νερό, ώστε να αποκοπεί το μεγαλύτερο ποσοστό του όγκου του νερού. Αν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι σε πολύ μεγάλο βάθος η διάτρηση πρέπει να γίνεται σε ακόμα μεγαλύτερο, ώστε να δίνεται η δυνατότητα στον υδρογονάνθρακα να ανέρχεται στο πηγάδι με όσο το δυνατόν λιγότερο νερό.(1,2,6)

4.4.δ) Μέθοδος έγχυσης νερού εντός του ταμιευτήρα(1,2,6,13)

Όταν όλες οι παραπάνω μέθοδοι δεν είναι κατάλληλες για την εξόρυξη κυρίως λόγω του ότι δεν υπάρχει αρκετή πίεση για να εκτονωθεί ο ρευστός υδρογονάνθρακας, εγχύεται νερό εντός του ταμιευτήρα, ώστε να δημιουργηθεί το κατάλληλο επίπεδο πίεσης για να εξορυχθεί ο υδρογονάνθρακας. Αυτό βέβαια προϋποθέτει την ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα σε κάποια περιοχή κοντά στον ταμιευτήρα. Στην παραγωγή πετρελαίου η διαδικασία έγχυσης νερού, αφορά την τοποθεσία που θα εγχυθεί το νερό, ώστε να αυξηθεί η πίεση και ως εκ τούτου να ενισχυθεί η παραγωγή πετρελαίου του ταμιευτήρα. Το νερό δεν εγχύεται μόνο για την ενίσχυση της πίεσης αλλά και να αντικατασταθεί τελικώς το υδρογονανθρακικό μείγμα από το νερό στον ταμιευτήρα. Χωρίς την διαδικασία έγχυσης νερού η παραγωγή του πετρελαίου θα ήταν 30% του αρχικού αποθέματος.(1,2,6,13)



Εικόνα 4.7 (Εξόρυξη με την έγχυση νερού από πλησίον Υ.Ο)

4.5) ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ ΑΕΡΙΟΥ(3)

Οι ταμειυτήρες αερίου, είναι μια φυσική αποθήκη από πετρώματα που εντός της βρίσκεται φυλακισμένο φυσικό αέριο. Η ανάκτηση του αερίου γίνεται και εδώ με την εκτόνωση της πίεσης εντός του ταμειυτήρα. Όσον αφορά τους συμβατικούς ταμειυτήρες που ενέχουν φυσικό αέριο, το αέριο δεν βρισκόταν πάντα εκεί. Μεταφέρθηκε εκεί από άλλες υπόγειες ιζηματογενείς περιοχές, που, τα πετρώματα δεν είχαν την δυνατότητα να συγκρατήσουν το μεταναστεύον αέριο. Οι αιτίες που ώθησαν το αέριο αυτό να μεταναστεύσει στους ταμειυτήρες είναι η διαφορά πίεσης μεταξύ των υπόγειων στρωμάτων που δεν συγκαταλέγονται στους ταμειυτήρες, όπου εκεί επικρατούσαν ψηλές πιέσεις, ενώ στους ταμειυτήρες χαμηλές.

Όσον αφορά τους μη- συμβατικούς ταμειυτήρες, που δεν έχουν προστατευτικά κέλυφος, το αέριο βρίσκεται σε υπόγειες κοιλότητες που δημιουργούνται από πολύ σκληρά πετρώματα. Αυτό οδηγεί στην χρήση τεχνολογίας διάνοιξης και θραύσης των πετρωμάτων αυτών με οριζόντιες οπές. Παρατηρείται επίσης συχνά το φαινόμενο μαζί με το φυσικό αέριο να υπάρχει και άνθρακας (coal-bed methane).

Όσο η τεχνολογία εξελίσσεται, εφευρίσκονται τρόποι να παράγεται το φυσικό αέριο από ακόμα πιο απρόσιτες υπόγειες περιοχές. Παράδειγμα τέτοιο είναι ο γεοπρεσσομένος (geopressure) ταμειυτήρας, όπου το αέριο είναι αναμειγμένο με νερό σε μεγάλο βάθος σε πολύ υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες.

Ένα τελευταίο παράδειγμα μη- συμβατικών ταμειυτήρων είναι αυτό, που το μεθάνιο βρίσκεται σε ωκεάνιες ή αρκτικές περιοχές, όπου έχει δημιουργήσει κρυσταλλικές δομές που αποτελούνται από παγωμένο νερό.(3)

4.6 ΕΓΧΥΣΗ ΑΕΡΙΟΥ ΣΕ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ(7,14)

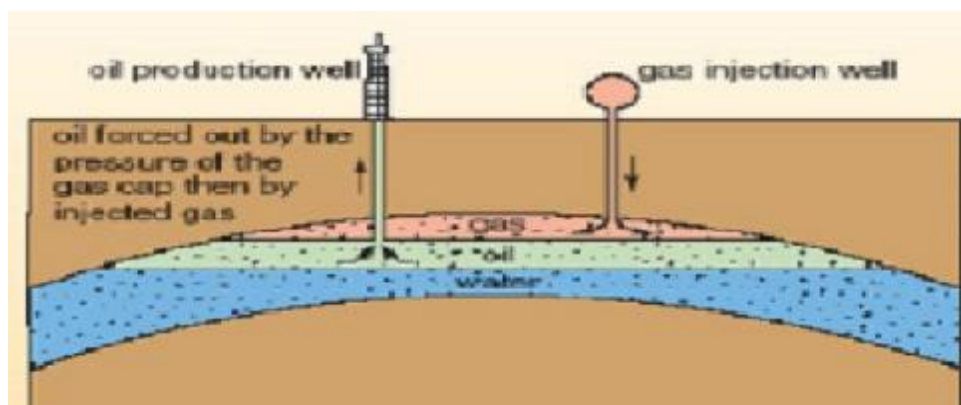
Μεγάλος αριθμός αερίων έχουν χρησιμοποιηθεί για την αντικατάσταση του αμιγούς αερίου εντός ενός ταμειυτήρα. Αυτή η μέθοδος αρχικά χρησιμοποιήθηκε για την διατήρηση της πίεσης του ταμειυτήρα σε ικανά επίπεδα, ώστε να ολοκληρώνεται η διαδικασία εξόρυξης. Έπειτα χρησιμοποιήθηκε και για την ανάκτηση του υγρού υδρογονάνθρακα από έναν ταμειυτήρα.

Η έγχυση αερίων εντός ενός ταμειυτήρα, προϋποθέτει να υπάρχει αέριο έτοιμο για έγχυση και σε ικανοποιητική ποσότητα. Αυτή η ικανοποιητική ποσότητα αερίου που απαιτείται, έχει προέλθει από ήδη παραγμένο αέριο απο μεγαλύτερα βάθη από αυτά που ενεργούμε ή απο γειτονική περιοχή με αυτήν που ενεργούμε. Η μέθοδος αυτή έχει αναλυτικά τις εξής χρήσεις:

1. Επανεισδοχή αερίου στον ταμιευτήρα όπου παράχθηκε ώστε να λειτουργήσει σαν στρώμα πίεσης (cap gas) στον εναπομείναντα υγρό υδρογονάνθρακα για να ανακτηθεί και αυτός.
2. Έγχυση του αερίου σε έναν ταμιευτήρα πετρελαίου για σταθεροποίηση της πίεσης εντός του.
3. Έγχυση αερίου σε έναν ταμιευτήρα για αποτροπή του πετρελαίου να μετακινηθεί σε περιοχή του ταμιευτήρα που υπάρχει αέριο(gas cap) λόγω της παρουσίας του υδροφόρου ορίζοντα.
4. Έγχυση αερίου για να ανακτηθούν από τους ταμιευτήρες άστατοι/ ευεξάμιστοι υδρογονάνθρακες, και για την ανάκτηση βαρέων αερίων υδρογονανθράκων που παλινδρομούνται μέσα στον ταμιευτήρα.

Μόλις γίνει η έγχυση του αερίου εντός του ταμιευτήρα παρατηρούνται τα εξής φαινόμενα:

1. Μερική ή ολική διατήρηση της πίεσης του ταμιευτήρα
2. Αντικατάσταση του υγρού υδρογονάνθρακα εντός του ταμιευτήρα από το εγχεόμενο αέριο που εισέρχεται είτε κάθετα είτε οριζόντια στον ταμιευτήρα
3. Εξάτμιση των ευμετάβλητων υδρογονανθρακικών στοιχείων από των αγνό υγρό υδρογονάνθρακα
 Άξιο αναφοράς είναι ο λόγος που αυτή η μέθοδος είναι τόσο αποτελεσματική. Το πετρέλαιο εντός του ταμιευτήρα έχει ιξώδες 0.5 cp. Το αέριο εντός του ταμιευτήρα έχει ιξώδες 0.02 cp. Από αυτή την διαφορά του ιξώδους συμπεραίνουμε ότι το αέριο έχει το 1/3 της πυκνότητας του πετρελαίου. Ως εκ τούτου το αέριο καταλαμβάνει τις ανώτερες θέσεις εντός του ταμιευτήρα και το πετρέλαιο εισχωρεί βαθύτερα στον ταμιευτήρα και η πίεση στην μάζα του υδρογονάνθρακα αυξάνεται πολλαπλασιαστικά με αποτέλεσμα να ωθείται έξω από τον ταμιευτήρα από τις εξόδους που δημιουργήσαμε εμείς. Σε όλη αυτήν την διαδικασία παίζει σημαντικό ρόλο και η διεπιφανειακή τάση του αερίου και του υγρού υδρογονάνθρακα που την αναφέρω παρακάτω, αλλά αναφέρεται εκτενώς και στο 2^ο κεφάλαιο.(7,14)



Εικόνα 4.8(Αναπαράσταση επανεισδοχής αερίου)

4.7) ΠΟΛΥΦΑΣΙΚΗ ΡΟΗ ΣΕ ΠΟΡΩΔΗ ΜΕΣΑ

4.7.α) Νόμος του Darcy(4)

Ο νόμος του Darcy, βασίζεται στην αρχή ότι υπάρχει μια γραμμική σχέση μεταξύ της ταχύτητας και της μεταβολής της πίεσης σε ένα πορώδες μέσο. Ο γραμμικός συντελεστής εκφράζεται ως η πορότητα της ύλης και αντιπροσωπεύει την αντίσταση της ροής σε ένα στέρεο μέσο. Όταν πραγματοποιείται ροή σε ένα πορώδες μέσο, παρατηρούνται δυνάμεις ιξώδους και επιφανειακής τάσης μεταξύ του στερεού και του ρευστού, όπως και επιφανειακή τάση μεταξύ των διαφορετικών ρευστών που διαχέονται στο πορώδες μέσο. Για την ορθή παρατήρηση του φαινομένου γίνεται μοντελοποίηση της διαδικασίας με χρήση τον νόμο του Darcy.(4)

(10) Ο νόμος του Darcy, σε σταθερό υψόμετρο είναι μια απλή αναλογική σχέση, μεταξύ του στιγμιαίου λόγου παροχής στο πορώδες μέσο (Q), του ιξώδους (μ), και της πτώσης πίεσης (ΔP) σε δεδομένο μήκος σωλήνα. Αυτό μαθηματικά εκφράζεται έτσι:

$$Q = \frac{-k \cdot A \cdot (P_b - P_a) \cdot (m^2 \cdot m^2 \cdot Pa)}{m \cdot L \cdot (Pas \cdot sec \cdot m) \cdot sec} = Q$$

$$Q = \text{παροχή} \left(\frac{m^3}{sec} \right)$$

$$A = \text{Κόσμη διατομή στην ροή του ρευστού} \ (m^2)$$

$$P_b - P_a = \text{Πτώση πίεσης από το } b \rightarrow a \ (Pascal)$$

$$m = \text{Ιξώδες} \ (Pascal \cdot sec)$$

$$L = \text{Μήκος σωλήνα} \ (m^2)$$

$$k = \text{Εσωτερική διαπερατότητα του μέσου} \ (m^2)$$

Το αρνητικό πρόσημο υπάρχει διότι υπάρχει πτώση πίεσης. Η ταχύτητα του ρευστού εντός του πορώδους μέσου περιγράφεται από τον τύπο:

$$u = \frac{Q}{f} \quad f = \frac{Q \cdot \frac{m^3}{sec}}{u \cdot \frac{m}{sec}} \quad (m^2)$$

$$Q = \text{Παροχή (πλήρης)} \ \text{του νόμου του Darcy} \ (m^3 / sec)$$

$$u = \text{Ταχύτητα του ρευστού στο πορώδες μέσο} \ (m / sec)$$

$$f = \text{Πορώδες} \ (m^2)$$

Ο νόμος του Darcy είναι μια μαθηματική σχέση που συμπεριλαμβάνει διάφορες ιδιότητες που τα υπόγεια πετρώματα παρουσιάζουν στις παρακάτω περιπτώσεις:

1. Όταν η διαφορά πίεσης σε μια δεδομένη απόσταση είναι μηδέν δηλαδή δεν υπάρχει ροή (συνθήκες υδροστατικής ισορροπίας)
2. Όταν η διαφορά πίεσης είναι διάφορη το μηδενός και παρατηρείται μια απότομη πτώση της από μια υψηλή σε μια χαμηλότερη τιμή. (*Εδώ αξίζει να σημειωθεί πως όσο μεγαλύτερη η διαφορά πίεσης τόσο μεγαλύτερη και η παροχή του ρευστού εντός του πορώδους μέσου)
3. Όταν η παροχή του ρευστού σε ένα πορώδες μέσο είναι διαφορετική, λόγω του γεγονότος ότι το πορώδες μέσο αποτελείται από περισσότερα από ένα υλικά, ακόμα και αν ο χώρος προέλευσης του ρευστού και ο χώρος κατάληξης του έχουν ίδια πίεση

Ο νόμος του Darcy αφορά υπόγειους ταμειυτήρες με ένα υδροφόρο ορίζοντα που η ροή είναι πολύ αργή και το ιξώδες πολύ χαμηλό. Οι περισσότεροι ταμειυτήρες έχουν υδροφόρο ορίζοντα με πολύ χαμηλή ροή και ιξώδες. Όταν ο $Re = (\rho \cdot u \cdot d) / \mu < 1$, ο νόμος του Darcy εφαρμόζεται. (10)

Η πολυφασική ροή σε ένα πορώδες μέσο (4) είναι πολύ σημαντική σε εφαρμογές όπως η απορρόφηση του CO₂ και ανάκτηση του πετρελαίου. Οι δύο αυτές εφαρμογές συχνά περιλαμβάνουν την αντικατάσταση του ξηρού ρευστού που εγκαταλείπει έναν χώρο και εισέρχεται σε ένα πορώδες μέσο από ένα μη ξηρό ρευστό. Η διαδικασία αυτή λέγεται απορρόφηση.

4.7.β) Ιδιότητες πετρωμάτων

Οι ιδιότητες των πετρωμάτων που θα αναλυθούν με στόχο την κατανόηση του φαινομένου της πολυφασικής ροής σε πορώδες μέσο είναι η πορότητα και η διαπερατότητα. Οι ιδιότητες αυτές δεν επηρεάζονται από το είδος του ρευστού που διαπερνούν το πέτρωμα, εφόσον δεν υπάρχει χημική αντίδραση μεταξύ του πετρώματος και του ρευστού. (4)

4.7.β.1) Πορότητα(4)

Είναι ο όγκος των κενών σε ένα πορώδες μέσο και συγκεκριμένα εκφράζεται ως η απόλυτη (absolute) ή αποδοσίμη (effective) πορότητα. Στην επιστήμη της μηχανικής των υδρογονανθράκων η πορότητα χρησιμοποιείται σαν τρόπος μέτρησης της δυναμικής χωρητικότητας των πετρωμάτων σε υδρογονάνθρακα και νερό. Ποσοτικά, η πορότητα ενός υπόγειου ταμιευτήρα ορίζεται σαν το κλάσμα του κενού χώρου του ταμιευτήρα προς τον συνολικό όγκο του. Άρα, στο δια ταύτα(4) η πορότητα δεν έχει τον βασικό μαθηματικό τύπο:

$$f = \frac{Q}{u} \frac{\frac{\text{cm}^3}{\text{sec}}}{\frac{\text{cm}}{\text{sec}}} \div (m^2) \quad \text{αλλά είναι ένα αδιάστατο μέγεθος διότι αριθμητής και παρονομαστής έχουν τις ίδιες μονάδες, δηλ. τις μονάδες του όγκου οπότε :}$$

ίδιες μονάδες, δηλ. τις μονάδες του όγκου οπότε :

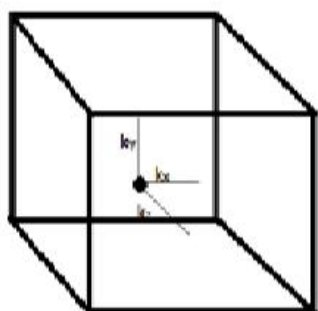
$$F = \frac{V_p (\text{Όγκος πόρου} / \text{κενού})}{V_b (\text{Συνολικός όγκος})}$$

4.7.β.2) Διαπερατότητα(4)

Η διαπερατότητα των πετρωμάτων εκφράζεται ως η μέτρηση που μας δείχνει πόσο εύκολα τα ρευστά διαρρέουν τους πόρους των πετρωμάτων. Για να ανακτηθούν τα ρευστά του ταμιευτήρα, απαιτείται το πέτρωμα το ταμιευτήρα να είναι πορώδες και διαπερατό. Η διαπερατότητα για την κατανόηση της σαν ιδιότητα μπορεί να παραλληλισθεί με την θερμική αγωγιμότητα στις θερμικές ροές και την διαχυτότητα στην μεταφορά μάζας.

Στην ιδανική περίπτωση που ο ταμιευτήρας είναι ομογενής, οι ιδιότητες του πετρώματος στον ταμιευτήρα δεν αλλάζουν από θέση σε θέση ανεξάρτητα της κατεύθυνσης του ρευστού εντός του. Αυτή η περίπτωση δεν υπάρχει στο υπέδαφος πουθενά στον κόσμο. Υπάρχουν όμως αρκετοί ταμιευτήρες που προσεγγίζουν σε μεγάλο ποσοστό αυτή την περίπτωση. Αυτούς τους ταμιευτήρες τους ονομάζουμε κατά παρέκκλιση ομογενείς. Παρόλα αυτά η πλειονότητα των ταμιευτήρων δεν υπάγεται σε αυτήν την κατηγορία όσον αφορά την διαπερατότητα. Ένας μέσος ταμιευτήρας(4) έχει διαπερατότητα $y(K_y)$ και $x(K_x)$ στον άξονα y και x ίση, δηλαδή $k_y = k_x$. Στον άξονα z όμως η

διαπερατότητα είναι μικρότερη δηλαδή $k_z < k_y$
 $k_z < k_x$.



$$\begin{aligned} k_x &= k_y \\ k_x &> k_z \\ k_y &> k_z \end{aligned}$$

Εικόνα 4.9 (Αναπαράσταση της διαπερατότητας σε έναν ταμιευτήρα)

4.7.γ) Ιδιότητες ρευστών (4)

Οι βασικές ιδιότητες που περιγράφουν τα ρευστά ενός ταμιευτήρα είναι η πίεση, ο όγκος και η θερμοκρασία (Pressure, Volume, Temperature). Ο ακριβής προσδιορισμός των ιδιοτήτων αυτών

ενός ρευστού σε έναν ταμιευτήρα, είναι απαραίτητος για τον εξονυχιστικό έλεγχο του περιεχομένου του ταμιευτήρα. Αυτός ο έλεγχος απαιτείται, διότι πριν την διαδικασία εξόρυξης πρέπει να γίνει μια δυναμική μελέτη στον ταμιευτήρα, ώστε να αποφασισθεί αν τα αποθέματα είναι αρκετά και αν ναι τι ποιότητας, ώστε εντέλει να γίνει η εξόρυξη. Ο έλεγχος αυτός γίνεται με μαθηματικές σχέσεις (EOS-> equation of state) και γραφιστικές τεχνικές που κάνουν μια εκτίμηση της πίεσης, του όγκου και της θερμοκρασίας του ρευστού υδρογονάνθρακα εντός του ταμιευτήρα.(4)

(11)* EOS(equation of state)-> Είναι μια θερμοδυναμική σχέση που περιγράφει την κατάσταση της ύλης με δοσμένο ένα σετ φυσικών συνθηκών. Είναι μια εξίσωση που ενώνει μαθηματικά δύο ή περισσότερες ιδιότητες της μάζας όπως η θερμοκρασία, η πίεση ο όγκος ή η εσωτερική ενέργεια. Το δεύτερο κεφάλαιο αυτής της εργασίας αναλύει εκτενώς την EOS. (11)

(4) Στην προκειμένη περίπτωση οι ιδιότητες που μας αφορούν και απορρέουν από τις βασικές πίεση, όγκος και θερμοκρασία, είναι η ρευστή συμπιεστότητα(fluid compressibility), η πυκνότητα του ρευστού(fluid density), το ιξώδες του ρευστού(fluid viscosity), συντελεστής όγκου διαμόρφωσης (formation volume factor) και ο λόγος διάλυσης του φυσικού αερίου και υγρού υδρογονάνθρακα. Το δεύτερο κεφάλαιο αυτής της εργασίας αναλύει αυτές τις ιδιότητες.(4)

4.7.δ) Ιδιότητες που αφορούν την διεπαφή ρευστού και πετρωμάτων (4)

Επιπλέον ιδιότητες που σχετίζονται με το θέμα είναι:

4.7.δ.1) Συγκέντρωση ρευστού

Η πολυφασική ροή εμφανίζεται όταν διάφορες φάσεις εδρεύουν σε έναν χώρο ταυτόχρονα. Με την λέξη φάσεις εννοείται είτε το γεγονός ότι μια ουσία είναι σε περισσότερες από μια φάσεις (στερεο- υγρό- αέριο), είτε ότι στην αέρια παραδείγματος χάρη φάση υπάρχει αέριος υδρογονάνθρακας, υδρατμοί νερού και αέριο άζωτο. Ο κορεσμός του ρευστού είναι ο λόγος του όγκου της φάσης προς τον όγκο των πόρων του συστήματος.

$$S_a (\text{Κορεσμός } j \text{ άσηV}) = \frac{V_a (\text{ΌγκοV } j \text{ άσηV του sust ήματοV})}{V_p (\text{ΌγκοV των πόρων του sust ήματοV})}$$

4.7.δ.2) Διεπιφανειακή τάση

Η διεπιφανειακή τάση είναι μια ιδιότητα των υγρών, που αναγκάζει τις εξωτερικές στρώσεις του υγρού, να παίρνουν μια κυρτή μορφή και να λειτουργεί σαν βεντούζα με όποια άλλη φάση έρχεται σε επαφή. Η ιδιότητα αυτή προκαλεί την έλξη μεταξύ μορίων διαφορετικών υγρών που έρχονται σε επαφή. Πιο αναλυτικά όμως η διεπιφανειακή τάση αναφέρεται στο 2^ο κεφάλαιο αυτής της εργασίας.(4)

4.7.δ.3) Δυνάμεις τριχοειδούς(4)

Στους υπόγειους ταμιευτήρες υδρογονάνθρακα, παρουσιάζονται οι δυνάμεις τριχοειδούς. Αυτές οι δυνάμεις καθορίζονται σε συνδυασμό με την διεπιφανειακή τάση μεταξύ του ρευστού υδρογονανθρακικού μείγματος και των πετρωμάτων που το περικλείουν, την γεωμετρία, το μέσο μέγεθος των πόρων του πετρώματος και την διαβρεξιμότητα του συστήματος.

Επι προσθέτως στα παραπάνω, η κυρτότητα στην διεπαφή των ρευστών μεταξύ τους επηρεάζεται από την διασπορά του κορεσμού του ρευστού υδρογονανθρακικού μείγματος. Αυτή η

κυρτότητα στην διεπαφή των ρευστών με την σειρά της προκαλεί την μέγιστη δυνατή σμίκρυνση του χώρου που καταλαμβάνουν οι στρώσεις του ρευστού που βρίσκονται σε διεπαφή.

Δύο ρευστά που έρχονται σε επαφή αλλά παραμένουν άμικτα, οφείλουν την αμιγότητά τους στην κυρτότητα των εξωτερικών στρωμάτων τους λόγω της διεπιφανειακής τάσης που αναπτύσσεται μεταξύ τους. Η διαφορά της πίεσης που παρουσιάζεται κατά μήκος της διεπαφής των ρευστών ονομάζεται πίεση τριχοειδούς και συμβολίζεται με το σύμβολο P_c . Ένας πιο απλός ορισμός είναι ο εξής: Πίεση τριχοειδούς είναι η διαφορά πίεσης μεταξύ της υγρής και αέριας φάσης που συνυπάρχουν σε μια ροή, και είναι πάντα μη μηδενική.

$$P_c(S_w) = P_n - P_w \geq 0$$

$$P_c = P \text{ i e s h t r i c o e i d o u } V$$

$$P_n = P \text{ i e s h m h - u g r } \eta V \text{ j } \acute{\alpha} \text{ s h V}$$

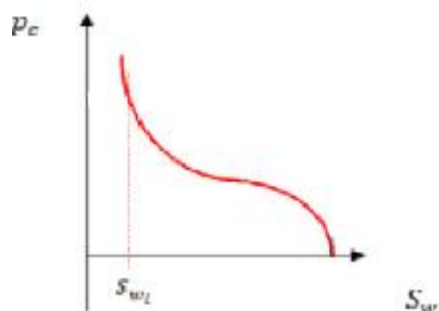
$$P_w = P \text{ i e s h u g r } \eta V \text{ j } \acute{\alpha} \text{ s h V}$$

Το νερό είναι η υγρή φάση, είτε βρίσκεται σε διεπαφή με τον υγρό υδρογονάνθρακα, είτε με το αέριο. Σε τριφασικό σύστημα νερού- υγρού υδρογονάνθρακα- αερίου, το αέριο παίρνει πάντα την θέση της μη- υγρής φάσης. Τέλος, από την διεπαφή νερού –πετρελαίου, η πίεση τριχοειδούς είναι:

$$P_{c_{ow}}(S_w) = P_o - P_w$$

$$P_{c_{ow}} = P \text{ i e s h t r i c o e i d o u } V \text{ s t h n d i e p a j } \eta \text{ p e t r e l a i o u - n e r o u}$$

$$S_w = S_{u g k \acute{\alpha} n t r w s h} / P I \text{ h r } \acute{\alpha} t h t a \text{ n e r o u}$$



Εικόνα 4.10(Γραφική αναπαράσταση της σχέσης της συγκέντρωσης νερού και της πίεσης τριχοειδούς)

Η πίεση τριχοειδούς είναι σημαντική για τους παρακάτω λόγους:

1. Καθορισμός της αρχικής διασποράς του ταμιευτήρα
 2. Υπολογισμός του προβλεπόμενου ανακτώμενου πετρελαίου
 3. Χρήση των δεδομένων της πίεσης του τριχοειδούς για διάφορα συστήματα προσομοίωσης. (4)
- 4.7.5.4) Σχετική διαπερατότητα(4)**

Οι υδρογονανθρακικοί ταμιευτήρες έχουν συνήθως δύο ρευστά. Ως εκ τούτου, για μια καλύτερη περιγραφή της συμπεριφοράς των ρεόμενων ρευστών και της αλληλεπίδραση αυτών με τα πετρώματα, ο ορισμός της απόλυτης διαπερατότητας πρέπει να τροποποιηθεί κατάλληλα. Η μείωση της ποσότητας μιας φάσης σε έναν ταμιευτήρα, οδηγεί και στην μείωση της διαπερατότητας της φάσης αυτής. Η μείωση της διαπερατότητας ονομάζεται ενεργή διαπερατότητα (effective permeability) της φάσης και είναι η ικανότητα του πετρώματος να μεταβιβάζει ένα ρευστό 'x' σε σχέση με την ικανότητά του να μεταβιβάζει ένα άλλο ρευστό 'y' υπό

τις ίδιες πάντα συνθήκες. Η σχετική διαπερατότητα, είναι ο λόγος της ενεργής διαπερατότητας μιας φάσης προς την απόλυτη διαπερατότητα.

$$K_{ra} = \frac{K_a \text{ (Diaper at } \dot{a} \text{hta thVj } \acute{a} \text{shV)}}{K \text{ (Apól uth diaper at } \dot{a} \text{hta)}}$$

Ενώ το άθροισμα των σχετικών διαπερατοτήτων είναι μικρότερο ή ίσο του 1, δλδ:

$$K_{rg} + K_{ro} + K_{rw} \leq 1$$

$$K_{rg} = \text{Scetik } \acute{h} \text{ diaper at } \dot{a} \text{hta aer } \acute{\iota} \text{ou}$$

$$K_{ro} = \text{Scetik } \acute{h} \text{ diaper at } \dot{a} \text{hta petrel } \acute{\iota} \text{ou}$$

$$K_{rw} = \text{Scetik } \acute{h} \text{ diaper at } \dot{a} \text{hta ner } \acute{o} \acute{\upsilon}$$

4.7.δ.5) Κινητικότητα(Mobility)(4)

Η ευκολία της αντικατάστασης ενός ρευστού από ένα άλλο μέσω της χρήσης ενός πορώδους μέσου, καθορίζεται από τον λόγο της σχετικής διαπερατότητας και του ιξώδους του ρευστού. Ο λόγος αυτός λέγεται ρευστή κινητικότητα(mobility) και συμβολίζεται με λ.

$$l_a = \frac{K_{ra}}{m_a}$$

Τέλος, υπάρχει και ο μαθηματικός τύπος(4), όπου συνυπάρχουν οι κινητικότητες του ρευστού που θέλουμε να αντικαταστήσουμε και του εγγεόμενου ρευστού που θα αντικαταστήσει το πρώτο και είναι:

$$x = \frac{l_D}{l_d} = \frac{\frac{K_{rw}}{m_w} \text{ (Reust } \acute{o} \text{ pou antikaqist } \acute{a})}{\frac{K_{ro}}{m_o} \text{ (Reust } \acute{o} \text{ pou antikaqístatai)}}$$

4.8.ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΪΣΗ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ(15)

Οι υδρογονανθρακικοί ταμιευτήρες κατηγοριοποιούνται σε ταμιευτήρες πετρελαίου και ταμιευτήρες αερίου. Οι δύο αυτές κατηγορίες διαχωρίζονται σε υποκατηγορίες λαμβάνοντας υπόψη τα εξής:

- Τη σύνθεση του υδρογονανθρακικού μείγματος στον ταμιευτήρα.
- Την αρχική πίεση και θερμοκρασία του ταμιευτήρα.
- Την πίεση και θερμοκρασία του προϊόντος όταν εξέρχεται στην επιφάνεια.

4.8.α.Ταμιευτήρες πετρελαίου

Αν η θερμοκρασία του ταμιευτήρα είναι μικρότερη από την κρίσιμη θερμοκρασία του ρευστού του ταμιευτήρα, τότε ο ταμιευτήρας ονομάζεται πετρελαίου.

4.8.β.Ταμιευτήρες αερίου

Αν η θερμοκρασία του ταμιευτήρα είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη θερμοκρασία του ρευστού του ταμιευτήρα, τότε ο ταμιευτήρας ονομάζεται αερίου.

4.8.γ. Κατηγοριοποίηση πετρελαίου

Το αγνό πετρέλαιο χωρίζεται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Σύνηθες μαύρο πετρέλαιο
- Χαμηλής συστολής αγνό πετρέλαιο
- Υψηλής συστολής αγνό πετρέλαιο(ευεξάτμιστο)
- Αγνό πετρέλαιο κοντά στην κρίσιμη θερμοκρασία
Η παραπάνω κατηγοριοποίηση οφείλεται στις παρακάτω ιδιότητες του αγνού πετρελαίου:(15)
- Τις φυσικές ιδιότητες του όπως η πυκνότητα, το βάρος κ.α του αποθηκευμένου υδρογονάνθρακα στον ταμιευτήρα σε σχέση με το νερό (API Gravity)(15)
API GRAVITY: American Petroleum Institute(17)

Είναι ένας τρόπος μέτρησης του βάρους του πετρελαίου. Σε μαθηματική διατύπωση έχει τη εξής μορφή(17)

$$API\ GRAVITY = \frac{141.5}{SG} - 137.5.....(1)$$

$$SG(60F^0) = \frac{141.5}{API\ GRAVITY + 131.5}.....(2)$$

$$SG_{oil} - > Specific\ gravity\ of\ oil = \frac{\rho_{ag.Petrelaiou}}{\rho_{nerou}}.....(3)$$

$$\rho_{Eidiko\ baron\ petrelaiou} = \frac{\rho_{Pukn\ thta\ agnou\ petrelaiou}}{\rho_{Pukn\ thta\ nerou}}$$

- Την σύνθεση πετρελαίου(15)
- Τον λόγο παραγωγής πετρελαίου(GOR)
- Το διάγραμμα πίεσης-θερμοκρασίας της υδρογονανθρακικής φάσης (15)

4.8.δ. Χαρακτηριστικά ρευστού υδρογονάνθρακα(16)

Οι ταμιευτήρες πετρελαίου κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με τον τύπο του ρευστού που αποταμιεύουν. Με αύξουσα σειρά ως προς το μοριακό βάρος, τα ρευστά που αποταμιεύονται είναι το πτητικό πετρέλαιο, το μαύρο πετρέλαιο και το βαρέως τύπου πετρέλαιο. Οι ταμιευτήρες βαρέως τύπου πετρελαίου δεν προσελκύουν το ενδιαφέρον, διότι κατά την διάρκεια εκτόνωσης της πίεσης, η απόδοση παραγωγής είναι οριακή αφενός διότι το διαλυμένο εμφωλευμένο αέριο είναι πολύ μικρής ποσότητας, αφετέρου το ιξώδες του κυρίαρχου ρευστού του ταμιευτήρα είναι πολύ υψηλό.

Αυτό που διαχωρίζει τους ταμιευτήρες πτητικού πετρελαίου από τους ταμιευτήρες μαύρου πετρελαίου είναι το εξορυγνιόμενο περιεχόμενο του ταμιευτήρα κατά την διάρκεια εκτόνωσης της αέριας φάσης, καθώς η πίεση μειώνεται. Στην περίπτωση του πτητικού πετρελαίου η αέρια φάση παασύρει και μια αξιόλογη ποσότητα του υγρού υδρογονάνθρακα είτε στην μορφή που είχε στον ταμιευτήρα είτε σε μορφή υγρών συμπυκνωμάτων. Στην περίπτωση του μαύρου πετρελαίου η ποσότητα του υγρού υδρογονάνθρακα είναι πολύ μικρή.

Το πτητικό πετρέλαιο έχει μοριακό βάρος από 43-70. Το μαύρο πετρέλαιο έχει μοριακό βάρος από 70-210. Υδρογονάνθρακες με μοριακό βάρος μικρότερο του 43 ανήκουν στο φυσικό αέριο,

ενώ υδρογονάνθρακες με μοριακό βάρος μεγαλύτερο του 210 ανήκουν στο βαρέως τύπου πετρέλαιο.

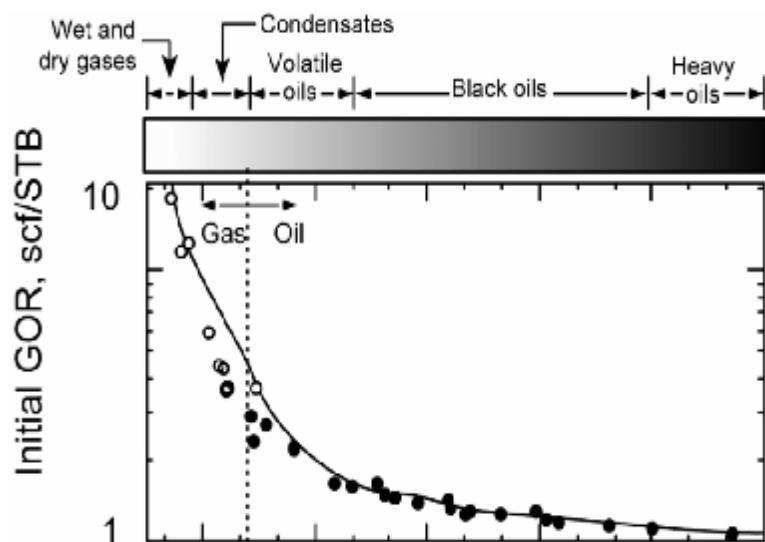
TABLE 9.1—PETROLEUM FLUIDS AND THEIR CHARACTERISTICS

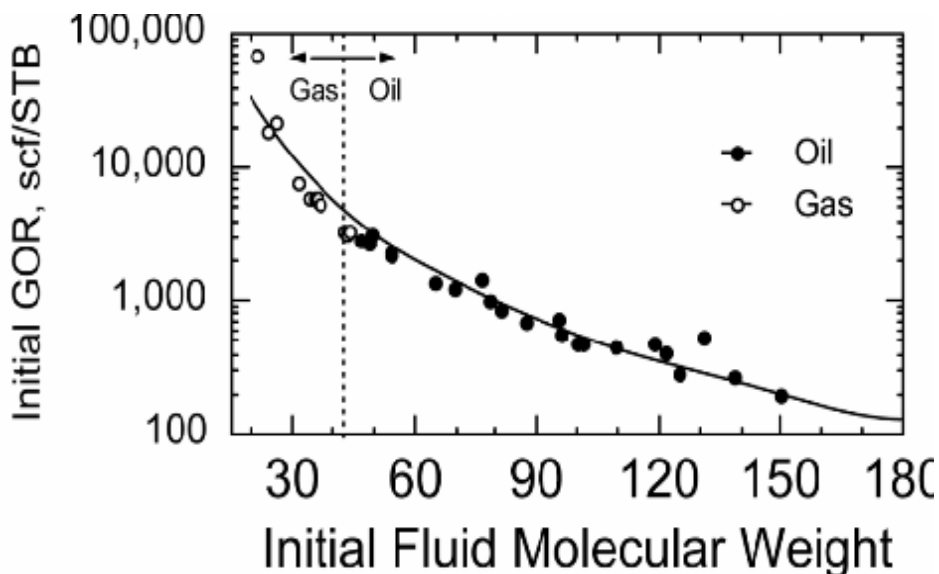
Characteristic	Oils			Gases	
	Heavy Oils and Tars	Black Oils	Volatile Oils	Gas Condensates	Wet and Dry Gases
Initial fluid molecular weight	210+	70 to 210	40 to 70	23 to 40	<23
Stock-tank-oil color	black	brown to light green	greenish to orange	orange to clear	clear
Stock-tank oil-gravity, °API	5 to 15	15 to 45	42 to 55	45 to 60	45+
C ₇ -plus fraction, mol%	>50	35 to 50	10 to 30	1 to 5	0 to 1
Initial dissolved GOR, scf/STB	0 to 200	200 to 900	900 to 3,500	3,500 to 30,000	30,000+
Initial FVF, B_{oi} , RB/STB	1.0 to 1.1	1.1 to 1.5	1.5 to 3.0	3.0 to 20.0	20.0+
Typical reservoir temperature, °F	90 to 200	100 to 200	150 to 300	150 to 300	150 to 300
Typical saturation pressure, psia	0 to 500	300 to 5,000	3,000 to 7,500	1,500 to 9,000	—
Volatile-oil/gas ratio, STB/MMscf*	0	0 to 10	10 to 200	50 to 300	0 to 50
Maximum vol% liquid during CCE**	100	100	100	0 to 45	0
OOIP, STB/acre-ft (bulk)	1,130 to 1,240	850 to 1,130	400 to 850	60 to 400	0 to 60
OGIP, Mscf/acre-ft (bulk)	0 to 200	200 to 700	300 to 1,000	500 to 2,000	1,000 to 2,200

*At bubblepoint pressure. **Constant composition expansion of reservoir fluid.

Εικόνα 4.11 (Αναλυτική κατηγοριοποίηση των υδρογονανθρακικών μειγμάτων)

Τα συμπυκνώματα που εμφωλεύονται στο αναδυόμενο αέριο υπολογίζονται με τον λόγο Συμπυκνώματα/Αέριο με μονάδες μέτρησης STB/MMscf=standard barrel/10⁶ standard cubic feet. Στο μαύρο πετρέλαιο ο λόγος αυτός είναι 1-10 STB/MMscf. Στο πτητικό πετρέλαιο ο λόγος αυτός είναι 10-300 STB/MMscf. Μια άλλη μονάδα μέτρησης είναι τα gallons/10³scf. Στη περίπτωση του μαύρου πετρελαίου είναι 0,04-0,4 gallons/10³scf, ενώ στην περίπτωση του πτητικού πετρελαίου είναι 0,4-8 gallons/10³scf.(16)





4.12,4.13

Τα δύο παραπάνω διαγράμματα στις εικόνες 4.12,4.13 αναπαριστούν το GOR(gas/ oil ratio= λόγος αερίου/πετρελαίου) συναρτήσει 36 ατομικών βαρών υδρογονανθρακικών μειγμάτων. (16)

Ο συντελεστής όγκου διαμόρφωσης(19)(Formation Volume Factor->FVF) είναι ένας αδιάστατος λόγος, όπου στον αριθμητή έχουμε τον όγκο των υδρογονανθρακικών μειγμάτων σε συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας ταμιευτήρα με μονάδες μέτρησης τα barrels(RB-βαρέλια). Στον παρονομαστή έχουμε τον όγκο των υδρογονανθρακικών μειγμάτων σε συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους σε μονάδες μέτρησης τα Stock Tank barrels. Ουσιαστικά ο όγκος διαμόρφωσης αναδεικνύει την διαφορά του όγκου του ίδιου υδρογονανθρακικού μείγματος στον ταμιευτήρα σε σχέση με την επιφάνεια του εδάφους.(19)

Τα βαρέλια είναι μονάδα μέτρησης του όγκου(20,21). Οι Αμερικανοί αντιστοιχούν το 1 βαρέλι με 42 αμερικανικά γαλόνια ή 35 αγγλικά γαλόνια ή 159 λίτρα. Οι Καναδοί που εξαγάγουν αέριο και πετρέλαιο στις Η.Π.Α χρησιμοποιούν την επίσημη παγκόσμια αντιστοιχία που είναι $1m^3 = 1000$ λίτρα = 6.29 βαρέλια. Τέλος το $1m^3 = 1000$ λίτρα = 35.31 standard cubic feet.(20,21)

Πίσω στα διαγράμματα τώρα(16), τα πτητικά πετρέλαια έχουν FVF από 1.5-3. Τα μαύρα πετρέλαια έχουν FVF 1.1-1.5. Το GOR των πτητικών πετρελαίων 900-3500 standard cubic feet/ stock tank barrels, ενώ το μαύρο πετρέλαιο έχει GOR 200-900 standard cubic feet. Αξίζει να σημειωθεί πως υπάρχει και ο αντίστροφος συντελεστής διαμόρφωσης OOIP(original oil in place). Που καταδεικνύει, πως υδρογονανθρακικά μείγματα με χαμηλό FVF έχουν μεγάλο απόθεμα σε υγρό πετρέλαιο. Άρα το υδρογονανθρακικό μείγμα που ονομάζεται μαύρο πετρέλαιο έχει μεγαλύτερες ποσότητες υγρού πετρελαίου από το πτητικό πετρέλαιο. Οι ταμιευτήρες μαύρου πετρελαίου έχουν 850-1130 stock tank barrel/acre feet OOIP ενώ οι ταμιευτήρες πτητικού πετρελαίου έχουν 450-850 stock tank barrel/acre feet OOIP.(16)

(To 1 acre feet=43560.21 cubic feet=1233.49 m³(22))

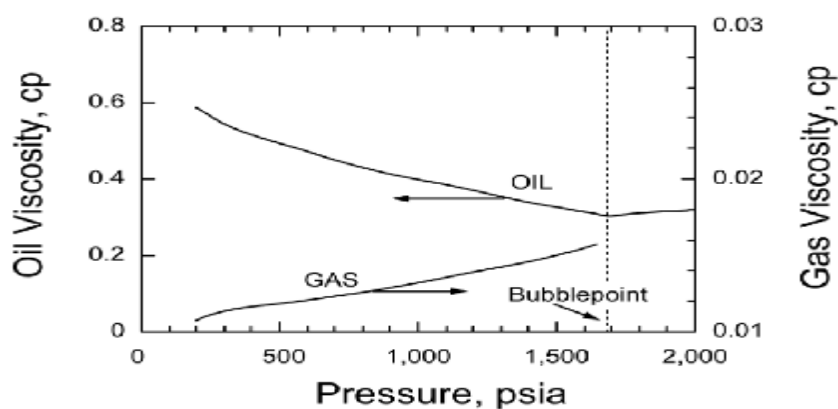
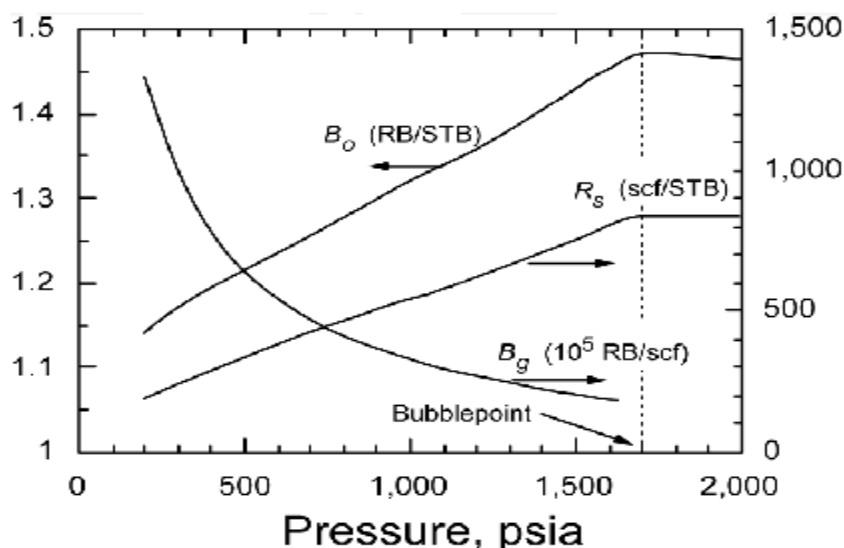
Συμπερασματικά(16), οι ταμιευτήρες μαύρου πετρελαίου αποδίδουν ελάχιστα λιγότερο από τους ταμιευτήρες πτητικού πετρελαίου διότι το πτητικό πετρέλαιο έχει μικρότερο ιξώδες και περισσότερο διαλυμένο αέριο με αποτέλεσμα το μείγμα να είναι πιο ευκίνητο. Υστερεί όμως σε ποσότητα υγρού πετρελαίου σε σχέση με το μαύρο πετρέλαιο.(16)

4.8.ε. Ιδιότητες ρευστού πετρελαίου(16)

Το μαύρο και πηητικό πετρελαίου χαρακτηρίζονται από τις παρακάτω παραμέτρους σε συνθήκες PVT(standard pressure-volume-temperature)

- FVF του πετρελαίου (B_o)
- FVF του αερίου B_g)
- GOR_{ratio} (R_s)
- Volatilized oil/ gas ratio (R_v)

Οι παραπάνω ιδιότητες σε αντίθεση με άλλες ιδιότητες είναι απαραίτητες για ένα μεγάλο εύρος υπολογισμών στην γεωμηχανική, παράδειγμα στην μέτρηση του ΟΟΙΡ. Το σχεδιάγραμμα 2 αναπαριστά τους παραμέτρους του PVT σε συνάρτηση της πίεσης για το μαύρο πετρέλαιο στο δυτικό Τέξας σε βάθος 6700 πόδια(2 χιλιόμετρα) με αρχική πίεση 3100 psia(211 atm ή 21.4 Krascal) και θερμοκρασία 131 °F(55 °C, 328.15 K). Μέχρι την πίεση των 2000psia(136 atm), έχουν καταγραφεί οι ιδιότητες του ρευστού. Το υδρογονανθρακικό μείγμα βράζει στα 1688 psia(115 atm) και έχει ατομικό βάρος 81. Το σχεδιάγραμμα 3 έχει συνοψίσει τα χαρακτηριστικά της ανάλυσης. Το μείγμα έχει FVF πετρελαίου 1.467 RB/STB και λόγο αερίου/πετρελαίου GOR 838 standard cubic feet/stock tank barrel. Από τα νούμερα καταλαβαίνουμε ότι πρόκειται για πηητικό ευεξάτμιστο πετρέλαιο.



Εικόνα 4.14,4.15(σχεδιάγραμμα 2,3)

Στους πίνακες 2,3 αναδεικνύονται οι βασικές ιδιότητες του ρευστού υδρογονάνθρακα και την ακριβή σύνθεση του.

p (psia)	B_o (RB/STB)	B_g (RB/Mscf)	R_s (scf/STB)	μ_o (cp)	μ_g (cp)	Volume Fraction Liquid*
2,000	1.467		838.5	0.3201		1.0000
1,800	1.472		838.5	0.3114		1.0000
1,700	1.475		838.5	0.3071		1.0000
1,640	1.463	1.920	816.1	0.3123	0.0157	0.9780
1,600	1.453	1.977	798.4	0.3169	0.0155	0.9600
1,400	1.408	2.308	713.4	0.3407	0.0140	0.8670
1,200	1.359	2.730	621.0	0.3714	0.0138	0.7540
1,000	1.322	3.328	548.0	0.3973	0.0132	0.6440
800	1.278	4.163	464.0	0.4329	0.0126	0.5130
600	1.237	5.471	383.9	0.4712	0.0121	0.3750
400	1.194	7.786	297.4	0.5189	0.0116	0.2320
200	1.141	13.331	190.9	0.5893	0.0108	0.0970

*From constant composition expansion.

<u>Component</u>	<u>Mol%</u>
N ₂	0.28
C ₁	28.98
CO ₂	0.20
C ₂	10.34
C ₃	12.03
i-C ₄	0.56
n-C ₄	6.02
i-C ₅	1.47
n-C ₅	2.93
C ₆	3.42
C ₇₊	33.15
Total	100.00
Fluid molecular wt.	81.2

Εικόνα 4.16,4.17(Πίνακες 2,3)

Καταληκτικά οι παράμετροι σε συνθήκες PVT για το μαύρο πετρέλαιο καθορίζονται με πειράματα DV(differential vaporization). Στο πτητικό πετρέλαιο χρησιμοποιείται η μέθοδος CVD(constant volume depletion). Οι συγκεκριμένες μέθοδοι χρήζουν περαιτέρω ανάλυσης που όμως αποκλίνει από τον στόχο της εργασίας αυτής.(16)

4.9.ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ(15)

Πιο συγκεκριμένα στους ταμειυτήρες φυσικού αερίου, που σε αυτούς οφείλουμε να επικεντρωθούμε, χωρίζονται σε 4 βασικές κατηγορίες:

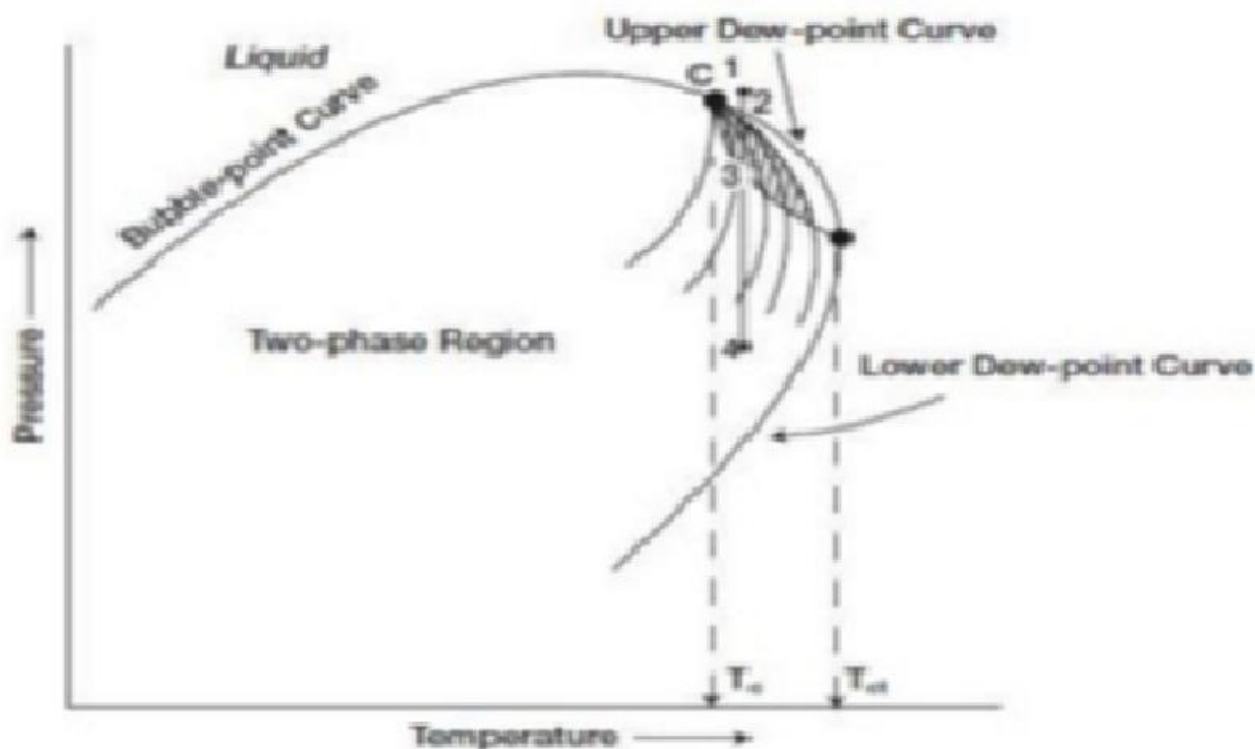
1. Παλινδρομικοί ταμειυτήρες αερίου(Retrograde gas reservoirs)

2. Ταμιευτήρες συμπυκνωμάτων αερίου σε οριακή κρίσιμη θερμοκρασία(Near critical gas condensate reservoirs)
3. Ταμιευτήρες υγροποιημένου αερίου(Wet gas reservoirs)
4. Ταμιευτήρες ξηρού αερίου(Dry gas reservoirs)

4.9.α. Παλινδρομικοί ταμιευτήρες αερίου

Αν η θερμοκρασία του ταμιευτήρα βρίσκεται ανάμεσα στην κρίσιμη θερμοκρασία T_c και T_{ct} τότε μιλάμε για ταμιευτήρα παλινδρόμησης. Η T_{ct} είναι η κατώτερη θερμοκρασία που το υδρογονανθρακικό μείγμα έχει μόνο αέρια μορφή ανεξάρτητα τι πίεση θα ασκηθεί. Η T_c είναι μικρότερη από την T_{ct} , και είναι η κατώτερη θερμοκρασία στην οποία το υδρογονανθρακικό μείγμα έχει μόνο αέρια μορφή **ΕΚΤΟΣ ΑΝ** ασκηθεί η κρίσιμη πίεση οπότε τότε υπάρχει πιθανότητα υγροποίησης του αερίου υδρογονανθρακικού μείγματος.(23)

phase diagram



Εικόνα 4.19 (Διαγραμματική απεικόνιση του παλινδρομικού ταμιευτήρα)

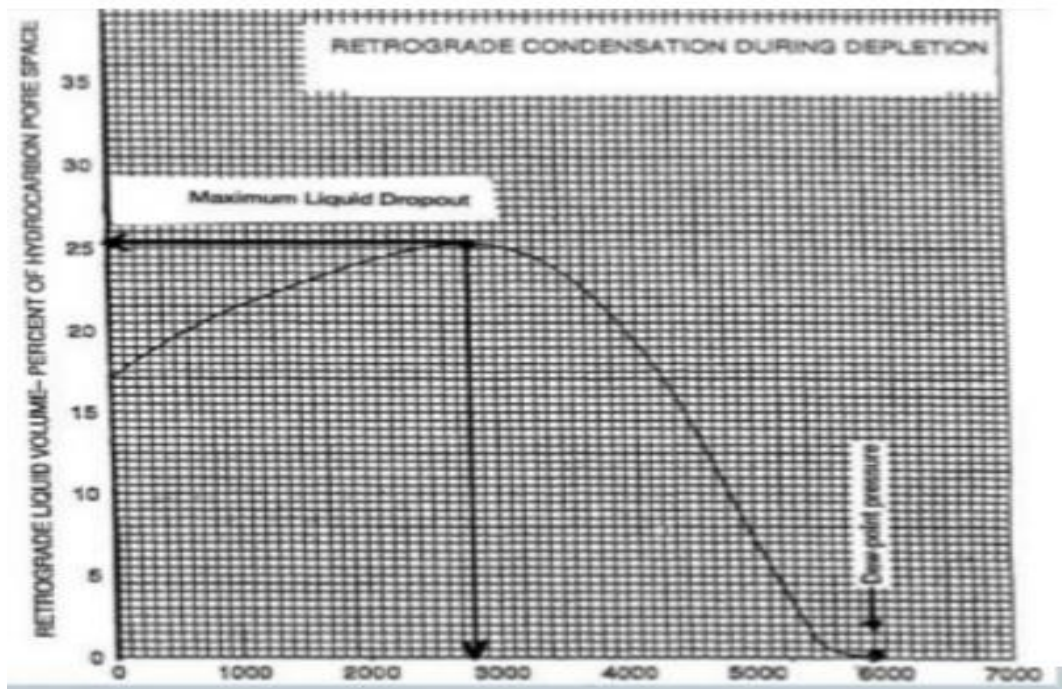
Η αρχική κατάσταση του ταμιευτήρα παλινδρόμησης αντιπροσωπεύεται από το σημείο 1 στο διάγραμμα της εικόνας 4.19. Επειδή η πίεση του ταμιευτήρα είναι μεγαλύτερη από την πίεση δρόσου το υδρογονανθρακικό μείγμα είναι σε αέρια μορφή. Καθώς όμως η πίεση πέφτει ισοθερμικά κατά την διάρκεια της εξόρυξης από το σημείο 1 πηγαίνει στο σημείο 2. Σε αυτό το σημείο η έλξη των μορίων των ελαφριών υδρογονανθράκων και των βαρέων υδρογονανθράκων μειώνεται και ουσιαστικά δημιουργούνται δύο φάσεις.

Έτσι το υδρογονανθρακικό μείγμα βαρέως τύπου αρχίζει να συμπυκνώνεται. Αυτή η συμπύκνωση που υφίσταται το μείγμα λόγω παλινδρόμησης της φάσης (από αέρια σε υγρή) συνεχίζεται μέχρι το σημείο 3 στο διάγραμμα. Καθώς μειώνεται και άλλο η πίεση τα πιο βαριά μόρια του μείγματος οδηγούνται στην φυσιολογική εξάτμισή τους. Αυτή η διαδικασία οδηγεί

όλο και λιγότερα μόρια αερίου να προσκρούουν στην επιφάνεια της υγρής φάσης και όλο και περισσότερα μόρια να απομακρύνονται από την υγρή φάση.

Η διαδικασία εξάτμισης συνεχίζεται μέχρι η πίεση να φτάσει στο χαμηλότερο σημείο δρόσου. Αυτό σημαίνει πως ότι υγρό μείγμα υδρογονανθράκων δημιουργήθηκε κατά την παλινδρόμηση επανέρχεται στην αρχική αέρια μορφή του που είναι η αέρια, αφού ο ταμιευτήρας είναι εκ φύσεως αερίου.(15)

shrinkage curve



4.20(Καμπύλη συρρίκνωσης)

Παραπάνω βλέπουμε μια καμπύλη συρρίκνωσης. Η καμπύλη συρρίκνωσης είναι μια καμπύλη που απεικονίζεται σε ένα διάγραμμα, με άξονα x την πίεση και με άξονα y τον όγκο του ρευστού υδρογονανθρακικού μείγματος. Ουσιαστικά δείχνει την πτώση του όγκου του υδρογονανθρακικού μείγματος στον ταμιευτήρα κατά την διάρκεια εκτόνωσης της πίεσης. Η παραπάνω καμπύλη συρρίκνωσης αφορά έναν ταμιευτήρα πλούσιο σε αέρια συμπυκνώματα. Η καμπύλη αυτή συνήθως ονομάζεται **καμπύλη απόσυρσης (LDO)** του ρευστού υδρογονάνθρακα. Το μέγιστο σημείο της καμπύλης απόσυρσης είναι στο 26.5% και εμφανίζεται όταν η πίεση πέφτει από τα 5900 psia(401.47 atm, πίεση δρόσου) στα 2800 psia(190.53 atm).

Κατά μέσο όρο σε τέτοια είδη ταμιευτήρα, η καμπύλη απόσυρσης σπάνια ξεπερνά το 15%- 19% του όγκου των πόρων του πορώδες μέσου. Ο κορεσμός του ρευστού δεν είναι αρκετά μεγάλος για να επιτρέψει την ροή του ρευστού. Παρόλα αυτά, 40 εξισώσεις κανονικών συνθηκών και αναλύσεις ξεχωριστών ζευγαριών PVT(Πίεσης-Όγκου-Θερμοκρασίας) που έχουν διεξαχθεί στον κοντινό περίγυρο των πηγαδιών εξόρυξης εκεί που η πτώση πίεσης είναι μεγάλη, δείχνουν ότι η καμπύλη απόσυρσης του ρευστού υδρογονάνθρακα μπορεί να προκύψει σε δύο φάσεις. Η μια είναι η αέρια φάση και η άλλη είναι η παλινδρομούσα υγρή φάση.

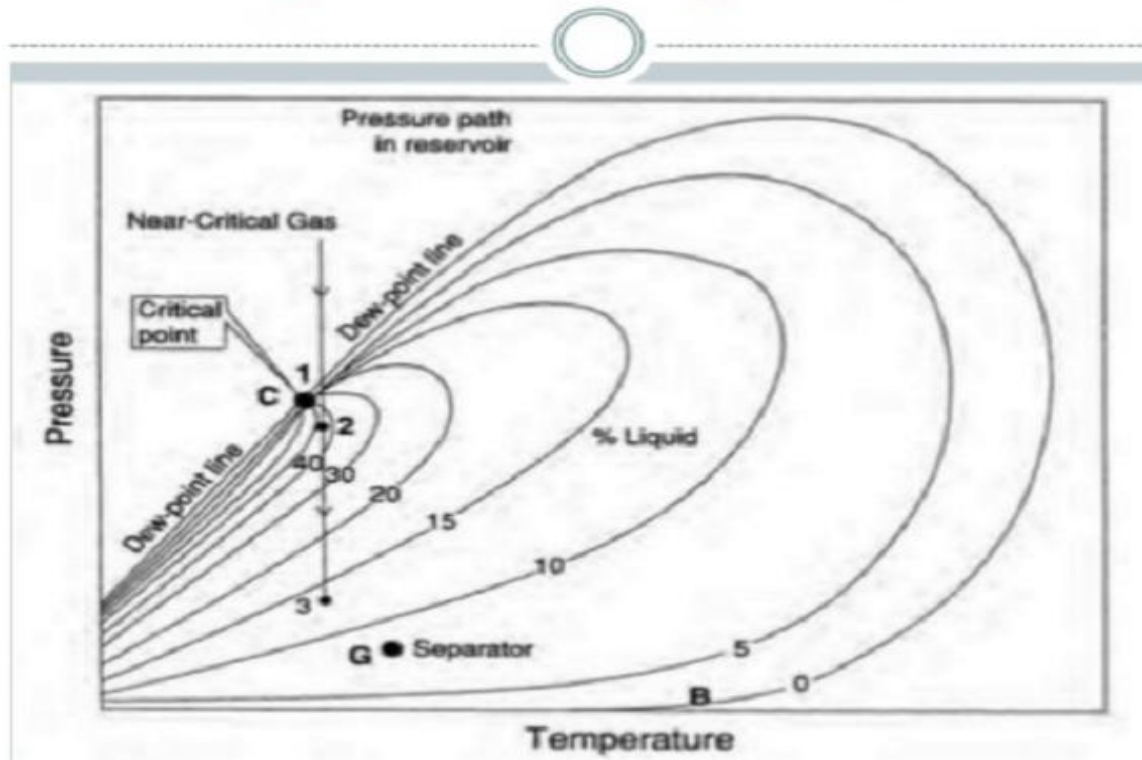
Τα φυσικά χαρακτηριστικά αυτού του είδους ταμιευτήρα είναι:

- Gas oil ratio απο 8000-70000 standard cubic feet/stock tank barrels->Γενικά το GOR αυξάνεται λόγω της καμπύλης απόσυρσης του ρευστού υδρογονάνθρακα (LDO) και την απώλεια των βαρέων συστατικών του υγρού υδρογονάνθρακα
- Η πυκνότητα των συμπυκνωμάτων είναι στα 50⁰ API
Όποιο αέριο αποκολλάται απο το διάλυμα ευεξάτμιστου πετρελαίου αλλά παραμένει στον ταμιευτήρα ονομάζεται παλινδρομίζον αέριο, και προκαλεί παλινδρόμηση και στα συμπυκνώματα του υδρογονάνθρακα καθώς πέφτει η πίεση.

4.9.β. Ταμιευτήρες συμπυκνωμάτων αερίου σε οριακή κρίσιμη θερμοκρασία(Near critical gas condensate reservoirs)

Αν η θερμοκρασία του ταμιευτήρα είναι κοντά στην κρίσιμη θερμοκρασία, το υδρογονανθρακικό μείγμα ονομάζεται συμπυκνώματα αερίου κοντά στην κρίσιμη θερμοκρασία. Η ογκομετρική μεταβολή αυτής της κατηγορίας ταμιευτήρα περιγράφεται στο διάγραμμα της εικόνας 4.21 παρακάτω.

phase diagram

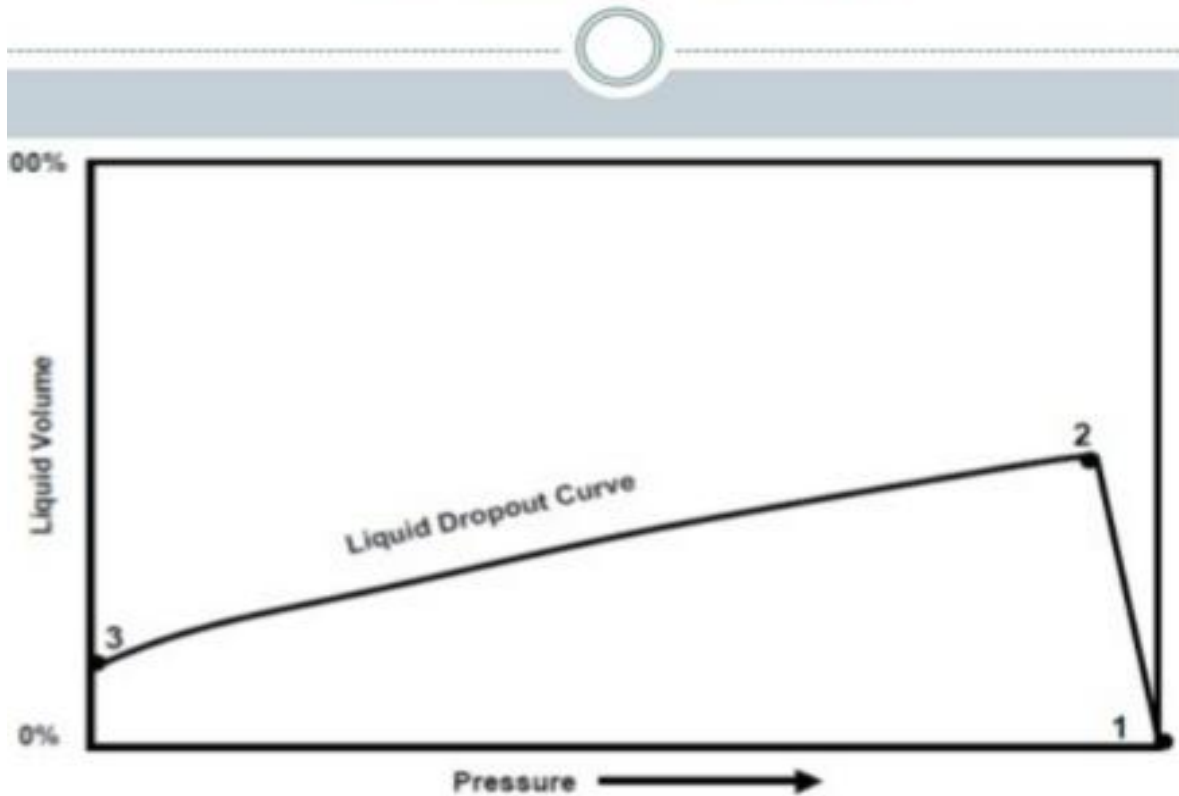


Εικόνα 4.21 (Αντιπροσωπευτικό διάγραμμα)

Επειδή όλες οι γραμμές συγκλίνουν στο κρίσιμο σημείο, μια ταχεία ανάπτυξη της υγρής φάσης εμφανίζεται κάτω απο το σημείο δρόσου καθώς η πίεση μειώνεται στο σημείο 2. Αυτό συμβαίνει διότι πολλές γραμμές διασταυρώνονται ταχέως απο την ισοθερμική μείωση της πίεσης. Μέχρι το σημείο που ο υγρός υδρογονάνθρακας φτάνει την πλήρη ανάπτυξή του, και έπειτα αρχίζει την συρρίκνωση ξανά, μεταβαίνοντας απο την παλινδρομική του φάση σε μια υπόσταση ευεξάτμιστου μείγματος.

Η καμπύλη συρρίκνωσης αυτού του είδους ταμιευτήρα φαίνεται παρακάτω:

shrinkage curve



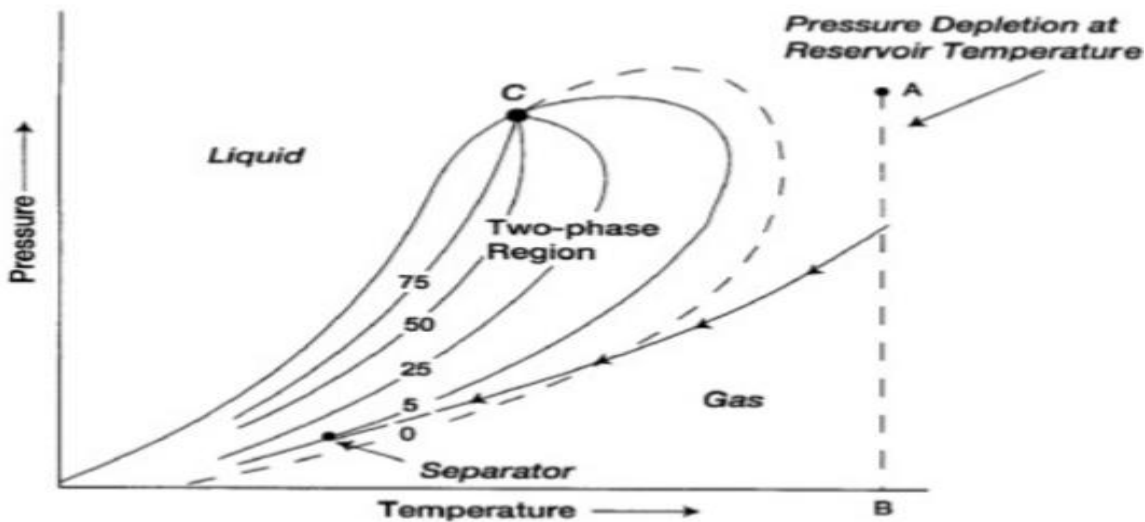
4.22 (Καμπύλη συρρίκνωσης)

4.9.γ. Ταμιευτήρες υγροποιημένου αερίου (Wet gas reservoirs) (15)

Αυτή η κατηγορία ταμιευτήρα έχει ένα ξεχωριστό τύπο υδρογονάνθρακα. Η θερμοδυναμική συμπεριφορά του ρευστού στον ταμιευτήρα εξαρτάται από το πόσο απόλυτος είναι ο έλεγχος της εξόρυξης και της εξάντλησης του αποθέματος του ταμιευτήρα. Οι ταμιευτήρες υγροποιημένου αερίου έχουν τις εξής ιδιότητες:

- Gas oil ratio από 60000-100000 standard cubic feet/stock tank barrels (scf/STB)
 - Το βάρος του υδρογονανθρακικού αποθέματος είναι πάνω από 60⁰ API
 - Το χρώμα του είναι διαφανές/ άσπρο
 - Οι συνθήκες διαχωρισμού (πίεση και θερμοκρασία διαχωρισμού) είναι συνδυασμός της διφασικής φύσης του αποθέματος
- Παρακάτω βλέπουμε το διάγραμμα της διφασικής φύσης του αποθέματος

phase diagram

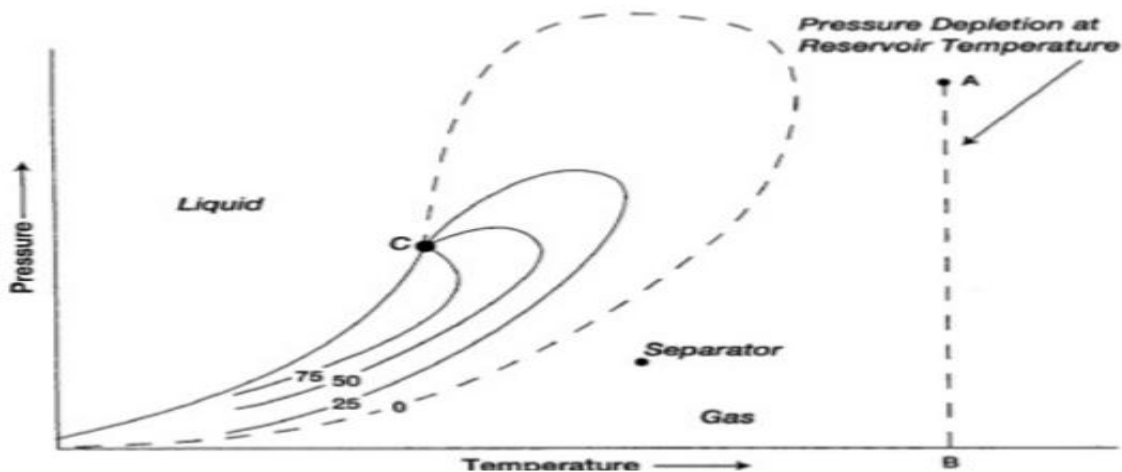


4.23(Διάγραμμα φάσεων)

4.9.δ. Ταμιευτήρες ξηρού αερίου(dry gas reservoirs)

Στους ταμιευτήρες αυτούς, όταν η πίεση εκτονώνεται το ρευστό υδρογονανθρακικό μείγμα συστέλλεται. Το υδρογονανθρακικό μείγμα έχει αέρια μορφή και στον ταμιευτήρα και στο πηγάδι εξόρυξης. Το μόνο ρευστό που συνυπάρχει με τον υδρογονάνθρακα είναι το νερό. Όταν το GOR υπερβαίνει τα 100000 scf /STB αναφερόμαστε σε ταμιευτήρες ξηρού αερίου. Η κινητική ενέργεια του μείγματος είναι τόσο μεγάλη που τα μόρια του δεν προσκολλώνται στο νερό αλλά διαχωρίζονται από αυτό, όταν ακόμα συνυπάρχουν στον ταμιευτήρα. Παρακάτω βλέπουμε το διάγραμμα της φάσης του ρευστού αυτού του είδους του ταμιευτήρα.

phase diagram



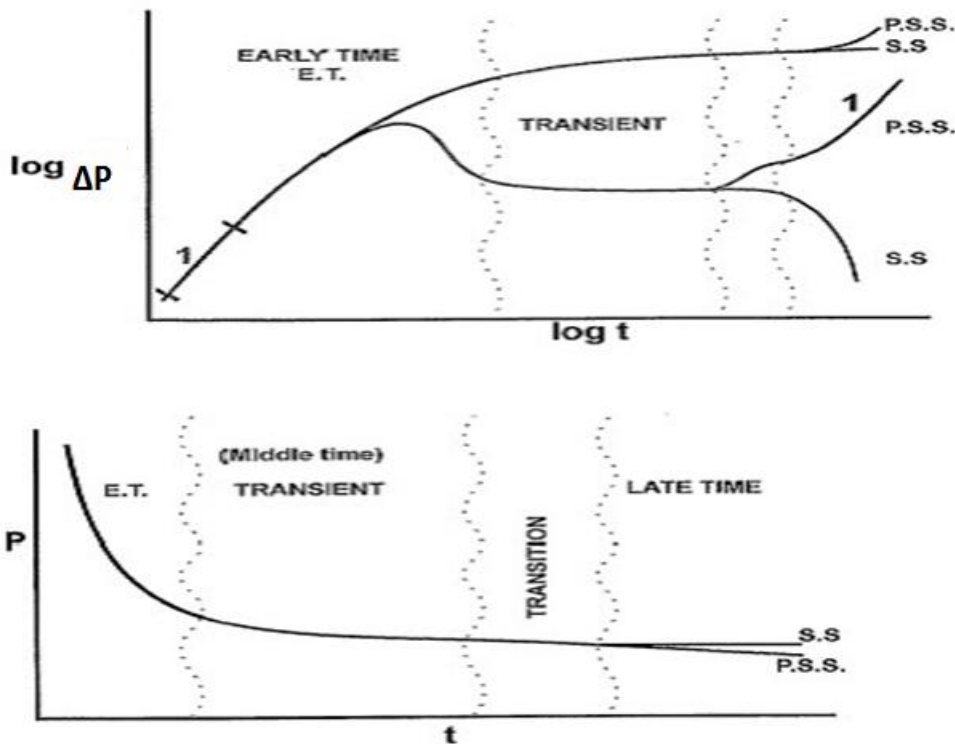
4.24(διάγραμμα φάσεων)

(15)

4.10.ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΡΟΗΣ(24)

Η ροή ενός ρευστού σε ταμιευτήρες διαφέρει σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Αυτό εξαρτάται από το σχήμα και το μέγεθος του ταμιευτήρα. Σε αυτό το κεφάλαιο κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με την περιοχή του χρόνου και τον τύπο του πηγαδιού που ανοίγεται για την εκμετάλλευση του περιεχομένου του ταμιευτήρα. Στα παρακάτω διαγράμματα βλέπουμε την μεταβολή της πίεσης σε ταμιευτήρες σε σχέση με την χρονική κατηγοριοποίηση που έχουν καταταχθεί. Οι βασικές χρονικές κατηγοριοποιήσεις είναι τρείς:

- Αρχές του χρόνου(early time)
- Σταθερής κατάστασης(steady state)
- Ψευδοσταθερής κατάστασης(pseudo steady state)



Εικόνα 4.25(χρονικά διαγράμματα)

Το πρώτο διάγραμμα, αναφέρει την αυξανόμενη τάση της πίεσης μέχρι την αρχή της εκμετάλλευσης του ταμιευτήρα και την σταδιακή μείωση της, από το χρονικό μέσο και έπειτα. Οι διακλαδώσεις στο διάγραμμα υποδεικνύουν τα διαφορετικά πηγάδια εξόρυξης για αύξηση της παραγωγικότητας. Το δεύτερο διάγραμμα δείχνει μια πιο μακροσκοπική εικόνα της πίεσης του ταμιευτήρα, από την αρχή εκμετάλλευσης του, μέχρι το παραγωγικό του τέλος.

Τα πηγάδια εξόρυξης που ανοίγονται για την εκμετάλλευση του περιεχομένου των ταμιευτήρων καθορίζουν και το είδος του ταμιευτήρα και χωρίζονται σε κάθετα πηγάδια εξόρυξης(vertical wells), οριζόντια πηγάδια εξόρυξης(horizontal wells) και πολλαπλών ρηγμάτων οριζόντια πηγάδια(multi-fractured horizontal wells). Ο παρακάτω πίνακας δίνει μια συνοπτική παρουσίαση των ταμιευτήρων που χωρίζονται βάσει του είδους του πηγαδιού και του χρονικού εύρους που βρίσκονται.

Διαμόρφωση Πηγαδιών	Early time	Middle time	Transition time	Late time
Κάθετα Πηγάδια Εξόρυξης (A)	<ul style="list-style-type: none"> Απόθεμα πηγαδιού εξόρυξης Γραμμική δομή Ροής Διγραμμική δομή Ροής Σφαιρική ροή 	<ul style="list-style-type: none"> Ακτινική Ροή 	<ul style="list-style-type: none"> Πεδίο μη υπαρκτής ροής Κανάλι γραμμικής ροής 	<ul style="list-style-type: none"> Ψευδο-Σταθερή κατάσταση ροής Σταθερή κατάσταση ροής
Οριζόντια Πηγάδια Εξόρυξης (B)	<ul style="list-style-type: none"> Απόθεμα πηγαδιού εξόρυξης Οριζόντια ακτινική ροή Γραμμική οριζόντια ροή Ελλειπτική ροή 	<ul style="list-style-type: none"> Οριζόντια ακτινική ροή 	<ul style="list-style-type: none"> Κανάλι γραμμικής ροής 	<ul style="list-style-type: none"> Ψευδο-Σταθερή κατάσταση ροής Σταθερή κατάσταση ροής
Πηγάδια εξόρυξης πολλαπλών υπόγειων ρηγμάτων(ομαιάζουν με τα οριζόντια πηγάδια εξόρυξης) (Γ)	<ul style="list-style-type: none"> Απόθεμα πηγαδιού εξόρυξης Κάθετη ακτινική ροή εντός των στέρσεων δομών του ταμιευτήρα Γραμμική ροή εντός των στέρσεων δομών του ταμιευτήρα Διγραμμική ροή 	<ul style="list-style-type: none"> Πρόωρη γραμμική ροή(προς τις στερεές δομές του ταμιευτήρα) Πρόωρη ακτινική ροή (που περικυκλώνει τις στερεές δομές του ταμιευτήρα) Σύνθετη γραμμική ροή Μεταχρονισμένη ακτινική ροή(που περικυκλώνει τις στερεές δομές του ταμιευτήρα) 		<ul style="list-style-type: none"> Ψευδο-Σταθερή κατάσταση ροής

Εικόνα 4.26(Συνοπτική κατηγοριοποίηση σε σχέση με τη χρονική θέση και το είδος πηγαδιού)

Παρακάτω θα αναλύσουμε κάθε κουτάκι της εικόνας ξεχωριστά.

4.10.α. Απόθεμα επιφάνειας πηγαδιού εξόρυξης(Wellbore storage)(24)

(A) ,(B), (Γ) Στον παραπάνω πίνακα:

Όταν ένα εύρωστο πηγάδι σφραγίζεται στην άνω επιφάνεια του, η εκροή υδρογονάνθρακα συνεχίζεται στο τμήμα του φρεατίου που είναι βυθισμένο στα έγκατα του ταμειυτήρα και μετά το σφράγισμα. Αυτό το είδος της ροής ονομάζεται μεταροή υλικού (after flow storage) και είναι πολύ σημαντική για την μελέτη των δεδομένων της πίεσης που συλλέγονται καθόλη την διάρκεια της εκμετάλλευσης του περιεχομένου του ταμειυτήρα. Η μεταροή ρευστού υδρογονάνθρακα εξαρτάται από την συμπιεστότητα που έχει το μείγμα στο πηγάδι. Για ένα πηγάδι που παράγει αποκλειστικά αέριο, η συμπιεστότητα είναι υψηλή, με αποτέλεσμα αυτή η μεταροή να διαρκέσει για σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα.

Σε κάποιες περιπτώσεις που η μεταροή αποτελείται από αέριο και από υγρό υδρογονάνθρακα, το απόθεμα του πηγαδιού επηρεάζεται από την συμπιεστότητα του μείγματος, αλλά και από την μεταβολή της στάθμης του υγρού υδρογονάνθρακα εντός του σφραγισμένου πηγαδιού. Η εκμετάλλευση αυτού του αποθέματος επιτυγχάνεται αποδοτικότερα με την τοποθέτηση μιας κυλινδρικής κατασκευής στο πηγάδι. Αυτό αρχικά μειώνει τον όγκο του πηγαδιού και γεμίζει αστραπιαία τον χώρο του πηγαδιού πάνω από την επιφάνεια σφράγισης.(24)

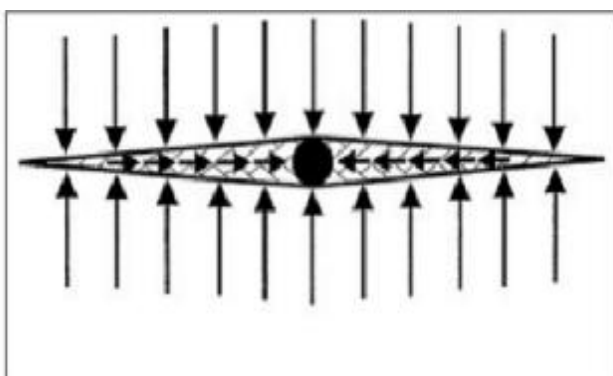
4.10.β.Διγραμμική δομή ροής (bilinear fracture flow)(24)

(A) Στον παραπάνω πίνακα:

Διγραμμική δομή ροής εμφανίζεται σε διαβρωμένα πηγάδια όπου τα ορυκτά του πηγαδιού έχουν περιορισμένη αγωγιμότητα. Σε αυτού του είδους τη ροή εμφανίζονται δύο ροές. Μια από το δίκτυο οξέων που έχει εκχυθεί στις ρωγμές των ορυκτών και μια ροή από τις ρωγμές των ορυκτών προς το πηγάδι εξόρυξης. Αυτή ροή εμφανίζεται σε μεγάλου μήκους ρωγμές η σε φυσικά ρήγματα του υπεδάφους.(24)

Πλέγμα οξείδωσης: Πλέγμα οξείδωσης είναι ο όρος που αναφέρεται σε έναν από τους δύο τρόπους τόνωσης της ροής του υδρογονανθρακικού μείγματος. Συγκεκριμένα εκχύνεται ένα είδος οξέος στα πετρώματα του ταμειυτήρα ώστε να διασταλούν οι πόροι των στέρεων πετρωμάτων με στόχο όπως προανέφερα την ενίσχυση της ροής του υδρογονάνθρακα προς την επιφάνεια. Κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας το οξύ διαλύει στέρεα πετρώδη στοιχεία και λάσπη που σαμποτάρουν την διαπερατότητα των υπόλοιπων πετρωμάτων που περικλείουν των υδρογονάνθρακα. Η συγκεκριμένη διαδικασία χρησιμοποιείται και για επιδιόρθωση της διαμόρφωσης του υπόγειου ταμειυτήρα λόγω πρότερης εκμετάλλευσης.(25)

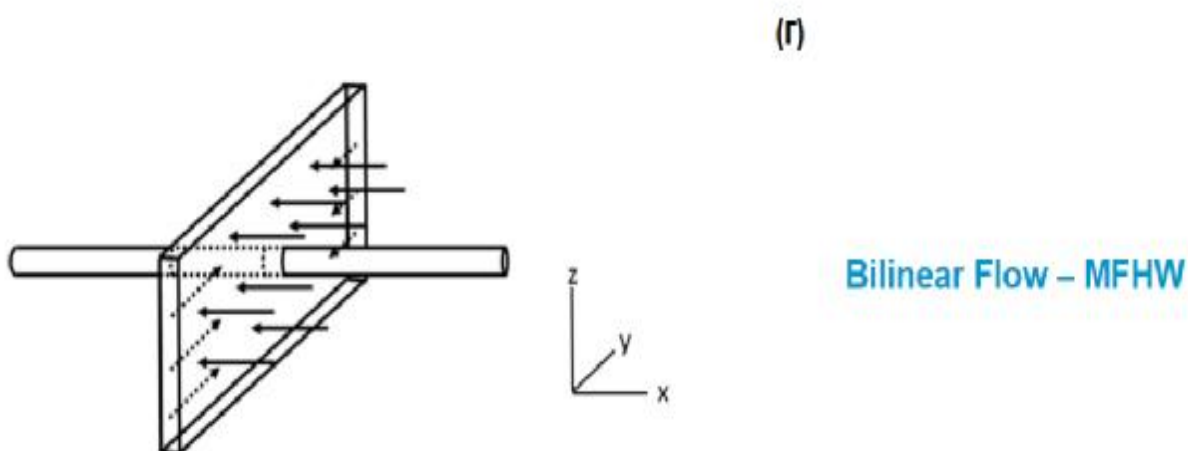
Συνέπειες του πλέγματος οξείδωσης: Με την χρήση αυτής της μεθόδου δημιουργούνται υπόγεια κανάλια ροής, γνωστά και ως σκουληκότρυπες που έχουν πολύ μεγαλύτερη αγωγιμότητα από τα πετρώματα του ταμειυτήρα. Έτσι το ρευστό οδηγείται στην έξοδο του υπερνικώντας την χαμηλή διαπερατότητα των πετρωμάτων καθώς και τις ατέλειες του πηγαδιού εξόρυξης. (26)



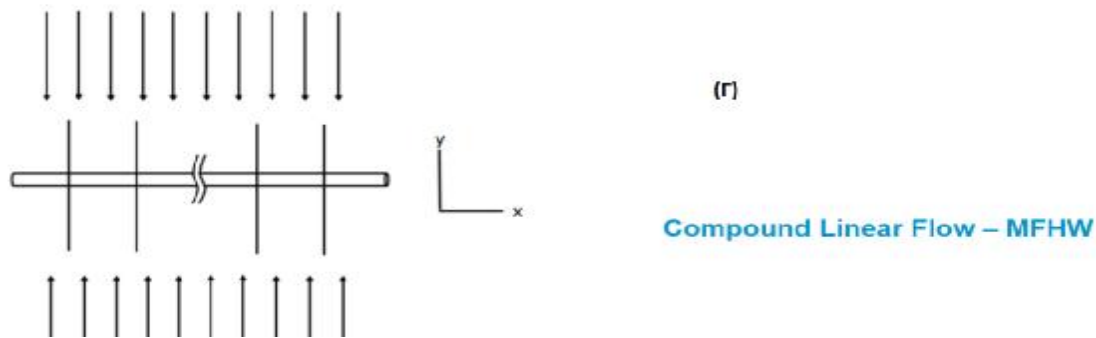
Bilinear Fracture Flow

4.10.γ. Διγραμμική ροή σε πηγάδια εξόρυξης πολλαπλών ρηγμάτων (Bilinear Flow – MFHW)(24)**(Γ) Στον παραπάνω πίνακα:**

Σε οριζόντια πηγάδια πολλαπλών ρηγμάτων όταν η αγωγιμότητα των πετρωμάτων είναι σχεδόν μηδενική και το μήκος της υπόγειας διαμόρφωσης είναι μεγαλύτερο από το ύψος της, εμφανίζεται διγραμμική ροή. Η μια ροή εξέρχεται από τα ρήγματα προς το πηγάδι και η άλλη ροή διαχέεται σε όλη την δομή των ρηγμάτων.

**4.10.δ. Σύνθετη γραμμική ροή (Compound linear flow- MFHW) (24)****(Γ) Στον παραπάνω πίνακα:**

Στο υπέδαφος που περικλείει τον ταμιευτήρα υπάρχουν πολλές φορές σε διαφορετικές μεριές ρήγματα. Όταν αυτά τα διαφορετικά ρήγματα με κάποιο τρόπο έρθουν σε επαφή, τότε εμφανίζεται μια σύνθετη γραμμική ροή του υδρογονάνθρακα του ταμιευτήρα. Χαρακτηριστικό αυτής της ροής είναι η κατεύθυνση της από μια ζώνη σχετικά απομακρυσμένη από την κεντρική ροή προς αυτήν ενισχυόμενη από τα ρήγματα. Η ροή αυτή παρατηρείται σε περιοχές που η δομή του πηγαδιού είναι διαβρωμένη και νωθρή. Σε πηγάδια εξόρυξης που είναι σε καλή κατάσταση δεν θα εμφανιστεί έως ότου ένα άλλο πηγάδι γειτονέψει με το πρώτο.

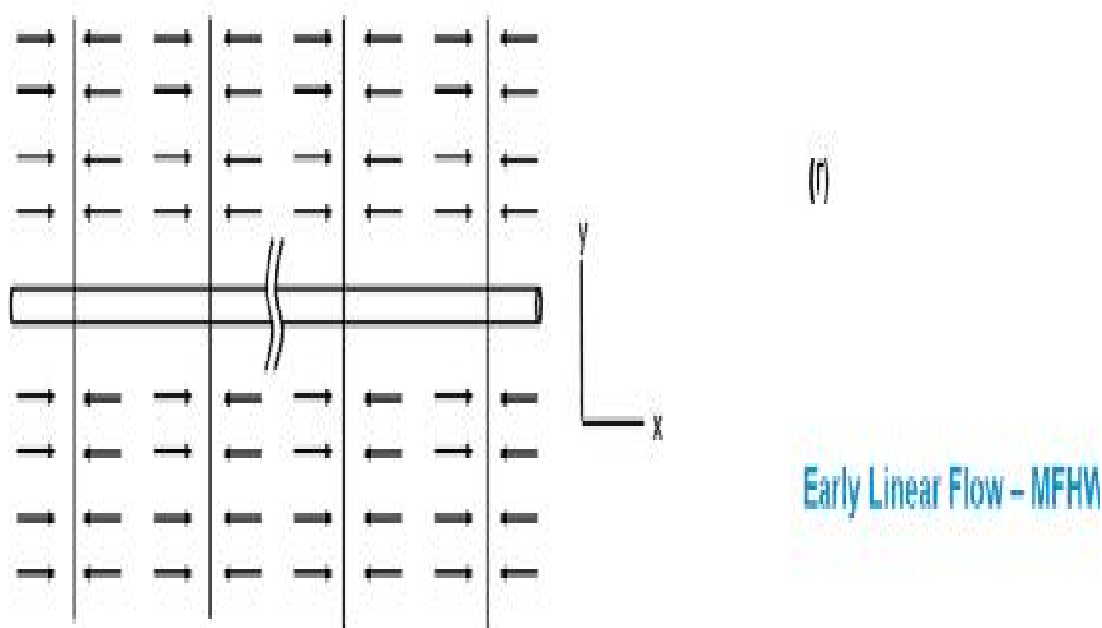


Εικόνα 4.29 (Σύνθετη γραμμική ροή)

4.10.ε. Πρόωρη γραμμική ροή (Early Linear Flow – MFHW) (24)

(Γ) Στον παραπάνω πίνακα:

Η πρόωρη γραμμική ροή εμφανίζεται με κατεύθυνση τα ρήγματα του οριζόντιου πηγαδιού πολλαπλών ρηγμάτων όταν το υδρογονανθρακικό μείγμα έχει σταθεροποιηθεί.

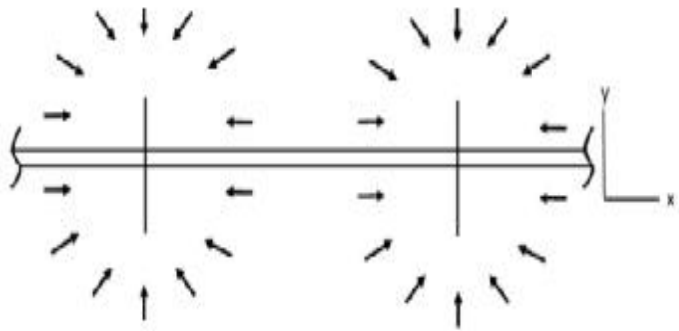


Εικόνα 4.30 (Πρόωρη γραμμική ροή)

4.10.στ. Πρόωρη ακτινική ροή (Early radial flow- MFHW) (24)

(Γ) Στον παραπάνω πίνακα

Η πρόωρη γραμμική ροή παρατηρείται μετά την προαναφερθείσα πρόωρη γραμμική ροή, σε οριζόντια πηγάδια πολλαπλών ρηγμάτων πριν όμως τα ρήγματα αυτά συνενωθούν. Γενικά είναι σπάνιο σε σημερινά πηγάδια να εμφανιστεί τέτοια ροή.



(Γ)

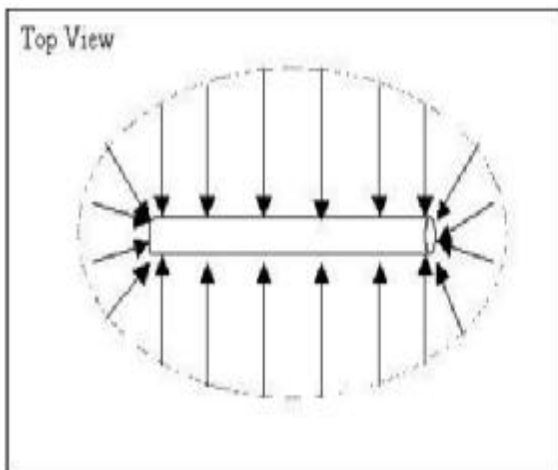
Early Radial Flow - MFHW

Εικόνα 4.31 (Πρόωρη ακτινική ροή)

4.10.ζ. Ελλειπτική ροή (Elliptical flow) (24)

(B) Στον παραπάνω πίνακα:

Η ελλειπτική ροή εμφανίζεται όταν ο ρευστός υδρογονάνθρακας αρχίζει να ρέει από τον ταμιευτήρα προς τα άκρα του οριζόντιου πηγαδιού. Είναι μια μεταβατική ροή μεταξύ της οριζόντιας ροής και της οριζόντιας ακτινικής ροής.



(B)

Elliptical Flow

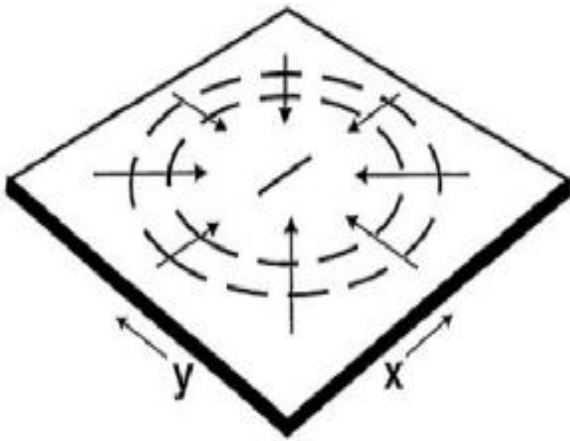
Εικόνα 4.32 (Ελλειπτική ροή)

4.10.η. Οριζόντια ακτινική ροή (Horizontal radial flow)(24)

(B) Στον παραπάνω πίνακα:

Η οριζόντια ακτινική ροή παρατηρείται σε οριζόντια πηγάδια, στο ενδιάμεσο χρονικό διάστημα εκμετάλλευσης του ταμιευτήρα, αφού η ακτίνα έρευνας (radius of investigation), έχει επεκταθεί πέραν του μήκους του πηγαδιού.

Ακτίνα έρευνας (Radius of investigation): Η ακτίνα έρευνας είναι η απόσταση που έχει εξαπλωθεί εντός του ταμιευτήρα μεταβολή της αρχικής σταθερής πίεσης. Η μεταβολή της πίεσης παρουσιάζεται όταν αλλάζει ο λόγος αερίου/πετρελαίου (GOR), και με το πέρασμα του χρόνου αυτή η μεταβολή της πρότερης σταθερής πίεσης εντός του πηγαδιού και ως εκ τούτου και του ταμιευτήρα, μεταδίδεται βαθύτερα σε μικρότερη έκταση σαφώς. Η ακτίνα έρευνας εμφανίζεται κατά την εκμετάλλευση του ταμιευτήρα. (27)



(B)

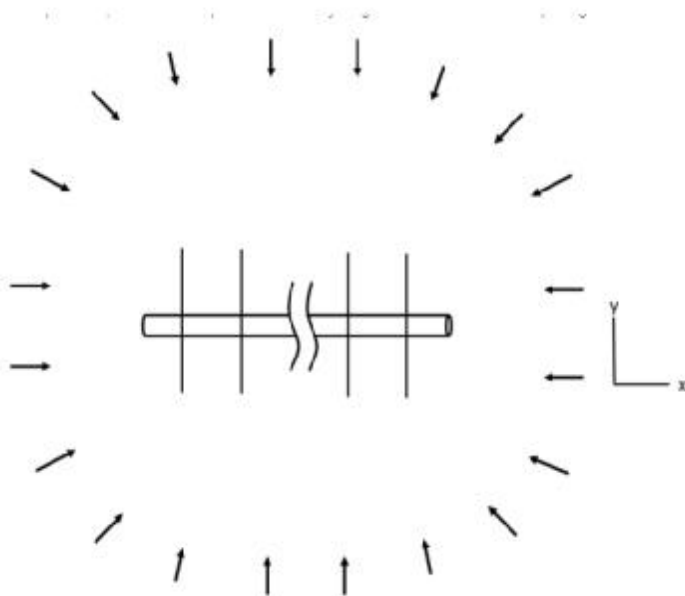
Horizontal Radial Flow

Εικόνα 4.33(Οριζόντια ακτινική ροή)

4.10.θ.Μεταχρονισμένη ακτινική ροή(Late radial flow)(24)

(Γ) Στον παραπάνω πίνακα:

Αυτή η ροή εμφανίζεται περιφερειακά του οριζόντιου πηγαδιού, πολλαπλών ρηγμάτων αμέσως μετά την σύνθετη γραμμική ροή. Αξίζει να σημειωθεί ότι είναι πολύ σπάνιο να παρατηρηθεί τέτοια ροή.



(Γ)

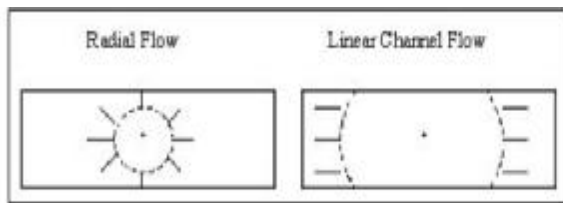
Late Radial Flow – MFHW

Εικόνα 4.34(Μεταχρονισμένη ακτινική ροή)

4.10.ι.Γραμμικό κανάλι ροής (Linear channel flow)(24)

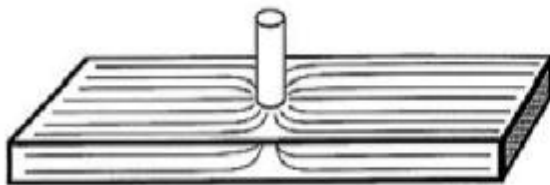
(Α), (B) Στον παραπάνω πίνακα:

Το γραμμικό κανάλι ροής, εμφανίζεται σε μακρύς και ρηχούς ταμιευτήρες, σε ταμιευτήρες κάθετους ή οριζόντιους. Αρχικά η ακτίνα έρευνας δεν έχει φτάσει τα όρια του ταμιευτήρα και παρατηρείται μια ακτινική ροή. Όταν τα δύο παράλληλα όρια του ταμιευτήρα, μετέχουν στο φαινόμενο της ακτινικής έρευνας, τότε παρατηρείται το γραμμικό κανάλι ροής.



(A,B)

Linear Channel Flow



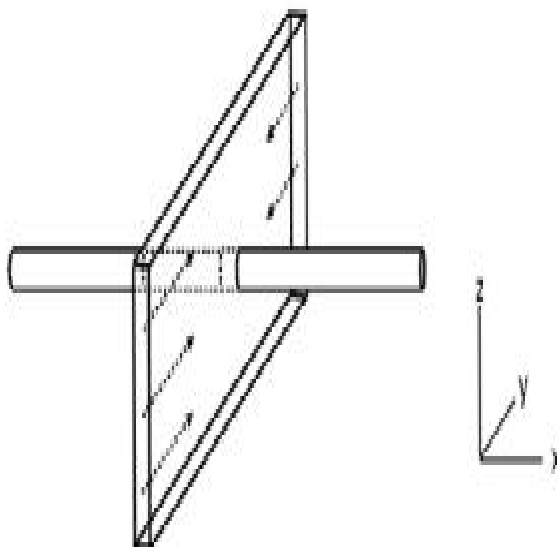
LONG NARROW RESERVOIR (CHANNEL)

Εικόνα 4.35(Ι ραμμικό κανάλι ροής)

4.10.κ.Γραμμική ροή εντός των ρηγμάτων (Linear Flow within the Fractures – MFHW) (24)

(Γ) Στον παραπάνω πίνακα:

Γραμμική ροή εντός των ταμειυτήρων πολλαπλών ρηγμάτων, παρουσιάζεται έπειτα από κάθετη ακτινική ροή στο ίδιο είδος ταμειυτήρα. Για αυτό το είδος ροής θα μιλήσουμε παρακάτω.



(Γ)

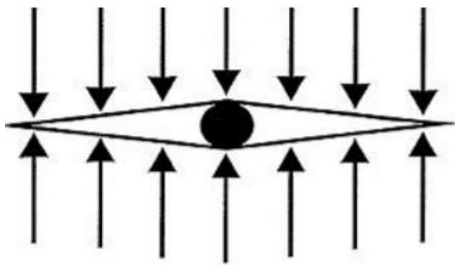
Linear Flow within the Fractures – MFHW

Εικόνα 4.36(Γραμμική ροή εντός των πολλαπλών ρηγμάτων)

4.10.λ.Γραμμική ροή εντός των διαμορφώσεων(Linear Fracture Flow)(24)

(Α) Στον παραπάνω πίνακα:

Η γραμμική ροή εντός των διαμορφώσεων εμφανίζεται στα κάθετα πηγάρια εξόρυξης, όταν η αγωγιμότητα των διαμορφώσεων είναι πάρα πολύ μεγάλη, με αποτέλεσμα η πίεση να έχει σταθερά υψηλή τιμή που οδηγεί σε σταθερά υψηλή ροή του εξορυγνιόμενου προϊόντος.



(A)

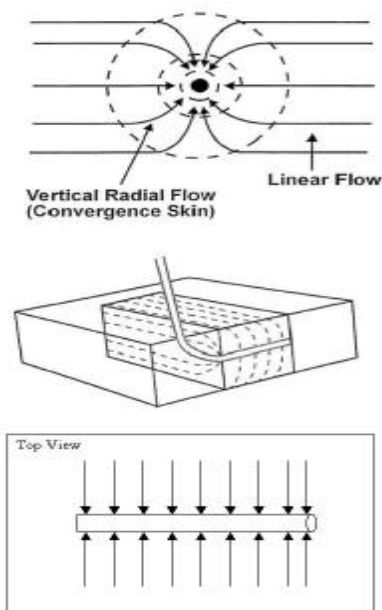
Linear Fracture Flow

Εικόνα 4.37(Γραμμική ροή εντός των διαμορφώσεων)

4.10.μ.Γραμμική οριζόντια ροή (Linear horizontal flow) (24)

(B) Στον παραπάνω πίνακα:

Η ροή αυτή εμφανίζεται σε οριζόντιας διαμόρφωσης πηγάδια, μετά από την πλήρη εξάπλωση της ακτίνας έρευνας σε όλο τον όγκο της στέρεως υπόγειας διαμόρφωσης. Η ροή κατευθύνεται κάθετα στο μήκος του πηγαδιού.



(A)

Linear Horizontal Flow

Εικόνα 4.38(Γραμμική οριζόντια ροή)

4.10.ν.Ψευδο- σταθερή κατάσταση ροής (Pseudo-Steady State Flow)(24)

(A),(B), (Γ) Στον παραπάνω πίνακα:

Αυτή η ροή εμφανίζεται και στις τρεις κατηγορίες, αλλά χρονικά στο τέρμα της παραγωγής υδρογονανθρακικού μείγματος, όπου στα εξωτερικά όρια του ταμιευτήρα δεν υπάρχει ροή. Αυτό συμβαίνει όταν τα ρήγματα εξόδου του ταμιευτήρα έχουν ατροφήσει από την πρότερη χρήση, και τα πηγάδια αδυνατούν να παράγουν ροή, λόγω κακής δομής εξαιτίας πρότερης χρήσης. Σε αυτή την περίπτωση ο ταμιευτήρας συμπεριφέρεται σαν μια δεξαμενή με στάσιμο απόθεμα

υδρογονάνθρακα και με την πίεση να είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα και με πτωτικές τάσεις της που τείνουν στο μηδέν.

4.10.ξ. Ακτινική ροή(Radial Flow)(24)

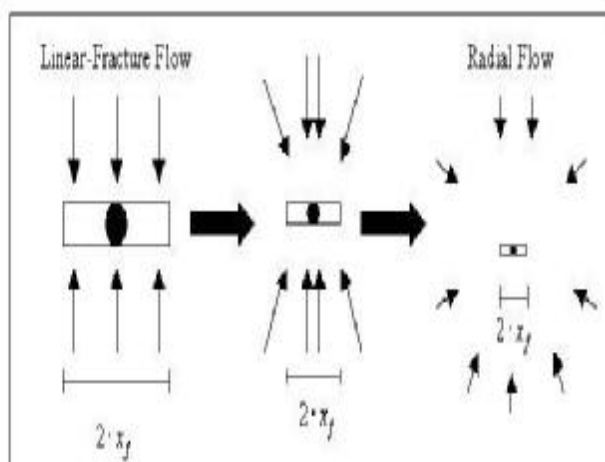
(A) Στον παραπάνω πίνακα:

Η ακτινική ροή έχει οριζόντια κατεύθυνση. Αυτή η ροή υπάρχει την χρονική περίοδο πριν οι αναταράξεις της πίεσης φτάσουν τα όρια του ταμειυτήρα. Η ακτινική ροή συνήθως έπεται άλλων ροών. Όταν η ακτίνα έρευνας είναι μικρή, αφού εμφανιστεί η γραμμική ροή και αρχίζει την επέκτασή της μετατρέπεται σε ακτινική ροή.

Radial Flow

(A)

TRANSIENT RADIAL FLOW



Εικόνα 4.39(Ακτινική ροή)

4.10.ο.Όριο μη υπαρκτής ροής(Single no flow boundary)(24)

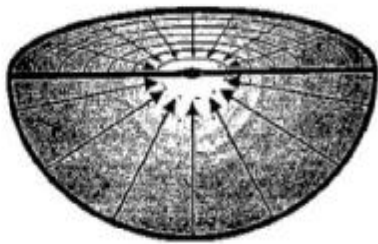
(A) Στον παραπάνω πίνακα:

Αυτή η ροή εμφανίζεται στο μεταβατικό στάδιο εκμετάλλευσης του ταμειυτήρα, όταν ένα πηγάδι εξόρυξης βρίσκεται σε ένα στέρεο υπόγειο εμπόδιο που δεν επιτρέπει την ροή. Αυτό το εμπόδιο μπορεί να είναι μια συμπαγής στέρεη παρουσία, όπως ένα κέλυφος ταμειυτήρα με μηδενική διαπερατότητα, ή όταν δύο γόνιμα πηγάδια γειτονεύουν μεταξύ τους.

4.10.π.Σφαιρική ροή (Spherical flow)(24)

(A) Στον παραπάνω πίνακα:

Η σφαιρική ροή εμφανίζεται όταν ένα κάθετο πηγάδι διαπερνά μερικώς τον σχηματισμό του υπόγειου ταμιευτήρα. Η σφαιρική ροή είναι το αποτέλεσμα του συνδιασμού της ακτινικής ροής σε οριζόντια και κάθετη κατεύθυνση.



(A)



Spherical Flow

Εικόνα 4.40(Σφαιρική ροή)

4.10.ρ. Σταθερή κατάσταση ροής (Steady state flow)(24)

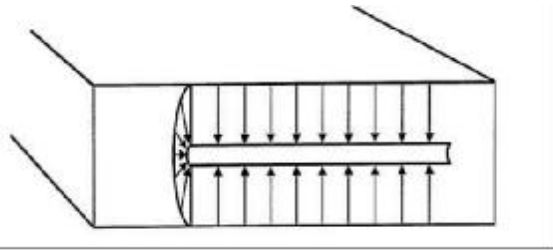
(A),(B) Στον παραπάνω πίνακα:

Αυτό το είδος ροής εμφανίζεται όταν υπάρχει ένα στρώμα μιας φυσικής οντότητας που ασκεί σταθερή πίεση. Αυτή η φυσική οντότητα είναι συνήθως νερό που εγχύεται και πιέζει σταθερά στη ροή τον υδρογονάνθρακα, ή νερό που υπάρχει ήδη και ασκεί σταθερή πίεση, ή, τέλος, ένα πέπλο αερίου που ασκεί σταθερή πίεση.

4.10.σ. Κάθετη ακτινική ροή(Vertical radial flow)(24)

(B) Στον παραπάνω πίνακα:

Η κάθετη ακτινική ροή εμφανίζεται μόνο σε οριζόντια πηγάδια. Χρονικά αυτή η ροή εμφανίζεται στο αρχικό στάδιο εκμετάλλευσης του ταμιευτήρα, όπου η ακτινική έρευνα δεν έχει φτάσει τα άνω και κάτω όρια του υπόγειου σχηματισμού. Αυτού του είδους η ροή είναι παρεμφερής με την ακτινική ροή σε κάθετα πηγάδια εξόρυξης, μόνο που έχει κάθετη κατεύθυνση αντί για οριζόντια.



(B)

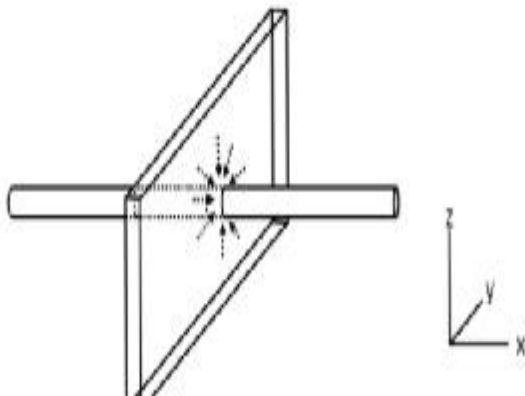
Vertical Radial Flow

Εικόνα 4.41 (Κάθετη ακτινική ροή)

4.10.1. Κάθετη ακτινική ροή εντός των ορυκτών ρηγμάτων (Vertical radial flow within the fractures)(24)

(Γ) Στον παραπάνω πίνακα:

Σε οριζόντια πηγάδια που δεν έχουν ενισχυθεί από τον υδροφόρο ορίζοντα, εμφανίζεται μια ακτινική ροή στο κάθετο επίπεδο. Όταν ένα οριζόντιο πηγάδι εξόρυξης διασταυρώνεται με μια επίπεδη επιφάνεια, το ρευστό ρέει δια μέσου των ρηγμάτων μέσα στο πηγάδι. Το συγκεκριμένο μοντέλο ροής οδηγεί στην ανάπτυξη κάθετης ακτινικής ροής.



(Γ)

Vertical Radial Flow within the Fractures – MFHW

Εικόνα 4.42 (Κάθετη ακτινική ροή εντός των ρηγμάτων)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΚΑΙ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΝ ΠΛΩ

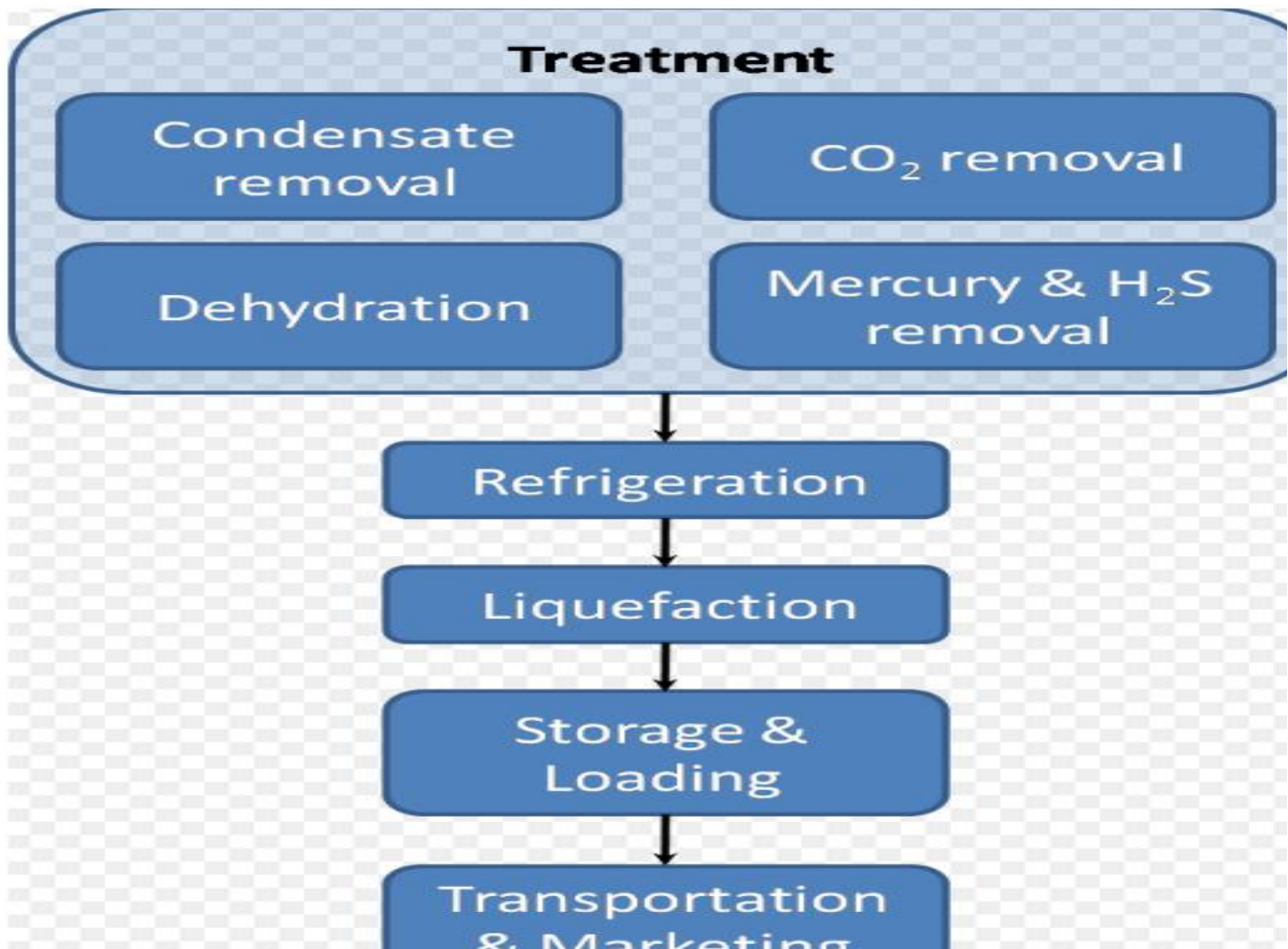
Εισαγωγή(9)

Το φυσικό αέριο όπως ήδη γνωρίζουμε αποτελείται κυρίως από Μεθάνιο(CH_4), Αιθάνιο(C_2H_6). Κατά την διαδικασία μεταφοράς του ορισμένες φορές αποφασίζεται να υγροποιηθεί, ώστε να γίνει ευκολότερη η μεταφορά του, αφού μετά την υγροποίηση το πλέον υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) καταλαμβάνει το 1/600 του όγκου του ως φυσικό αέριο. Η υγροποίηση αυτή εκτελείται για εξορυγνιόμενο αέριο προερχόμενο από υποθαλάσσιους ταμιευτήρες, διότι η μεταφορά του σε αέρια μορφή είναι ασύμφορη.

Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι όταν ο ταμιευτήρας είναι σε βάθος 1500 μέτρων και σε απόσταση από την ακτή 5000 μέτρων, δεν συμφέρει η εγκατάσταση αγωγών φυσικού αερίου σε αφιλόξενο περιβάλλον όπου τα ρεύματα είναι πολύ ισχυρά και το υποθαλάσσιο έδαφος δεν έχει την κατάλληλη δομή και επιφάνεια για την εγκατάσταση μιας τέτοιας βαρυιάς δομής.

Η διαδικασία υγροποίησης συμπεριλαμβάνει και την αφαίρεση σκόνης, τοξικών αερίων, ηλίου, νερού και βαρέων υδρογονανθράκων που προκαλούν δυσκολία στην μετέπειτα διαδικασία. Η υγροποίηση του φυσικού αερίου, γίνεται με την ψύξη στους $-162\text{ }^\circ\text{C}$ και σε πίεση 25 Krascal(4 psi).

Μετά την υγροποίηση του φυσικού αερίου, το LNG αποθηκεύεται σε ειδικές δεξαμενές οι οποίες για εξωτερική επένδυση έχουν ενισχυμένο σκυρόδεμα που αντέχει σε πίεση μεγαλύτερη του βάρους του. Για εσωτερική επένδυση οι δεξαμενές έχουν νικελομένο ατσάλι. Μεταξύ των δύο επενδύσεων υπάρχουν υλικά που προσφέρουν εξαιρετικά υψηλή μόνωση. Ο λόγος ύψους/πλάτους των δεξαμενών είναι πολύ μικρός, έχουν κυλινδρικό σχήμα και οροφή από ατσάλι ή σκυρόδεμα. Τέλος, η επικρατούσα πίεση εντός των δεξαμενών είναι στα 10 Krascal. Στην εικόνα 5.1 αναφέρονται επιγραμματικά όλα τα στάδια επεξεργασίας και διανομής του LPG.



Εικόνα 5.1

Ο πιο σημαντικός παράγοντας στην διαδικασία υγροποίησης του φυσικού αερίου είναι οι προδιαγραφές ποιότητας του. Οι κανονισμοί ποιότητας του LNG εκπληρώνουν τρεις προϋποθέσεις:

1. Το LNG να μην είναι διαβρωτικό και τοξικό. Το H_2S , CO_2 , Hg να βρίσκεται κάτω από το ανεκτό όριο.
2. Το LNG να μην έχει συγκέντρωση νερού σε υγρή μορφή στα σημεία βρασμού του υδρογονανθρακικού μείγματος και του νερού.
3. Το LNG να έχει την κατάλληλη *εναλλαξιμότητα*(Interchangeability) στην κατανομή των αερίων. Αυτό ρυθμίζεται μέσω της ποσότητας του *αδρανούς αερίου* στο LNG, της *θερμικής του αξίας*, του *δείκτη Wobbie*, του δείκτη αιθάλης(soot index), της σταθερά ατελούς καύσης(Incomplete combustion factor), του δείκτη ωχρότητας(yellow tip index). (9)

Εναλλαξιμότητα(13)

Η δυνατότητα να αντικαθιστάται ένα καύσιμο αέριο από ένα άλλο αέριο, χωρίς να αλλάζει η απόδοση του για την εφαρμογή που προορίζεται.(13)

Δείκτης Wobbie(12)

Ο δείκτης Wobbie (I_w), είναι ένας δείκτης της εναλλαξιμότητας των καυσίμων αερίων όπως είναι το φυσικό αέριο, το LPG κ.α. Ο δείκτης αυτός είναι ο λόγος HHV προς την ρίζα του ειδικού βάρους του καυσίμου αερίου. Για κάθε καύσιμο αέριο ο δείκτης Wobbie είναι διαφορετικός ακόμα και αν πρόκειται για το ίδιο καύσιμο αέριο, π.χ το LPG από έναν ταμιευτήρα 'X' σε σχέση με το LPG από έναν ταμιευτήρα 'Y'.

Ο δείκτης αυτός(12) υπάρχει ώστε να συγκρίνεται η ενεργειακή απόδοση καύσης του ενός καύσιμου αερίου με την απόδοση καύσης ενός άλλου καύσιμου αερίου για την ίδια χρήση πχ, αυτοκίνηση, θέρμανση κτλ. Ο μαθηματικός τύπος είναι ο παρακάτω:

$$I_w = \frac{HHV_{GAS}}{\sqrt{Gs_{GAS}}} \quad , \text{όπου το } Gs_{GAS} \text{ είναι το ειδικό βάρος του αερίου.}$$

Υψηλή θερμική αξία/Χαμηλή θερμική αξία(Higher heating value(HHV)/Lower heating value(LHV))(9,10)

Στον παραπάνω τύπο βλέπουμε στον αριθμητή τον ορισμό HHV(Higher heating value). Η θερμική αξία είναι η ενέργεια μιας ουσίας που μεταφράζεται σε θερμότητα από την πλήρη καύση αυτής της ουσίας σε με οξυγόνο σε κανονικές συνθήκες. Η μονάδα μέτρησης της θερμικής αξίας είναι KJ/mole, KJ/kg, KJ/m³ κ.τ.λ.

- HHV(Higher heating value)->Υψηλή θερμική αξία: Η υψηλή θερμική αξία καθορίζεται με το να επαναφέρουμε όλα τα στοιχεία του μείγματος που υπέστησαν καύση στην θερμοκρασία πριν την καύση και να συμπυκνώσουμε κάθε παραγόμενο ατμό.
- LHV(Lower heating value)->Χαμηλή θερμική αξία: Η χαμηλή θερμική αξία καθορίζεται από την αφαίρεση της θερμικής αξίας της εξάτμισης του νερού από την τιμή της Υψηλής θερμικής αξίας.

Στην περίπτωση του φυσικού αερίου, η θερμική του αξία εξαρτάται από τον ταμειυτήρα εξόρυξης αλλά και από την διαδικασία υδροποίησης του. Το εύρος της θερμικής αξίας του LNG κυμαίνεται από 45 MJ/Kg έως 50 MJ/Kg. Για χάρη συγκρίσεως, το LNG έχει 0.6 φορές την θερμική αξία του πετρελαίου κίνησης και 0.7 φορές την θερμική αξία της βενζίνης.(9,10)

Αδρανή αέρια(Inert gases)(7)

Αδρανές αέριο είναι αυτό που δεν υπόκειται σε χημικές αντιδράσεις υπο συγκεκριμένες συνθήκες. Τα ευγενή αέρια είναι αυτά που λειτουργούν σαν αδρανή αέρια διότι δεν αντιδρούν με μια μεγάλη ομάδα ουσιών. Χρησιμοποιούνται για την ουδετεροποίηση ενός μείγματος με στόχο την αποφυγή χημικών αντιδράσεων μικρού, μεσαίου η μεγάλου κινδύνου. Όπως π.χ είναι η οξείδωση, η υδρόλυση, ακαριαία ανάφλεξη και έκρηξη κ.λ.π Τέτοιο αέριο είναι επίσης το άζωτο που είναι άφθονο και φθινό στην απομόνωση και στην επεξεργασία του. Αρκετές φορές το αδρανές αέριο είναι ένα μείγμα αερίων.(7)

5.1) ΨΥΞΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

5.1.α) Η λειτουργία της ψύξης(17)

Στα συστήματα ψύξης χρησιμοποιείται ο κύκλος συμπίεσης ατμού. Δηλαδή, ένα κυκλοφορόν ψυκτικό ρευστό με πολύ χαμηλή πίεση και θερμοκρασία λίγο χαμηλότερη από αυτήν που έχει ο χώρος ψύξης, εισέρχεται σε έναν κομπρέσορα όπου συμπιέζεται και υπερθερμαίνεται. Έπειτα ο ατμός αυτός οδηγείται σε έναν συμπυκνωτή που έχει θερμοκρασία δωματίου.

Ο ατμός αυτός ψύχεται από τον συμπυκνωτή και υδροποιείται. Το υγρό πλέον ψυκτικό εξερχόμενο από τον συμπυκνωτή έχει θερμοκρασία λίγο μεγαλύτερη από την θερμοκρασία δωματίου και παραμένει υπερσυμπιεσμένο. Έπειτα, μέσω μιας βαλβίδας αποσυμπίεσης το ψυκτικό ρευστό εισέρχεται σε έναν χώρο με πολύ χαμηλότερη πίεση, οπότε το αποτέλεσμα αυτού είναι η αστραπιαία ατμοποίηση μέρους του ψυκτικού υγρού. Η λανθάνουσα θερμότητα της αποτομής ατμοποίησης απορροφάται από το κομμάτι του ψυκτικού που είναι ακόμα υγρό. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αυτόματη ψύξη.

Το ψυκτικό ρευστό συνεχίζει το ταξίδι του στους σωλήνες εξάτμισης(evaporator unit). Ανεμιστήρες που βρίσκονται μέσα στο χώρο ψύξης φυσάνε προς τις σωληνώσεις εξάτμισης και εξατμίζουν και το εναπομένον υγρό μέρος του ψυκτικού ρευστού, αντλώντας έτσι ακόμα μεγαλύτερα ποσά λανθάνουσας θερμότητας από τον χώρο ψύξης(Box Air). Έπειτα, το πλήρως ατμοποιημένο ρευστό ξανα γυρνά στην αρχή του κύκλου και επαναλαμβάνεται το ταξίδι του μέχρι

την επιθυμητή θερμοκρασία του χώρου ψύξης. Σαν ψυκτικά ρευστά χρησιμοποιούνται και προϊόντα καύσης υδρογονανθρακικών μειγμάτων.(17)

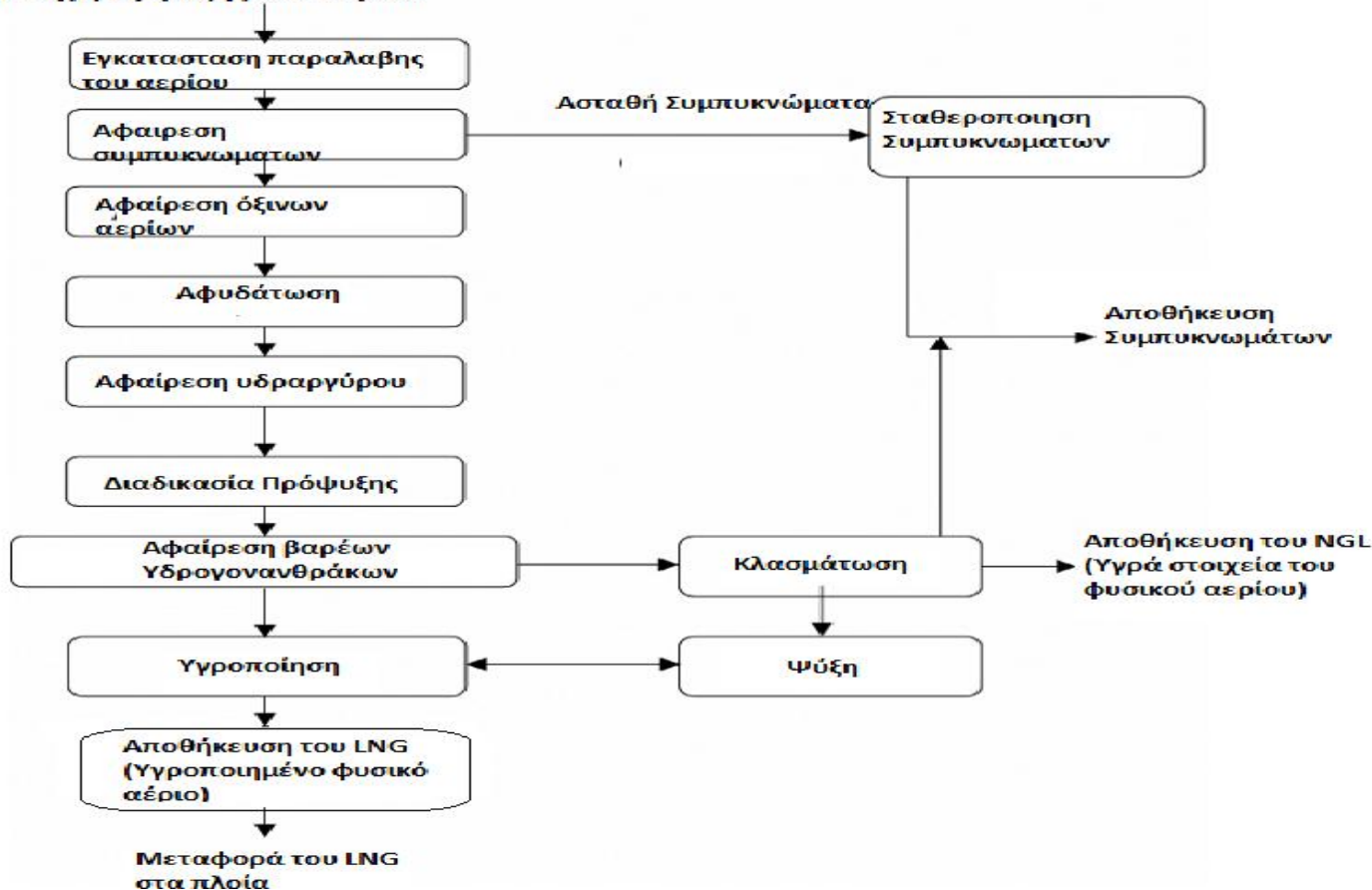
(18)Το φαινόμενο της αυτόματης ψύξης και κατ' επέκταση την πτώση της θερμοκρασίας χωρίς την μεταφορά θερμότητας λόγω απότομης αποσυμπίεσης μέσω βαλβίδας λέγεται φαινόμενο Joule-Thomson.(18)

(16)Η διαδικασία υγροποίησης του NG πραγματοποιείται μέσω καταψυκτών με λειτουργία όμοια αλλά μεγαλύτερου μεγέθους από τα συμβατικά συστήματα ψύξης(ψυγεία,κλιματιστικά). Ένα ψυκτικό αέριο συμπιέζεται, ψύχεται, συμπυκνώνεται και τελικά απελευθερώνεται μέσω βαλβιδών αποσυμπίεσης που μειώνουν την θερμοκρασία του σύμφωνα με το φαινόμενο Joule-Thomson.

Το ψυκτικό αέριο χρησιμοποιείται για να ψύξει το παρεχόμενο φυσικό αέριο,ρίχνοντας τελικά την θερμοκρασία του φυσικού αερίου στους $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$,θερμοκρασία που το μεθάνιο υγροποιείται. Στην διαδικασία υγροποίησης του φυσικού αερίου χρησιμοποιούνται ψυκτικά ρευστά το μεθάνιο,προπάνιο, αιθάνιο.

Στην εικόνα 5.2 βλέπουμε με αναλυτικότερα βήματα την διαδικασία παραγωγής και μεταφοράς του LPG(16), είναι ουσιαστικά η εικόνα 5.1 με μεγαλύτερη εστίαση στο κομμάτι της παραγωγής του LPG.

Η εγκατάσταση τροφοδοτείται από την πηγή εξορυξης του αερίου



Εικόνα 5.2

5.1.β) Ψυκτικά ρευστά του φυσικού αερίου(16,20)

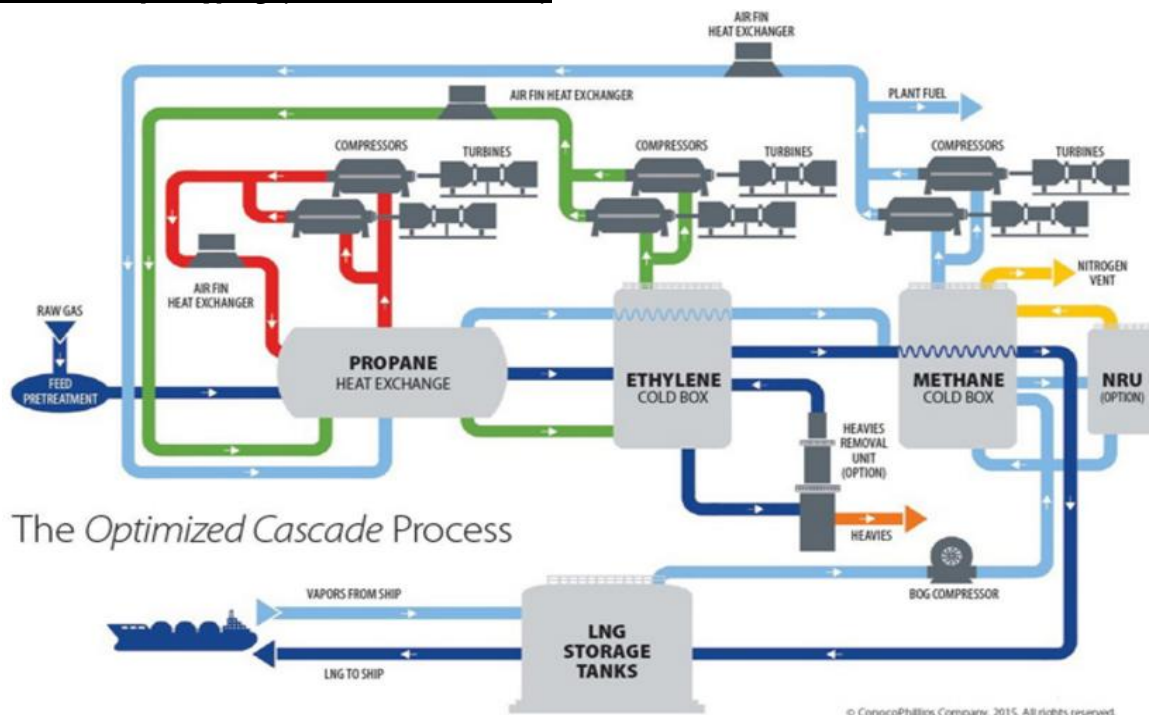
Η παραγωγή του LNG απαιτεί την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του φυσικού αερίου και ενός ψυκτικού ρευστού, τέτοιου ώστε να επιτευχθεί η υγροποίηση του φυσικού αερίου. Η επιλογή του ψυκτικού ρευστού είναι μια πολύπλοκη διαδικασία. Υπάρχουν δύο ομάδες ψυκτικών ρευστών για την ψύξη και υγροποίηση του φυσικού αερίου. Η μια ομάδα αποτελείται από ψυκτικά ρευστά που έχουν μόνο ένα είδος ρευστού στη σύστασή τους(Pure component refrigerant->P.C.R). Η δεύτερη ομάδα αποτελείται από ψυκτικά ρευστά που έχουν δύο ή περισσότερα είδη ρευστών στη σύστασή τους(Mixed Refrigerants->M.Rs).

Το πλεονέκτημα των P.C.R είναι ότι έχουν μικρό δείκτη δυσκολίας όσον αφορά την χρήση τους λόγω των απλών χημικών δεσμών τους. Έχουν όμως το μειονέκτημα ότι η καμπύλη ψύξης τους δεν προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό την καμπύλη ψύξης του φυσικού αερίου, και για αυτό το λόγο απαιτείται το ψυκτικό ρευστό να υποστεί πολλαπλά επίπεδα πιέσεων για να επιτευχθεί αυτή η προσέγγιση.

Σε αντίθεση τα M.Rs χωρίς την ανάγκη να υποβληθούν σε πολλαπλά επίπεδα πίεσης παρουσιάζουν μια ικανοποιητική προσέγγιση της καμπύλης ψύξης του φυσικού αερίου. Το μειονέκτημα των M.Rs είναι ότι έχουν μεγαλύτερο δείκτη δυσκολίας όσον αφορά την χρήση τους λόγω των σύνθετων χημικών δεσμών τους.(16,20)

5.1.γ) Μέθοδοι υγροποίησης και ψύξης του φυσικού αερίου(20,29)

Διαδικασία Αλληλουχίας (Cascade Process)



Εικόνα 5.3

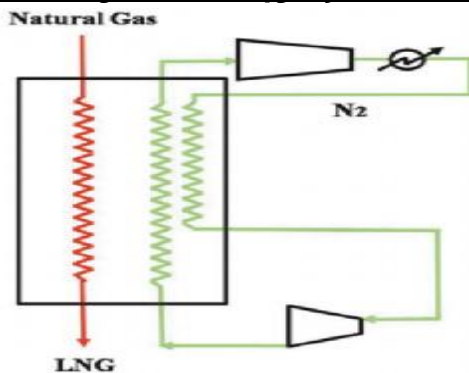
Η διαδικασία αλληλουχίας(Cascade process->εικόνα 5.3), χρησιμοποιεί τρία διαφορετικά ψυκτικά ρευστά σε χωριστούς ψυκτικούς κύκλους. Συνήθως χρησιμοποιούν με την παρακάτω σειρά προπάνιο, αιθυλένιο, μεθάνιο. Αρχικά το φυσικό αέριο ψύχεται στους $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ από τον ψυκτικό κύκλο που χρησιμοποιεί προπάνιο. Έπειτα υγροποιείται από τον ψυκτικό κύκλο που χρησιμοποιεί αιθυλένιο. Τέλος υπερψύχεται από τον ψυκτικό κύκλο που χρησιμοποιεί μεθάνιο στους $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$. Κάθε ψυκτικός κύκλος ενέχει 3-4 υποστάδια ψύξης για την καλύτερη αποτελεσματικότητα του εκάστοτε ψυκτικού κύκλου.

Η Cascade Process πετυχαίνει την μέγιστη αποτελεσματικότητα στο κομμάτι της υγροποίησης και ψύξης του φυσικού αερίου. Ο λόγος είναι η χρήση των διαφορετικών ψυκτικών ρευστών, που το κάθε ένα στα δικά του θερμοκρασικά εύρη ψύχει το φυσικό αέριο και προσαρμόζεται στο κομμάτι της καμπύλης ψύξης του φυσικού αερίου, αφού κάθε κύκλος ψύξης περιλαμβάνει 3-4 υποστάδια ψύξης.

Η Cascade Process έχει το μειονέκτημα της πολυπλοκότητας και της μεγάλης εγκαταστασιακής έκτασης. Κατά συνέπεια, είναι μια σχετικά ακριβή από οικονομικής άποψης διαδικασία. Υπάρχει δυνατότητα βελτίωσης της Cascade Process αυξάνοντας τα υποστάδια ψύξης του εκάστοτε ψυκτικού κύκλου και αυξάνοντας τους ψυκτικούς κύκλους. Αυτές οι βελτιώσεις όμως διογκώνουν

το ήδη υπάρχων μειονέκτημα της διαδικασίας που είναι η πολυπλοκότητα και η μεγάλη εγκαταστασιακή έκταση.(20,29)

Κύκλος εκτόνωσης αζώτου/Μεθανίου(Expansion based process)(20,29)



Εικόνα 5.4

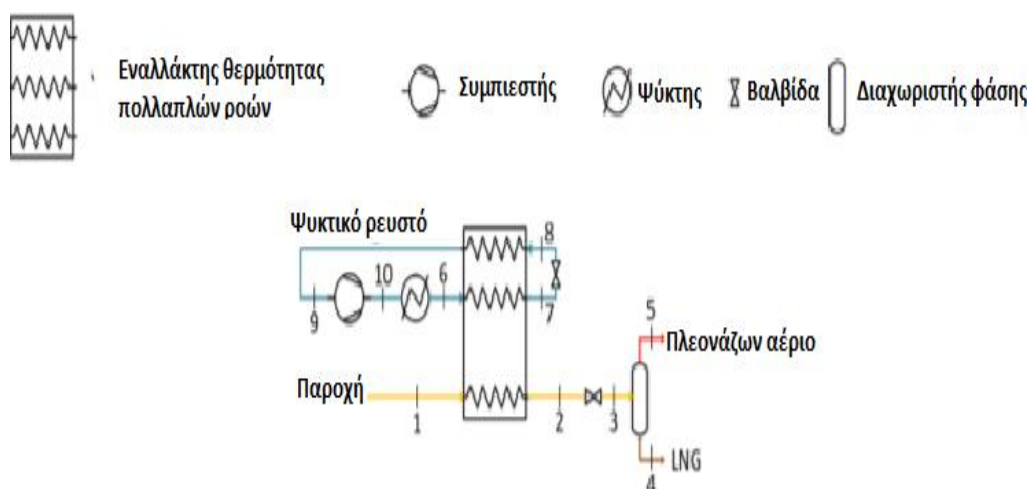
Ένας απλός τρόπος δημιουργίας του LNG είναι να ψυχθεί και να συμπιεστεί από ένα στοιχείο που μπορεί να συμπιεστεί εύκολα και κατά την διάρκεια της εκτόνωσης να είναι σε χαμηλότερη θερμοκρασία από την θερμοκρασία υγροποίησης του φυσικού αερίου(-161⁰C). Ένα τέτοιο στοιχείο είναι το άζωτο(N), που έχει αέρια μορφή από θερμοκρασίες STP έως και τους -196⁰C και υγροποιείται στους -210⁰C.

Η μέθοδος αυτή έχει το πλεονέκτημα της απλοϊκότητας, διότι το άζωτο είναι ένα μονοφασικό αέριο στοιχείο που υπάρχει σε μεγάλη αφθονία. Με τον αντίστροφο κύκλο Brayton όπως δείχνει η εικόνα 5.4, το άζωτο ψύχει και υγροποιεί το φυσικό αέριο. Παρόλα αυτά η απλοϊκότητα της μεθόδου έχει και το μειονέκτημά της όσον αφορά την ποιότητα του υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Ο λόγος είναι ότι ένα μόνο στοιχείο δεν μπορεί να ψύξει σωστά το φυσικό αέριο, διότι η καμπύλη ψύξης του αζώτου δεν ταιριάζει ή προσεγγίζει κατά μεγάλο ποσοστό σε όλα τα σημεία στην καμπύλη ψύξης του φυσικού αερίου. Η μέθοδος αυτή μπορεί να βελτιωθεί με το να τμηματοποιηθεί η εκτόνωση του αζώτου. Ένας άλλος τρόπος είναι να υπάρξει μια πρόψυξη με μεθάνιο και έπειτα να υποστεί το φυσικό αέριο ψύξη από το άζωτο.(20,29)

Ψύξη με χρήση ανάμεικτου/των ψυκτικού/κών ρευστών(Mixed refrigerant process)

- Ψύξη με χρήση ανάμεικτου ψυκτικού ρευστού(Single mixed refrigerant process)



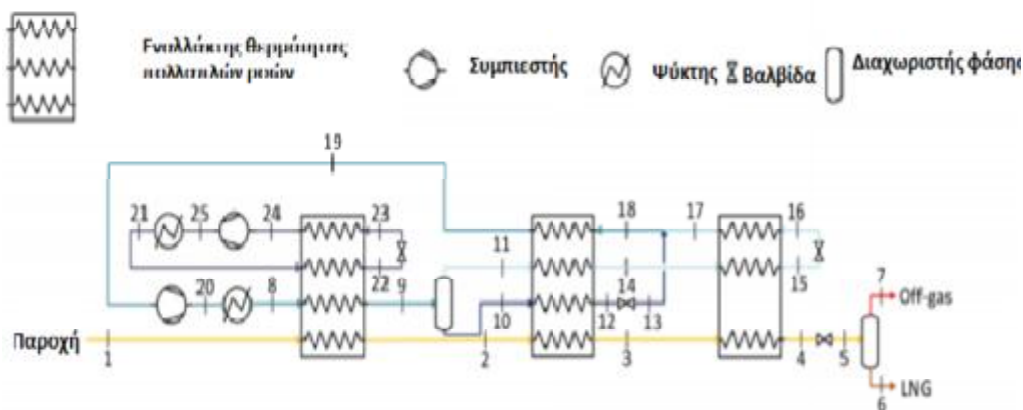
Εικόνα 5.5

Η διαδικασία S.M.R(εικόνα 5.5), αποτελείται από ψυκτικά ρευστά υδρογονανθρακικών μειγμάτων και αζώτου. Η χρήση ανάμεικτου ψυκτικού ρευστού γίνεται με στόχο την καλύτερη ταύτιση της καμπύλης ψύξης του ψυκτικού ρευστού με την καμπύλη ψύξης του φυσικού αερίου. Ο συγκεκριμένος τρόπος ψύξης είναι κατάλληλος για μικρές ποσότητες παραγόμενου αερίου υδρογονανθρακικού μείγματος.

Ψύξη με χρήση ανάμεικτων ψυκτικών ρευστών(Dual mixed refrigerant process)

Η διαδικασία D.M.R(εικόνα 5.6), αποτελείται από δύο ξεχωριστούς κύκλους ανάμεικτων ψυκτικών ρευστών. Έχει την ίδια φιλοσοφία με την S.M.R, είναι για λίγο μεγαλύτερες ποσότητες αερίων υδρογονανθρακικών μειγμάτων. Παράλληλα έχει ποιοτικότερα επίπεδα ψύξης του φυσικού αερίου.

Ουσιαστικά γίνεται μια πρόψυξη από έναν βρόγχο M.R, ο άλλος βρόγχος απλά υγροποιεί το φυσικό αέριο. Το σύστημα D.M.R, δίνει την δυνατότητα στους χειριστές του συστήματος, να ρυθμίζουν στην διαδικασία πρόψυξης την θερμοκρασία της πρόψυξης και στην μετέπειτα διαδικασία υγροποίησης να επιρρεάζουν με τουρμπίνες την πίεση και την ροή του ψυκτικού ρευστού. Άρα έχουν μια αρκετά καλά ελεγχόμενη διαδικασία ψύξης/υγροποίησης του φυσικού αερίου, κάτι που οδηγεί σε υψηλές προδιαγραφές παραγόμενου LNG.



Εικόνα 5.6

Πρόψυξη με διαδικασία αλληλουχίας και ψύξη με ανάμεικτα ψυκτικά ρευστά(Precooled cascade process & mixed refrigerant process)

Η διαδικασία αυτή είναι ο συνδυασμός δύο διαδικασιών. Η μια είναι η διαδικασία αλληλουχίας(Cascade process) και η άλλη είναι η διαδικασία ανάμεικτων ψυκτικών ρευστών(Mixed refrigerant process).

Το φυσικό αέριο αρχικά υπόκειται σε ψύξη από τον κύκλο ψύξης προπάνιου(C.P), ο οποίος κύκλος ψύχει και τον κύκλο ψύξης του M.R. Το φυσικό αέριο λοιπόν προψύχεται από το προπάνιο και έπειτα υγροποιείται από το σύστημα M.R. Η διαδικασία αυτή είναι από τις πιο διαδεδομένες. (Εικόνα 5.7<<δείτε παρακάτω>>)

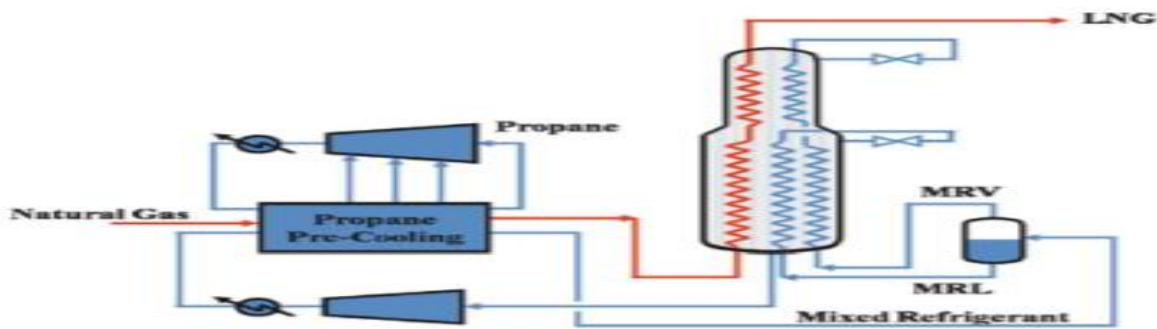
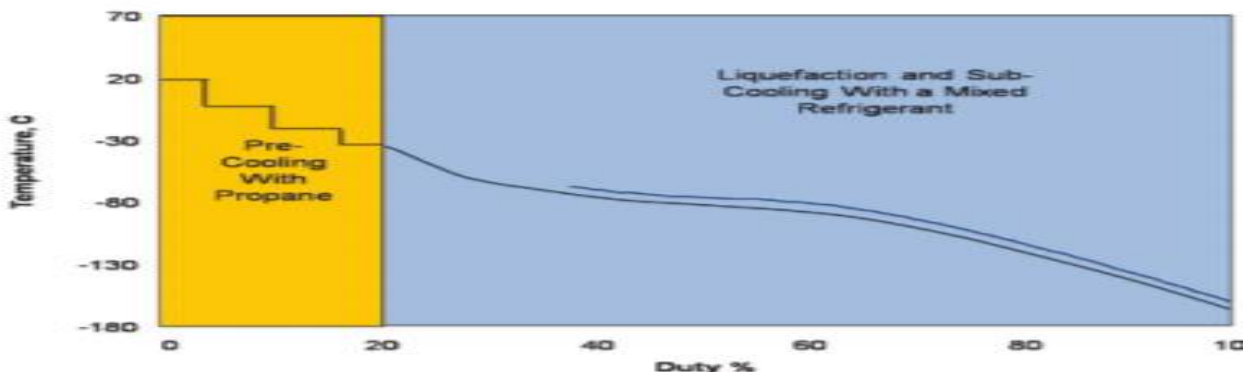


Figure 3. The C3MR process.



Εικόνα 5.7

Τριπλό σύστημα ψύξης και υγροποίησης φυσικού αερίου(C.P<<Cascade process>>M.R<<Mixed refrigerant>>E.C<<Expansion cycle>>)

Αυτό το σύστημα ψύξης ενέχει τρεις βρόγχους ψύξης. Το φυσικό αέριο πρώτα διέρχεται από πρόψυξη με προπάνιο. Ο κύκλος ψύξης προπανίου ψύχει και τον κύκλο ψύξης του ανάμεικτου ψυκτικού. Έπειτα το φυσικό αέριο διέρχεται στον κύκλο ψύξης με ανάμεικτο ψυκτικό ρευστό και τέλος διοχετεύεται στον απομονωμένο κύκλο εκτόνωσης αζώτου.

Εδώ αποδεικνύεται ότι τα συστήματα ψύξης μπορούν να λειτουργήσουν υπο συνθήκες συνεργασίας με τα αποτελέσματα όσον αφορά την ποιότητα του παραγόμενου LNG, να είναι εκπληκτικά.

5.1.δ) Αξιολόγηση των συστημάτων ψύξης του φυσικού αερίου(29)

Η υγροποίηση του φυσικού αερίου, γίνεται με τους παραπάνω τρόπους. Οι περισσότερες εγκαταστάσεις υγροποίησης φυσικού αερίου ακολουθούν την μέθοδο της αλληλουχίας(Cascade process) και την μέθοδο των ανάμεικτων ψυκτικών ρευστών(Mixed refrigerant process), λόγω της υψηλότερης απόδοσης τους.

Κύριο μέλημα των ψυκτικών συστημάτων είναι η απόδοση της υγροποίησης του φυσικού αερίου, αλλά δεν είναι το μόνο μέλημα κατά την διάρκεια της υγροποίησης.

Σημαντικό ρόλο παίζει και ο αριθμός των μηχανολογικών μονάδων που αποτελούν την εκάστοτε ψυκτική εγκατάσταση. Επιπλέον η δυναμική συμπεριφορά της εγκατάστασης παίζει σημαντικό ρόλο. Τέλος σημαντικό ρόλο παίζει η ασφάλεια και η συμπαγότητα της κατασκευής.

Το σύστημα ψύξης με πρόψυξη από μια διαδικασία αλληλουχίας και υγροποίηση από ένα ανάμεικτο ψυκτικό ρευστό(Precooled cascade process & mixed refrigerant process) υποβάλει το αέριο σε 10 επίπεδα συμπίεσης. Άρα από την πλευρά της αποδοτικότητας της υγροποίησης του φυσικού αερίου αυτή θα ήταν μια σοφή επιλογή. Τα πράγματα όμως δεν είναι τόσο απλά όταν η εγκατάσταση ψύξης του φυσικού αερίου βρίσκεται εν πλω.

Η συγκεκριμένη διαδικασία ψύξης(29) περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό μηχανολογικών μονάδων που αποτελούν το σύνολο της εγκατάστασης, και ως εκ τούτου καταλαμβάνει μεγάλη επιφάνεια και έχει μεγάλη πολυπλοκότητα. Αυτό είναι μειονέκτημα για μια εγκατάσταση εν πλω. Επιπροσθέτως, το συγκεκριμένο σύστημα ψύξης έχει ψυκτικά ρευστά δύο φάσεων σε μια

εγκατάσταση εν πλω που η κίνηση είναι διαρκής, και διφασικά ρευστά δεν ισοκατανέμονται σωστά στους εναλλάκτες θερμότητας, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αποδοτικότητα ψύξης/υγροποίησης της διαδικασίας.

Από την άλλη πλευρά η διαδικασία εκτόνωσης αζώτου μπορεί να μην είναι τόσο αποδοτική στο κομμάτι της υγροποίησης, όμως έχει μεγαλύτερη απλοϊκότητα και πιο συμπαγή κατασκευή λόγω των υψηλών πιέσεων που επικρατούν στο συγκεκριμένο σύστημα ψύξης. Επιπλέον, το σύστημα εκτόνωσης αζώτου παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια στο προσωπικό, διότι δεν είναι ευφλεκτο, κάτι που είναι σημαντικό σε μια μακρυνή θαλάσσια περιοχή. Τέλος, η διαρκής κίνηση της εν πλω εγκατάστασης δεν είναι πρόβλημα, γιατί το άζωτο είναι αέριο και έχει εκ φύσεως μεγάλη κινητικότητα.

Ένας πιο ειδικευμένος τρόπος για εντοπισμό της κατάλληλης ψυκτικής διαδικασίας(29), είναι ο υπολογισμός ενέργειας και εξέργειας. Η ενεργειακή ανάλυση αφορά την μετατροπή μιας ενέργειας σε μια άλλη(θερμική, χημική, ηλεκτρική).

Η εξεργειακή ανάλυση χρησιμοποιείται για να διευκρινιστούν οι πηγές, τα μεγέθη και οι περιοχές που παρουσιάζονται οι θερμοδυναμικές ανεπάρκειες των συστημάτων καύσης του πετρελαίου και του αερίου. Οι διαφοροποιήσεις από μια ιδανική επιστρεπτή συμπεριφορά μπορεί να χωρισθεί σε δύο κατηγορίες ανεπιστρεπτότητας:

1. Εσωτερική ανεπιστρεπτότητα-> Προκαλείται από εσωτερικά φαινόμενα απώλειας, μέσα στις μονάδες επεξεργασίας. Παραδείγματα τέτοια είναι φαινόμενα τριβών στους συμπιεστές, μεταφορά θερμότητας δια μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας που έχει ήδη εξαντλήσει τις ανοχές του σε θερμική αγωγιμότητα. Τα φαινόμενα αυτά συγκαταλέγονται στην εξεργειακή καταστροφή (Exergy destruction)
2. Εξωτερική ανεπιστρεπτότητα-> Είναι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστημάτων ψύξης και εξωτερικών παραγόντων που τα επηρεάζουν. Παραδείγματα τέτοια είναι οι απώλειες θερμότητας από ένα συστατικό του ψυκτικού ρευστού, η απώλεια μιας πηγής ροής αερίου στο περιβάλλον. Τα φαινόμενα αυτά συγκαταλέγονται στις εξεργειακές απωλεις (Exergy losses)

Ο στόχος της εξεργειακής ανάλυσης, είναι η εκτίμηση του μεγέθους της αντιστρεπτότητας ώστε να προταθούν βελτιώσεις του συστήματος. Ο βασικός θερμοδυναμικός τύπος είναι ο παρακάτω:

$$\dot{E}_d = \dot{a} \dot{E}_{in} - \dot{a} \dot{E}_{out} = \dot{E}_w + \dot{E}_q + \sum_k \dot{m}_k e_k$$

$$\dot{E}_w \langle \text{Ο r u q m } \dot{V} \text{ m e t a b o l } \dot{\eta} \text{ V t h V e x } \acute{\epsilon} \text{ r g e i a V s e m o r j } \dot{\eta} \acute{\epsilon} \text{ r g o u} \rangle$$

$$\dot{E}_q \langle \text{Ο r u q m } \dot{V} \text{ m e t a b o l } \dot{\eta} \text{ V t h V e x } \acute{\epsilon} \text{ r g e i a V s e m o r j } \dot{\eta} \text{ q e r m } \acute{\alpha} \text{ t h t a V} \rangle$$

$$\dot{m}_k \langle \text{Ο r u q m } \dot{V} \text{ m e t a b o l } \dot{\eta} \text{ V t h V m } \acute{\alpha} \text{ z a V m i a V r o } \dot{\eta} \text{ V } \langle \text{k} \rangle \rangle$$

$$e_k \langle \text{E i d i k } \dot{\eta} \text{ e x } \acute{\epsilon} \text{ r g e i a m i a V r o } \dot{\eta} \text{ V } \langle \text{k} \rangle \rangle$$

Το e_k είναι το άθροισμα της $e_{κινητικής}$, της $e_{δυναμικής}$, της $e_{φυσικής}$, της $e_{χημικών συστατικών}$.

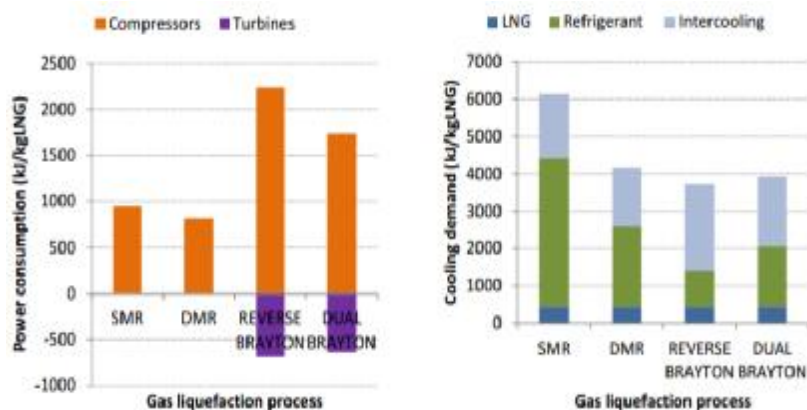
$$e_k = e_{κιν} + e_{δυν} + e_{φυσ} + e_{χημ}$$

Σύμφωνα με τους παραπάνω θερμοδυναμικούς τύπους την χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος(29) την έχουν τα συστήματα ψύξης μείγματος ψυκτικού ρευστού(mixed refrigerant process). Η ειδική κατανάλωση ισχύος για το Double Mixed Refrigerant Process είναι στα 800-900 KJ/Kg_{LNG}. Η ειδική κατανάλωση ισχύος για το Single Refrigerant Process είναι στα 1000 KJ/Kg_{LNG}.

Τα συστήματα ψύξης με εκτόνωση αζώτου/μεθανίου(Expansion based process), έχουν τις μεγαλύτερες ειδικές καταναλώσεις. Το απλό σύστημα ψύξης εκτόνωσης αζώτου/μεθανίου έχει ειδικές καταναλώσεις στα 1100-1200 KJ/Kg_{LNG}. Το σύστημα εκτόνωσης αζώτου/μεθανίου με πρόψυξη έχει ειδικές καταναλώσεις στα 1500-1600 KJ/Kg_{LNG}.

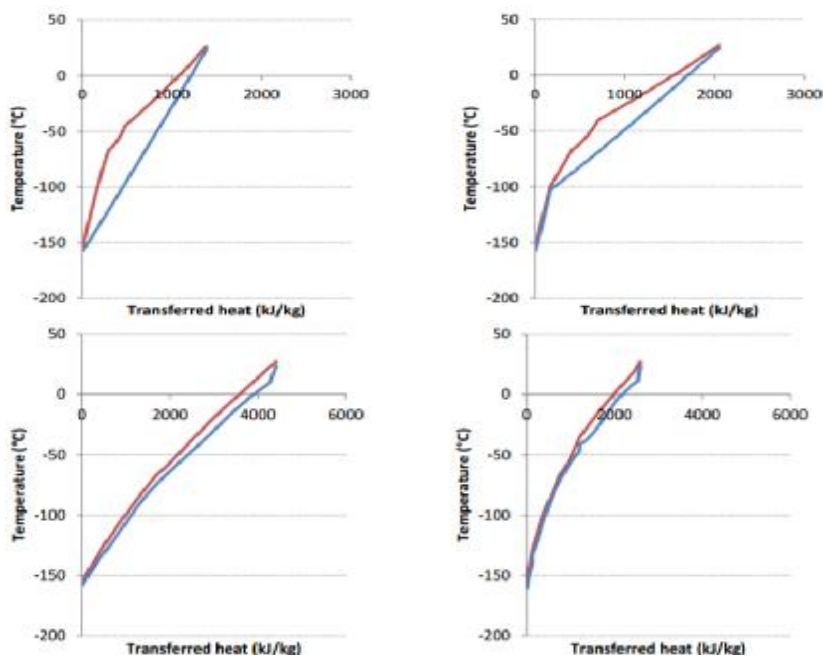
Αυτές τις ειδικές καταναλώσεις τις συγκρίνουμε με την θερμογόνο ισχύ του παραγόμενου LNG που κυμαίνεται από 48.4 Mj/Kg-53.4 Mj/Kg στους 15 °C και πίεση στα 1.013 bar. Η κατανάλωση των συστημάτων ψύξης είναι στο 0.22, 0.33, 0.3, 0.41 Kwh/Kg_{LNG} αντίστοιχα. Παράλληλα, η % ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή του LNG σε σχέση με τα υπάρχοντα συστήματα ψύξης είναι 1.7%, 2.5%, 2.2%, 3% αντίστοιχα.

Η διαδικασία της ψύξης είναι ενεργειακά ιδιαίτερα απαιτητική(εικόνα 5.8). Επίσης, οι μεγαλύτερες μεταφορές θερμότητας στους εναλλάκτες σχετίζεται με την ψύξη του ψυκτικού ρευστού σε υψηλές πιέσεις.



Εικόνα 5.8

Συγκρίνοντας τα θερμοκρασιακά προφίλ στις 4 περιπτώσεις, υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην μεταφορά θερμότητας μεταξύ των συστημάτων εκτόνωσης και MRP, δηλαδή στα συστήματα εκτόνωσης υπάρχει μεταφορά θερμότητας στα 1300 Kw ενώ στα MRP η εκτόνωση θερμότητας φτάνει στα 4000 Kw(εικόνα 5.9). Ο λόγος που αυτό συμβαίνει είναι διότι τα συστήματα MRP χρησιμοποιούν ψυκτικά ρευστά διπλής φάσης (όπως και οι φάσεις του φυσικού αερίου πριν μετατραπεί σε LNG).

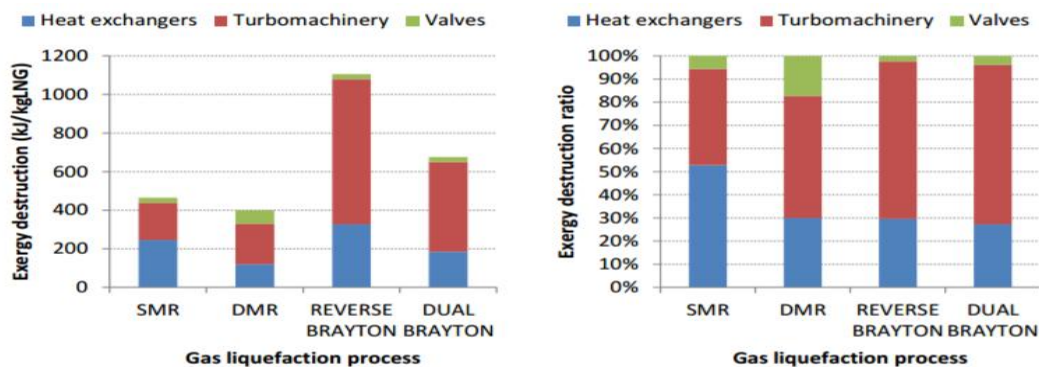


Εικόνα 5.9

Εξεργειακή ανάλυση

Η εξεργειακή ανάλυση(εικόνα 5.10), δείχνει ότι το χαμηλότερο ποσοστό εξεργειακής καταστροφής συμβαίνει στο D.M.R(Double Mixed Refrigerant). Το 30%-50% της εξεργειακής καταστροφής των συστημάτων M.R.P., οφείλεται στα υψηλά ποσά μεταφοράς θερμότητας που ξεπερνά τα 2800 Kj/Kg_{LNG}.

Το μεγαλύτερο ποσοστό εξεργειακής καταστροφής συμβαίνει στις εγκαταστάσεις υπερτροφοδότησης του συστήματος ψύξης με εκτόνωση αζώτου/μεθανίου(60% της εξεργειακής καταστροφής). Αυτό είναι λογικό αφού οι πιέσεις που επικρατούν στα συστήματα εκτόνωσης αζώτου/ μεθανίου είναι πολύ υψηλές.



Εικόνα 5.10

Όσον αφορά τις εξεργειακές απώλειες σημαντικός παράγοντας είναι ο μηχανολογικός εξοπλισμός. Ο μηχανολογικός εξοπλισμός των S.M.R(Single Mixed Refrigerant), είναι μικρότερος αριθμητικά από τον μηχανολογικό εξοπλισμό των συστημάτων ψύξης με εκτόνωση(εικόνα 5.11). Κατ'επέκταση έχει μικρότερες εξεργειακές απώλειες. Αξίζει όμως να αναφερθεί ότι είναι πιο πολύπλοκο από το σύστημα εκτόνωσης αζώτου.

	SMR	DMR	Reverse Brayton	Dual Brayton
<i>Equipment count</i>				
• Cryogenic heat exchangers	1	3	2	3
• Gas coolers	2	2	5	10
• Compressors	2	2	4	8
• Componders	0	0	1	2
• Separator	1	2	1	1
<i>Refrigerant flowrate (total)</i>				
• Overall (kg/s)	225	101+76	265	390+90
• Suction first compressor (m ³ /s)	37	14+13	55	12+5.5

Εικόνα 5.11

Ενεργειακές απαιτήσεις(29)

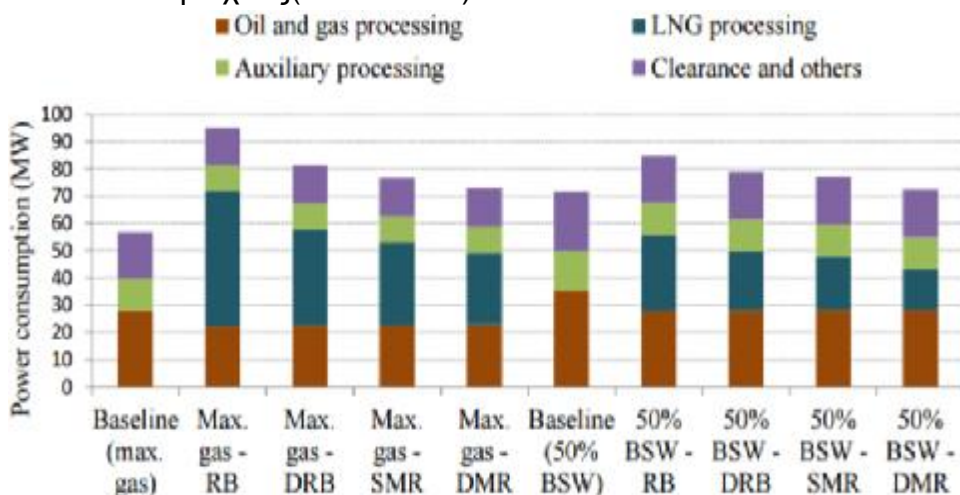
Μια πλήρης ανάλυση του ολικού συστήματος επεξεργασίας του υδρογονανθρακικού μείγματος δείχνει ότι οι υψηλότερες πιέσεις υπάρχουν μετά την συμπίεση στις ροές του αερίου και του διοξειδίου του άνθρακα. Η χαμηλότερη πίεση εμφανίζεται στην έξοδο της διαδικασίας διαχωρισμού, εκεί που το μαύρο πετρέλαιο αποσυμπιέζεται, ενισχύοντας έτσι τον διαχωρισμό πετρελαίου/ νερού/ αερίου.

Στην περίπτωση που η υγροποίηση δεν συμπεριλαμβάνεται στην εξόρυξη του υδρογονανθρακικού μείγματος, η κατανάλωση ισχύος κατανέμεται στην διαδικασία διαχωρισμού(Separation process), στην ανακύκλωση του νερού και του πετρελαίου, στην μονάδα ανάκτησης υδρατμών ή επανασυμπίεση για αύξηση της πίεσης του ανακτώμενου αερίου σε

επίπεδα τέτοια που υφίστανται στην αρχή του χρόνου εκμετάλλευσης του ταμιευτήρα, και στην συμπίεση του αερίου και διοξειδίου του άνθρακα (αν πρέπει να διαχωριστεί από το υπόλοιπο υδρογονανθρακικό μείγμα).

Από τα παραπάνω την μεγαλύτερη κατανάλωση ισχύος την έχει η συμπίεση του αερίου/ διοξειδίου του άνθρακα. Ενώ η διαδικασία διαχωρισμού, καταλαμβάνει ένα μικρό ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης ισχύος.

Η θέρμανση του μείγματος γίνεται σε δύο διαφορετικές διαδικασίες. Η μια είναι η διαδικασία διαχωρισμού όπου γίνεται μια προθέρμανση του μαύρου πετρελαίου στην είσοδό του στους διαχωριστές και μιας μικρότερης θέρμανσης στο σύστημα καύσης του αερίου για να προθερμανθεί το καύσιμο αέριο πριν την καύση του στην τουρμπίνα αερίου. Όταν προστεθεί και η διαδικασία υγροποίησης του ανακτώμενου από τον ταμιευτήρα αερίου τότε ανεβαίνει κατακόρυφα η κατανάλωση ισχύος(εικόνα 5.12).



Εικόνα 5.12

Το σύστημα ψύξης και υγροποίησης του φυσικού αερίου με τις μεγαλύτερες καταναλώσεις ενέργειας είναι το σύστημα ψύξης με εκτόνωση. Ακόμα και το πιο οικονομικό σε κατανάλωση σύστημα ψύξης καταναλώνει 800 KJ/Kg_{LNG}. Στην περίπτωση που όλο το παραγόμενο αέριο πάει για υγροποίηση και πώληση, ο κύκλος Brayton καταναλώνει 50 MW και ο διπλός κύκλος Bryton καταναλώνει 35.4 MW. Το σύστημα ψύξης SMR(Single mixed refrigerant), καταναλώνει 30.4 MW, ενώ το σύστημα ψύξης DMR(Double mixed refrigerant) καταναλώνει 26.4 MW.

Στην περίπτωση που το 50% του αερίου πάει για υγροποίηση και πώληση τότε έχουμε αντίστοιχα 28 MW, 21.8 MW, 19.8 MW, 14.8 MW κατά αντιστοιχία περίπτωσης. Ανάλογα με την μέθοδο ψύξης/ υγροποίησης του αερίου η διαδικασία υγροποίησης είναι τουλάχιστον ο δεύτερος μεγάλος καταναλωτής ισχύος μαζί με το στάδιο συμπίεσης του αερίου.

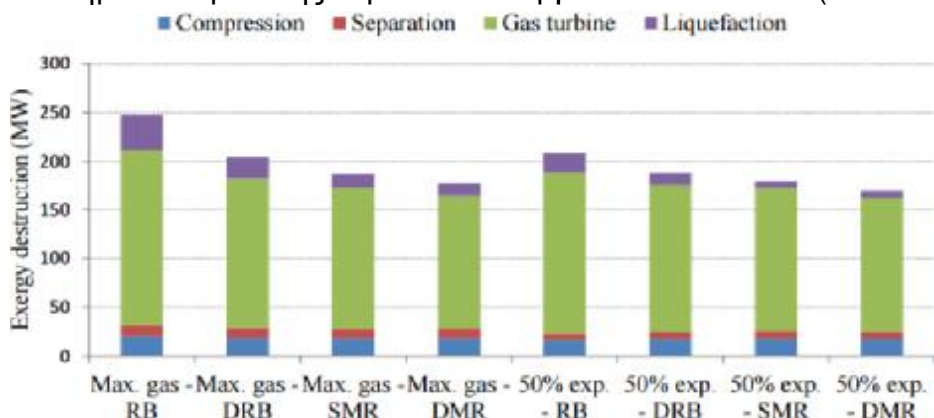
Η προσάρτηση του συστήματος ψύξης/ υγροποίησης δεν προσθέτει μονάδες καταναλώσιμης ενέργειας στην διαδικασία διαχωρισμού αλλά στο σύστημα συμπίεσης του αερίου, ώστε να οδηγηθεί το αέριο στο σύστημα ψύξης. Όταν προσαρτάται και το σύστημα ψύξης/ υγροποίησης αυξάνονται εκθετικά οι μονάδες καταναλώσιμης ενέργειας, αφού ήδη ο συμπιεστής αερίου θα αυξήσει την πίεση της ροής του αερίου τουλάχιστον στα 55 Mpascal (542.81 atm, 550 bar)(29)

Καταμέτρηση εξέργειας(29)

Όπως προαναφέρθηκε, στην επεξεργασία ρευστών υδρογονανθράκων, τα μεγαλύτερα ποσά εξέργειας, προκύπτουν στην εγκατάσταση υγροποίησης φυσικού αερίου. Η διαδικασία εκτόνωσης αζώτου(Brayton cycle), έχει εξέργεια 36 MW, ενώ η διαδικασία DMR έχει εξέργεια 13 MW για πώληση όλου του παραγώμενου φυσικού αερίου.

Τα αντίστοιχα μεγέθη για την πώληση του 50% του φυσικού αερίου τα αντίστοιχα ποσά εξέργειας είναι 20 MW και 7.2 MW. Η εξεργειακή απόδοση της κρυογενικής διαδικασίας καταλαμβάνει το

30%-45%, της συνολικής επεξεργασίας. Η εξεργειακή απόδοση της διαδικασίας συμπίεσης, στα συστήματα συμπίεσης αερίου καταλαμβάνει το 50%-60%(εικόνα 5.13).



Εικόνα 5.13

5.2) ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΥΓΡΟΠΟΪΗΣΗΣ ΑΕΡΙΟΥ(21)

Εισαγωγή

Στην παρούσα στιγμή, γύρω στις 9000 παράκτιες πλατφόρμες λειτουργούν παγκοσμίως σε βάθη από 3 μέτρα έως 1524 μέτρα. Τα φορτία που διακινούνται σε μια τέτοια εγκατάσταση είναι από 5 τόνους έως 5000 τόνους είτε αέριο, είτε πετρέλαιο ή και τα δύο. Υπάρχει μια πληθώρα συστημάτων παραγωγής, από σταθερές πλατφόρμες σε υποθαλάσσιες επιφάνειες έως και επιπλέοντα συστήματα.

Το πρώτο βήμα έγινε το 1897 όπου ο H.L. Williams, επέκτεινε ένα πηγάδι εξόρυξης μέσα στο κανάλι Santa Barbara (δλδ. Offshore), ανοίγοντας το από μια αποβάθρα. Μετά από 5 χρόνια, 150 Offshore πηγάδια παρήγαγαν υδρογονάνθρακα και το κάνουν μέχρι και σήμερα. Στις αρχές της δεκαετίας του 1920, ασάλινες αποβάθρες σε μήκος $\frac{1}{4}$ του μιλίου (42 μέτρων) τόνωσαν την παραγωγή υδρογονάνθρακα στις παράκτιες θαλάσσιες περιοχές. Το 1932 η εταιρία Indian Petroleum Corp, αποφάσισε ότι μπορούσε να πάει ακόμα πιο μακριά από την ακτή στα $\frac{1}{2}$ του μιλίου (805 μέτρα).

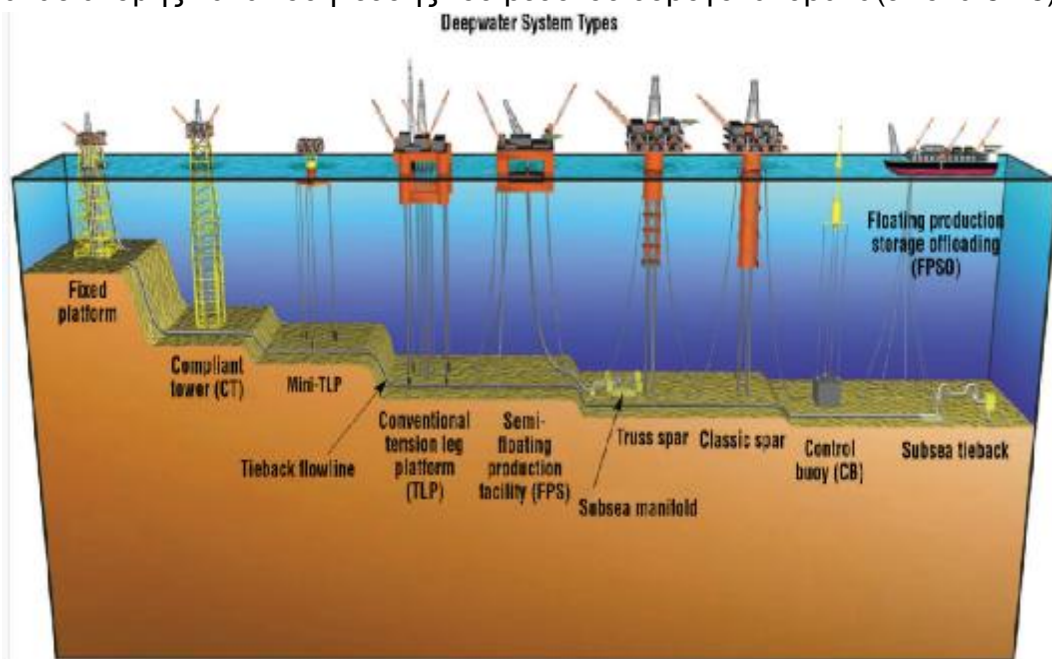
Αντί να φτιάξει μια αποβάθρα 800 μέτρων, οδηγήθηκε στο να φτιάξει ένα κομμάτι της αποβάθρας στα 800 μέτρα από την ακτή με ασάλινες δοκούς και σταυρωτά μέλη. Πρόσθεσε ένα κατάστρωμα (deck), ένα πλεούμενο ορθογωνικού σχήματος (barging) σε έναν πύργο υποστήριξης (derrick) κατασκευάζοντας την πρώτη εν πλώ ολοκληρωμένη εγκατάσταση εκμετάλλευσης υδρογονανθρακικών μειγμάτων. Συγκεκριμένα, τον Σεπτέμβριο του 1932 αυτό το εν πλώ κατασκεύασμα είχε βύθισμα στη θάλασσα 38 feet (11.6 μέτρα) και μπορούσε να υποδεχτεί περιστροφικό τρυπάνι 120 feet (37 μέτρα).

Με την πάροδο των ετών, πηγαίνοντας μακρύτερα από την ακτή, οι απαιτήσεις αυξήθηκαν αφού αυξήθηκε το βάθος υποθαλάσσιας εξόρυξης του εξοπλισμού παραγωγής υδρογονάνθρακα. Έτσι χρειάστηκε η κατασκευή χαλύβδινων χιτωνίων (Steel Jackets->εικόνα 5.14), που είναι πιο ανθεκτικά. Αργότερα τα χαλύβδινα χιτωνία αποκτούν πιο περίπλοκη και ευέλικτη κατασκευή, ώστε να ανταποκρίνονται στα μεγάλα βάθη που εγκαθίστανται.



Εικόνα 5.14

Έτσι πλέον έχουμε χαλύβδινα χιτώνια με μήκος έως και 1350 feet (412 μέτρα). Για λόγους ασφαλείας τα χαλύβδινα χιτώνια πρέπει να έχουν μέγιστο μήκος 1500 feet (457 μέτρα). Αν λοιπόν η πηγή του υδρογονάνθρακα είναι στα 457 μέτρα, τότε μια πακτωμένη πλατφόρμα με χαλύβδινο χιτώνιο είναι αρκετή. Επίσης, υπάρχει μια ποικιλία εγκαταστάσεων εξόρυξης, παραγωγής, αναδιανομής και αποθήκευσης του ρευστού υδρογονάνθρακα(εικόνα 5.15).

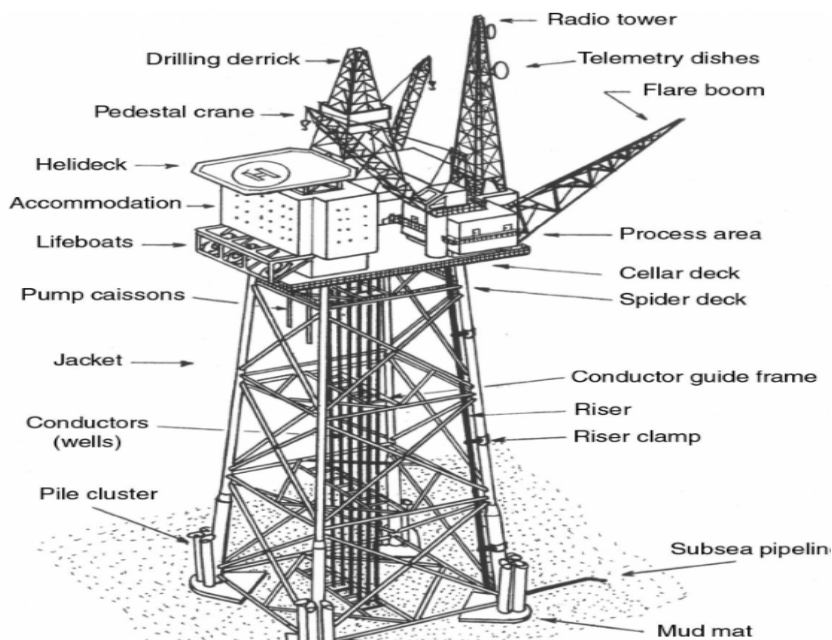


Εικόνα 5.15

Παρακάτω θα εξηγήσουμε αναλυτικότερα τις μεθόδους αυτές.(21)

5.2.α) Πακτωμένες χαλύβδινες κατασκευές εν πλω (Fixed Steel offshore Platforms)(21,24)

Οι πιο συνηθισμένες θαλάσσιες εγκαταστάσεις εξόρυξης υδρογονάνθρακα είναι οι κατασκευές μανδύα(Jacket Structure), οι οποίες έχουν το χαρακτηριστικό της ξηρής εισόδου στο πηγάδι εξόρυξης(Dry Wellhead), δηλαδή η άνοδος του υδρογονάνθρακα από το πηγάδι γίνεται απομονωμένα από το νερό.



Εικόνα 5.16

Ο μανδύας είχε χρησιμοποιηθεί αρχικά στις πρώτες παράκτιες γεωτρήσεις για να κατευθύνει τους πασσάλους που βυθίζονται στον πυθμένα της θάλασσας. Αφού οι κολώνες (Piles) βυθιστούν, κόβεται το πάνω μέρος τους που υπερέχει του μανδύα και τοποθετείται η πλατφόρμα. Ο μανδύας συγκολλάται στο πάνω μέρος των κολώνων με δακτύλιους (rings) και ειδικά υποστηρίγματα (gussets).

Ως εκ τούτου, ο μανδύας δεν φέρει το βάρος της πλατφόρμας, αλλά κρέμεται από τις κολώνες παρέχοντας πλευρική υποστήριξη σε αυτές. Κάποιες εταιρίες προτιμούν να βάζουν καλούπια στο κάτω μέρος του κάθε ποδιού του μανδύα και να χυτεύουν (γεμίζουν) τον δακτυλοειδή χώρο μεταξύ του ποδιού του μανδύα και της κολώνας στήριξης (Pile) από κάτω προς τα πάνω. Η χυτευτή κατασκευή και οι κολώνες μοιράζονται το αξονικό φορτίο από το κατάστρωμα (deck) και τις πλευρικές δυνάμεις από τα θαλάσσια κύματα.

Η χύτευση αυτή προσφέρει επιπλέον δύναμη στα σωληνοειδή τοιχώματα του μανδύα, είτε αυτά που είναι οριζόντια συγκολλημένα, είτε αυτά που είναι διαγώνια συγκολλημένα στα πόδια του μανδύα. Μειονεκτήματα της χυτευτής αυτής κατασκευής είναι η όχι 100% εγγύηση ότι η χύτευση έχει γίνει στα σωστά σημεία και ότι είναι αρκετά δυνατή. Τέλος, έχει μειονεκτήματα κατά την μετακίνηση.

Αν το βάθος της θάλασσας ξεπερνά τα 250 πόδια (76 μέτρα), τότε η χύτευση είναι απαραίτητη. Σε μεγάλα βάθη, λόγω της αύξησης της πίεσης, αυτή η μέθοδος μπορεί να μην είναι αρκετή για να μεταφέρει τα πλευρικά φορτία στον πυθμένα της θάλασσας. Σε αυτήν την περίπτωση, προστίθενται στην βάση των ποδιών του μανδύα, σε συστοιχίες, κυκλωτικά έξτρα κολωνάκια. Η εικόνα 5.16 δείχνει μια τέτοια κατασκευή σε βάθος 350 ποδιών (107 μέτρα).

Εξοπλισμός

Πλατφόρμα (Topsides): Ο εξοπλισμός παραγωγής και οι εγκαταστάσεις συνήθως ονομάζονται το άνω μέρος (TOPSIDES). Για απλοποίηση της εγκατάστασης του στην θάλασσα, ο εξοπλισμός παραγωγής και οι εγκαταστάσεις εγκαθίστανται σε ομάδες (modules). Η κάθε ομάδα μπορεί να ζυγίζει από εκατοντάδες τόνους έως μερικές χιλιάδες τόνους.

Τα modules δημιουργούνται στην στεριά και ελέγχονται επίσης στη στεριά πριν φορευθούν στον μανδύα από πλοία γερανούς. Ο χαλύβδινος μανδύας είναι μια κατασκευή που υποστηρίζει τον εξοπλισμό παραγωγής καθώς και υπερκατασκευές που αποτελούνται από ένα ή περισσότερα καταστρώματα.

Οι απαιτήσεις της παραγωγής μπορεί να είναι τέτοιες που εκτός από την εξόρυξη, απαιτείται ο διαχωρισμός πετρελαίου/αερίου/νερού και σκόνης, η κλασμάτωση πετρελαίου/αερίου που πρόκειται να πωληθεί και απαλλαγή από το νερό και την σκόνη.

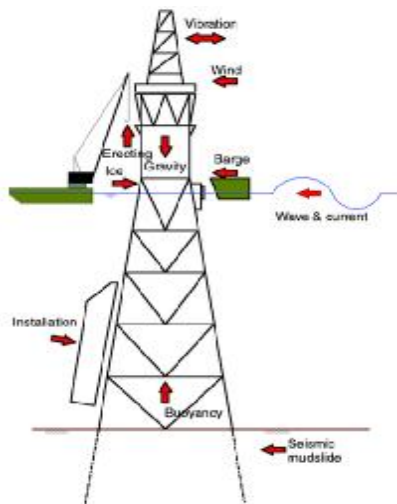
Σε γενικές γραμμές όμως μια πλατφόρμα συμπεριλαμβάνει τα παρακάτω:

- Γεννήτριες, τεπόζιτα καυσίμων, μετρητές αερίου, ενισχυτές ροής αερίου/νερού, υπόνομος.
- Γερανοί
- Διαμονή προσωπικού
- Χώροι εργασίας
- Αίθουσες ελέγχου
- Συστήματα ασφαλείας για εντοπισμό κινδύνων, προστασίας και σχέδιο διαφυγής προσωπικού
- Ελικοδρόμιο
- Αγωγός καύσης εναπομείνοντος αερίου(αν είναι απαραίτητος)

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα γεωτρύπανα συμπεριλαμβάνονται στο module εξοπλισμού γεώτρησης και συντήρηση φρεατίων. Ως εκ τούτου στην κατασκευή της πλατφόρμας δεν συμπεριλαμβάνονται τα γεωτρύπανα.

Χαλύβδινος μανδύας: Ο σχεδιασμός του μανδύα συμπεριλαμβάνει τις διαστάσεις του βάσει των βαθών που λειτουργεί και των απαιτήσεων που υπάρχουν για το πεδίο που βρίσκεται ο υδρογονάνθρακας, αξιολογώντας παράλληλα τις δυνάμεις που θα ασκούνται από τα κύματα και τα υπόγεια ρεύματα της θάλασσας στην περιοχή.

Αξιολόγηση των αιολικών ρευμάτων και κυμάτων για την πλατφόρμα. Προσαρμογή του μεγέθους της εγκατάστασης για να ανταποκριθεί σε θέματα στιβαρότητας/δύναμης, αντοχής στην κόπωση, ευκολία και ταχύτητα στην συντήρηση της. Τέλος, αντίστοιχη προσαρμογή του μεγέθους του εξοπλισμού.



Εικόνα 5.17

Στην εικόνα 5.17 βλέπουμε τις δυνάμεις που ασκούνται στον μανδύα σε μορφή βελών. Οι οριζόντιες δυνάμεις από τα κύματα αποτελούνται από δυνάμεις βίαιης έλξης από την κινητική ενέργεια του νερού και εσωτερικές δυνάμεις από την επιτάχυνση των σωματιδίων του νερού. Η συνολική οριζόντια δύναμη υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την συνολική επιφάνεια που δέχεται τις δυνάμεις των κυμάτων με την πίεση του νερού.

Η πλειονότητα των οριζόντιων φορτίων που φέρει το νερό σχετίζεται με τις διατομές των σωληνοειδών δομών της εγκατάστασης, αλλά και την ακριβή θέση των σωληνοειδών δομών μέσα στην εγκατάσταση. Εντός του χαλύβδινου σκελετού του μανδύα υπάρχουν χαλύβδινοι αγωγοί ανόδου του παραγόμενου υδρογονάνθρακα(Risers).

Τέλος, η πλατφόρμα και οι αγωγοί ανόδου του παραγόμενου υδρογονάνθρακα είναι μέρος όλων των εν πλω εγκαταστάσεων (21,24)

5.2.β) Πύργος οπλισμένου σκυροδέματος εν πλω (Concrete gravity based offshore structure)(24)

Υπάρχουν κάποιες πλατφόρμες που υποστηρίζονται από εγκαταστάσεις οπλισμένου σκυροδέματος. Αυτές οι εγκαταστάσεις δεν απαιτείται να πακτωθούν στον πυθμένα. Το βάρος τους από μόνο του, αντιστέκεται στα πλευρικά θαλάσσια ρεύματα και τους ισχυρούς ανέμους. Το μεγαλύτερο τμήμα της κατασκευής αποτελείται ουσιαστικά από οπλισμένο σκυρόδεμα και ένα μικρότερο τμήμα από χάλυβα.

Οι εγκαταστάσεις αυτές(εικόνα 5.18) πρωτοδημιουργήθηκαν στην Νορβηγία. Ο λόγος ήταν η ύπαρξη υδρογονανθρακικών μειγμάτων μέσα στα Φιορδ της χώρας. Οι εγκαταστάσεις οπλισμένου σκυροδέματος προσφέρουν χώρο για αποθήκευση του εξορυγνόμενου υδρογονάνθρακα.



Εικόνα 5.18

Η βάση της κατασκευής αυτής είναι μια συστοιχία τοιχών οπλισμένου σκυροδέματος, που εξέχουν της επιφάνειας της θάλασσας για να υποστηρίξουν την πλατφόρμα. Οι απαιτήσεις του δομικού σχεδιασμού μιας εγκατάστασης οπλισμένου σκυροδέματος, είναι η ποιότητα υλικών, η δύναμη και η λειτουργικότητα.

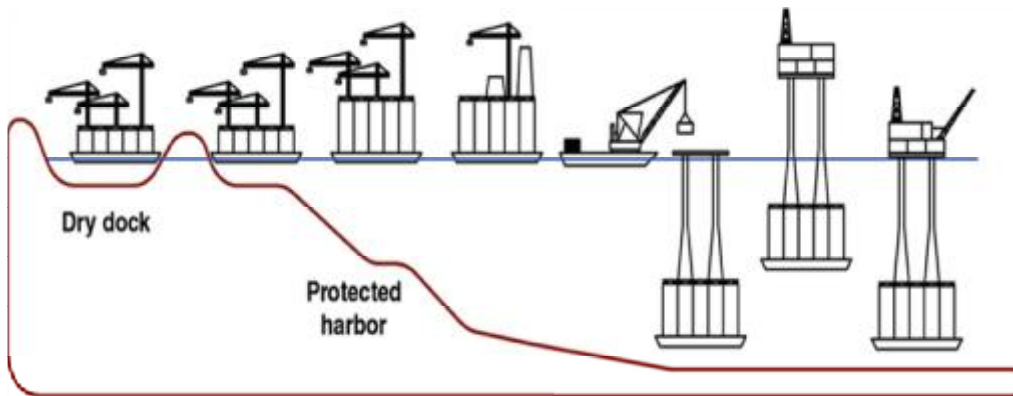
Μια τέτοια εγκατάσταση περιέχει όλα τα στάδια της παραγωγής και επεξεργασίας του υδρογονάνθρακα(Γεώτρηση, εξόρυξη, αποθήκευση). Από την πιο απλή εγκατάσταση οπλισμένου σκυροδέματος μέχρι την πιο σύνθετη έχει τα δύο παρακάτω χαρακτηριστικά: Αντοχή στα περιβαλλοντικά φορτία και επαρκή υποστήριξη στο πάνω μέρος της εγκατάστασης (πλατφόρμα).

Κατά την σχεδίαση έχει γίνει η παραδοχή πως το περιβάλλον της εγκατάστασης είναι τέτοιο που ομοιάζει με << βιβλικής καταστροφής>>. Έτσι, το οπλισμένο σκυρόδεμα από τα γενοφάσκια του είναι έτοιμο να δεχτεί απίστευτα μεγάλα πλευρικά φορτία εκ θαλάσσης και αέρος.

Το οπλισμένο σκυρόδεμα φτάνει σε αυτές τις υψηλές αντοχές κατά την διάρκεια της κατασκευής του προσθέτοντας οπλισμό σε όλα τα στάδια της κατασκευής του: Γίνεται μια αρχική όπλιση του σκυροδέματος σε μια αποβάθρα απομονωμένη από το νερό. Μια δεύτερη όπλιση γίνεται σε ένα λιμάνι προστατευμένο από τις ακραίες καιρικές συνθήκες. Τέλος, ολοκληρώνεται η όπλιση του σκυροδέματος την χρονική στιγμή που το module της πλατφόρμας τοποθετείται και εξισορροπείται πάνω στα τοίχη του οπλισμένου σκυροδέματος.

Η βάση των τοιχών οπλισμένου σκυροδέματος, δεν υπόκειται σε πίεση κατά την κατασκευή της. Πρέπει λοιπόν να έχει τέτοια σχεδίαση που να αντιστέκεται στην υδραυλική πίεση που δέχεται κατά την βύθιση στον πυθμένα. Παρεπιπτόντως η εξισορρόπηση της πλατφόρμας στην εγκατάσταση προηγείται της ρυμούλκησης. Η εξισορρόπηση αυτή(το γέμισμα τη εγκατάστασης

στα κατάλληλα σημεία με οπλισμένο σκυρόδεμα για την ισορροπία της πλατφόρμας), είναι αρκετή για να προετοιμαστεί η βάση για τις συνθήκες της μόνιμης εγκατάστασης της(εικόνα 5.19).



Εικόνα 5.19

5.2.γ) Ανεξάρτητοι ευέλικτοι εν πλω χαλύβδινοι πύργοι (Freestanding compliant offshore steel towers)(22)

Η πλειονότητα των εγκαταστάσεων εξόρυξης υποθαλάσσιων πηγών υδρογονάνθρακα χρησιμοποιούν πακτωμένα χαλύβδινα πλέγματα που στην κορυφή τους έχουν μια πλατφόρμα (fixed steel Jackets, βλ. 5.2.α). Το χαρακτηριστικό τους είναι ότι λόγω της πάκτωσης στον πυθμένα της θάλασσας, η βάση της κατασκευής λειτουργεί σαν άρθρωση.

Αυτό ωθεί την φυσική περίοδο της κατασκευής να είναι μικρότερη από την ενέργεια των κυμάτων (περίοδο των κυμάτων) που είναι μεταξύ 8 και 20 δευτερολέπτων. Καθώς όμως το βάθος μεγαλώνει, μεγαλώνει και η πίεση των θαλάσσιων ρευμάτων, οπότε η κατασκευή γίνεται πιο ευέλικτη, η φυσική της περίοδος μεγαλώνει επικίνδυνα και φτάνει την περίοδο των κυμάτων των μεγάλων βαθών. Αυτό οδηγεί στην δυναμική απόκριση της κατασκευής που λόγω αδράνειας αντιμάχεται τις υψηλές πιέσεις των μεγάλων βαθών.

Σαν αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού, η δομή της κατασκευής υπόκειται σε επικύνδινα μεγάλη κόπωση αφού η συχνότητα είναι μεγαλύτερη των 20 δευτερολέπτων. Για να αποφευχθεί η αστοχία υλικού απαιτείται η αναγκαστική ενίσχυση της καθώς το βάθος μεγαλώνει. Αξίζει να σημειωθεί πως μέχρι τα 1500 πόδια (457 μέτρα) τα πακτωμένα χαλύβδινα πλέγματα είναι ασφαλή. Από εκεί μέχρι τα 3000 πόδια (915 μέτρα), τα ινία τα αναλαμβάνουν οι ανεξάρτητοι ευέλικτοι εν πλω χαλύβδινοι πύργοι (Freestanding Compliant offshore steel Towers → FCT).

Οι FCT χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η μια κατηγορία είναι ο απλός ευέλικτος πύργος (Compliant tower) και η άλλη κατηγορία είναι ο πύργος ελεγχόμενος από συρματόσχοινα (Guyed tower concept).

Απλός ευέλικτος πύργος (Compliant Tower)

Οι ευέλικτοι πύργοι, είναι τρισδιάστατες χαλύβδινες κατασκευές (steel-truss), που έχουν μικρό εμβαδόν στον άξονα [x,z], ενώ η βάση που πακτώνεται στον βυθό της θάλασσας έχει μικρότερη επιφάνεια από αυτήν του απλού πακτωμένου χαλύβδινου πύργου. Είναι της ίδιας φιλοσοφίας με την προηγούμενη κατηγορία αλλά μεγαλύτερου ύψους και μικρότερης επιφάνειας [x,z] (εικόνα 5.20).



Εικόνα 5.20

Πύργος ελεγχόμενος από συρματόσχοινα (Guyed tower Concept)

Οι συγκεκριμένοι πύργοι είναι φτιαγμένοι να προσαρμόζονται στη δίνη των κυμάτων. Συρματόσχοινα που είναι δεμένα πάνω στον πύργο και βυθισμένα μέσω πασσάλων στον πάτο της θάλασσας, αλλά και ειδικές πλεούμενες συσκευές που λειτουργούν σαν ισορροπιστές της όλης εγκατάστασης, προσφέρουν πλευρική ισορροπία και μικρών κλίσεων πλεύση της πλατφόρμας που βρίσκεται στην κορυφή της εγκατάστασης. Ένα από τα πιο κρίσιμα στοιχεία είναι η δυναμική απόκριση της εγκατάστασης. Για αυτό γίνεται μελέτη ανοχών του πύργου, καθώς και σχεδιαστική μελέτη ανοχών για τους πασσάλους που βυθίζονται στον πυθμένα της θάλασσας(εικόνα 5.21).



Εικόνα 5.21

Στην περίπτωση πρόσκρουσης ενός δυνατού κύματος πάνω στην εγκατάσταση, αυτή λόγω αδράνειας αντιστέκεται στην ορμή του κύματος. Οι πάσσαλοι μέσω των σχοινιών απορροφούν την ορμή των κυμάτων και συγκρατούν τον πύργο. Τοποθετώντας τους πασσάλους σε κοντινή απόσταση από τον νοητό άξονα του πύργου, μειώνεται η παρέκκλιση του πύργου. Ενώ το μεγάλο μήκος των πασσάλων αυξάνει την αντοχή των πασσάλων στις δυνάμεις τάσεις/ συμπίεσης. Η τεχνολογία των εγκαταστάσεων αυτών ομοιάζει με αυτήν των χαλυβδίνων οπλισμών, ενώ αρκετές φορές δεν κατασκευάζεται ένας μονοκόματος πύργος αλλά δύο μικρότερου μήκους και σε σειρά πύργοι.(22)

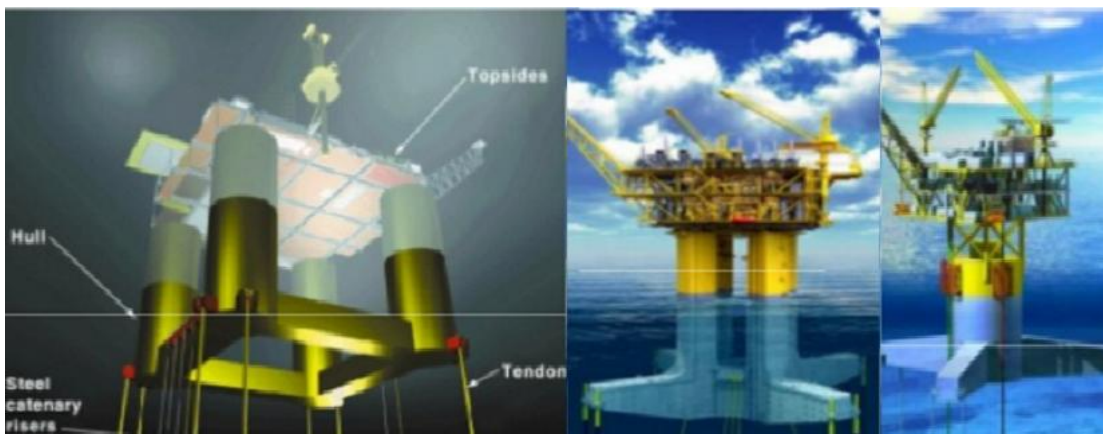
5.2.δ). Πλατφόρμα με συρματόσχοινα (Tension leg platform)(22)

Είναι πλατφόρμες που αγκυροβολούν στον πυθμένα της θάλασσας μέσω τανισμένων συρματόσχοινων. Οι κατασκευές αυτές είναι για βάθη έως και 5000 ποδιών(1524 μέτρα), ενώ με ενίσχυση της κατασκευής μπορεί να φτάσουν σε βάθη έως και 7000 ποδιών(2134 μέτρα).

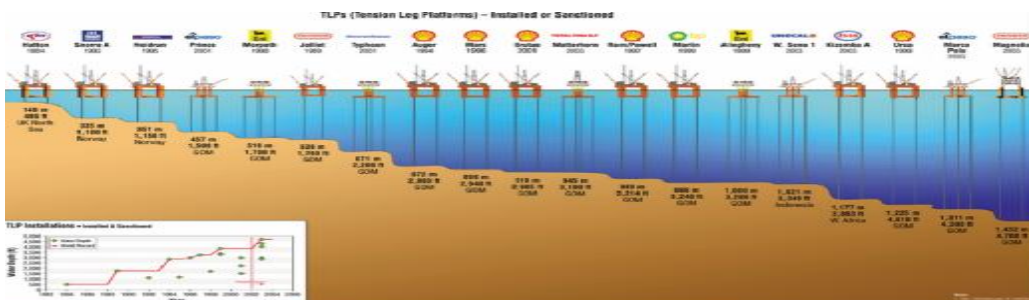
Το πάνω μέρος της εγκατάστασης έχει μια πλατφόρμα που αποτελείται από το κατάστρωμα, ενώ κάτω από το κατάστρωμα υπάρχει ένα σκάφος πλεύσης που αποτελείται από κυλινδρικές χαλύβδινες κολώνες, που έχουν ανάμεσα τους μεταλλικό οριζόντιο πλέγμα(rontoons), για την ικανότητα πλεύσης της όλης πλατφόρμας. Ορισμένες φορές τοποθετούνται επιπλέον κυλινδρικά πλέγματα για αύξηση της ισορροπίας πλεύσης.

Η πλατφόρμα είναι αγκυροβολημένη στον πυθμένα της θάλασσας μέσω τανισμένων συρματόσχοινων που βυθίζονται στην θάλασσα. Τα πάνω μέρη των συρματόσχοινων είναι δεμένα σε ειδικά σχεδιασμένες ορθογωνικές υποδοχές που έχουν διαμορφωθεί στην περιφέρεια της βάσης της πλατφόρμας.

Αξίζει να σημειωθεί πως τα συρματόσχοινα δεν βυθίζονται στον πυθμένα της θάλασσας έτσι απλά. Υπάρχει μια θεμέλια εγκατάσταση που είναι βυθισμένη στον πυθμένα με ειδικά διαμορφωμένες υποδοχές για να προσδεθούν τα τανυσμένα συρματόσχοινα. Αυτή η υποθαλάσσια θεμέλια εγκατάσταση (Foundation system) αν και περίπλοκη προσδίδει αυξημένη σταθερότητα στον νοητό κάθετο άξονα των συρματόσχοινων, καθώς και στη χρήση αγωγών ανόδου του παραγόμενου υδρογονανθρακικού μείγματος(Risers)(εικόνα 5.22).



Εικόνα 5.22



Εικόνα 5.23

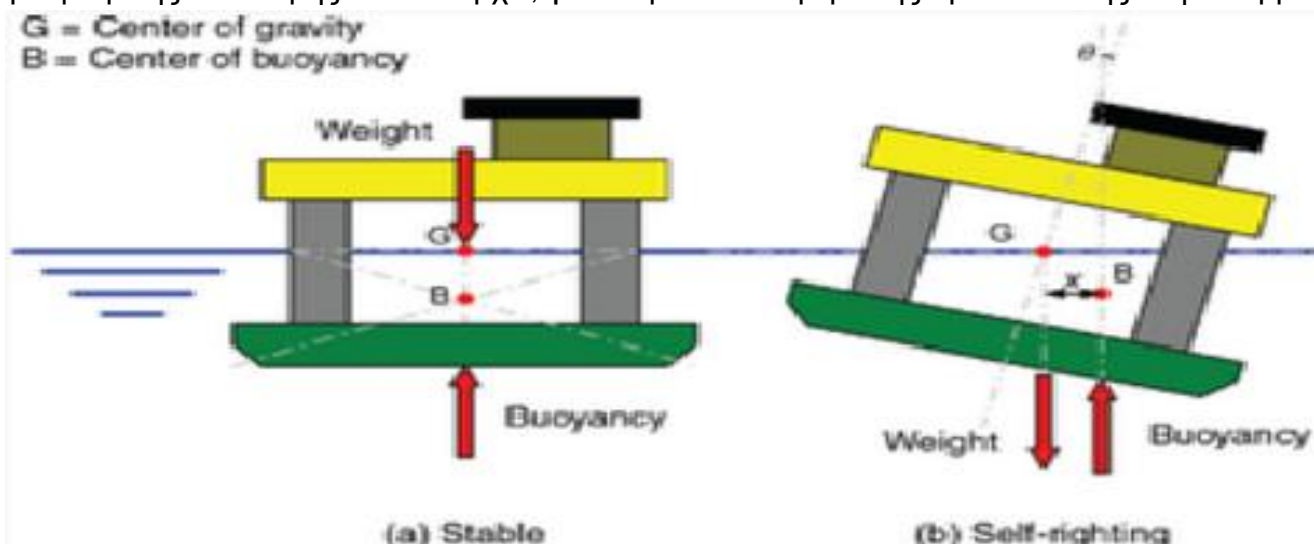
(22)

5.2.ε) Πλεούμενα συστήματα παραγωγής (floating production system->F.P.S)(21,22)

Το FPS είναι ένα πλαίσιο που πλέει. Έχει τον εξοπλισμό μιας πακτωμένης πλατφόρμας, όμως δεν είναι πακτωμένη στο θαλάσσιο υπέδαφος, και χρησιμοποιείται συνδυαστικά με πηγάδια εξόρυξης που διανοίγονται στον πυθμένα της θάλασσας.

Χρησιμοποιείται για μεσαία και μεγάλα θαλάσσια βάθη. Αντικαθιστά την πακτωμένη χαλύβδινη πλατφόρμα σε βάθη που αυτή δεν μπορεί να σταθεί. Λόγω του γεγονότος ότι δεν είναι ένας πακτωμένος χαλύβδινος σκελετός ή δεν περιλαμβάνει τανυσμένα συρματοσχοίνα που να την κρατάνε σταθερή σε μια φουρτουνιασμένη θάλασσα, το μέλημα του μηχανικού είναι η καλή ισορροπία σε ήρεμα νερά αλλά και σε ταραγμένα νερά.

Αυτή η ισορροπία λοιπόν σχετίζεται με το κέντρο βάρους της εγκατάστασης αλλά και το κέντρο πλευστότητας της εγκατάστασης. Όπως βλέπουμε και στην εικόνα(5.24), η εγκατάσταση αποκτά κλίση λόγω των κυμάτων που προσκρούουν. Υπάρχει όμως μια χρονική στιγμή στην συχνότητα που τα κύματα χτυπάνε την εγκατάσταση, όπου λόγω της γεωμετρίας και της κατάλληλης γεωμετρικής κατανομής που υπάρχει, γίνεται μια επαναφορά της εγκατάστασης στην ισορροπία.



Εικόνα 5.24

Συμβατικά FPS

Ένα συμβατικό FPS χρησιμοποιεί μια ημιυποβρύχια κατασκευή που φιλοξενεί τον εξοπλισμό για εξόρυξη του προϊόντος είτε μια καρίνα πρώην δεξαμενόπλοιου. Αγκυροβολημένα συρματοσχοίνα (όχι τανυσμένα) χρησιμοποιούνται για μικρή μεταβολή της θέσης της εγκατάστασης κατά την παραγωγή.

Χρησιμοποιεί αγωγούς ανόδου του παραγόμενου υδρογονάνθρακα που έχουν ελαστική δομή και ευέλικτη γεωμετρία (Risers), ώστε να απορροφούν τους κραδασμούς που προκαλεί η ορμή των κυμάτων. Το βασικό βέβαια μειονέκτημα των ημιυποβρύχιων συστημάτων είναι η έλλειψη χώρου αποθήκευσης του εξορυγνιόμενου προϊόντος. Αυτή η έλλειψη χώρου, οδηγεί στην διακοπή του συστήματος παραγωγής υδρογονάνθρακα κατά την διάρκεια μεταφοράς του προϊόντος σε ένα τάνκερ.



Εικόνα 5.25

Καθώς το βάθος μεγαλώνει, μεγαλώνει το μήκος και το βάρος των αγωγών ανόδου του ρευστού υδρογονάνθρακα. Επίσης μεγαλώνουν και τα συρματοσχοίνα αγκυροβόλησης στον πυθμένα. Κατεπέκταση μεγαλώνει και η ημιυποβρύχια πλεύσιμη κατασκευή ή η καρίνα, γιατί κύριο μέλημα της εγκατάστασης είναι η σωστή και ισορροπημένη πλεύση. Η μεγέθυνση των module, οδηγεί στην υπερβολική αύξηση του βάρους της εγκατάστασης. Παράλληλα, έχει παρατηρηθεί ότι σε μεγάλα βάθη η μεταβολή της θέσης πλεύσης είναι χαρακτηριστικά μεγάλη, ενώ μειώνεται και η ισορροπία της εγκατάστασης.

Αυτά τα προβλήματα υπερπηδώνται χρησιμοποιώντας σύνθετα υλικά στους αγωγούς ανόδου του ρευστού και στα μέσα αγκυροβόλησης, όπως ο πολυεστέρας. Οι risers και τα συστήματα αγκυροβόλησης είναι άρρηκτα συνδεδεμένα μεταξύ τους, διότι το σύστημα αγκυροβόλησης περικλύει και προστατεύει τους risers από τα πλευρικά κύματα.

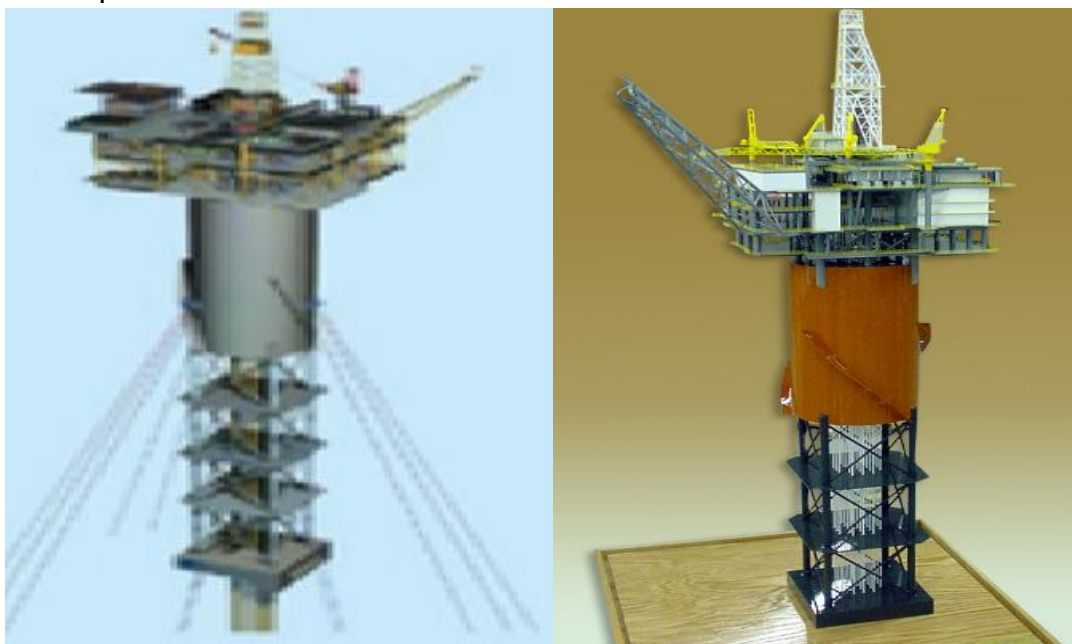
Αυτές οι εγκαταστάσεις μπορούν να λειτουργήσουν έως και τα 6000 πόδια (1829 μέτρα), και μια τέτοια είναι η Petrobras P40 (εικόνα 5.26). (21,22)



Εικόνα 5.26

5.2.στ) Πλωτήρες μεγάλου βυθίσματος (Deep draft floaters->DDF)(22)

Το DDF είναι ένας πλωτήρας που στο κάτω μέρος του έχει ένα σκάφος πλεύσης μεγάλου βυθίσματος, για να ελαχιστοποιηθούν η ανοδοκαθοδικές κινήσεις (heave motions), όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.27.



Εικόνα 5.27

Η εικόνα 5.27 δείχνει μια υποκατηγορία DDF που λέγεται truss spar, δηλαδή μια εγκατάσταση με κολώνες στήριξης. Άλλες υποκατηγορίες της εγκατάστασης DDF έχουν ημιυποβρύχια δομή με σκάφη πλεύσης διαφορετικής κατασκευής όπως στην εικόνα 5.28.



Εικόνα 5.28

Όπως βλέπουμε, το μέρος πάνω στο οποίο τοποθετείται η πλατφόρμα είναι ένα κυλινδρικό κέλυφος που προσδίδει στην πλατφόρμα την πλευστική ικανότητα της. Ένα φρεάτιο στο κέντρο του κυλινδρικού κελύφους προστατεύει τους ανυψωτές υδρογονανθρακικού μείγματος, καθώς και το σύστημα τάνισής τους. Το κατώτερο τμήμα του κυλινδρικού κελύφους φέρει μια ομάδα κολωνών στήριξης, με ειδικά διαμορφωμένα πατώματα (Πυλωτές) για ρύθμιση της ανύψωσης ανάλογα με τα θαλάσσια ρεύματα.

Οι ανυψωτές υδρογονάνθρακα είναι κάθετης διαμόρφωσης, ώστε να προστατεύονται οι είσοδοι του υδρογονάνθρακικού μείγματος στο κάτω μέρος της πλατφόρμας της εγκατάστασης, χωρίς

όμως να αποκόπτεται και η είσοδος στο πηγάδι εξόρυξης. Μια καρίνα στην βάση των πυλωτών με αντίβαρα κρατά σε ισοροπημένη πλέυση την εγκατάσταση.

Η αγκυροβόληση της εγκατάστασης γίνεται με πολυεστερικούς αγωγούς υψηλής αντοχής ή με αλυσίδες που βυθίζονται στον πυθμένα. Είναι σχεδιασμένα να συνδέονται με πολλές ομάδες πλατφορμών σε βάθος αρκετών εκατοντάδων ποδιών.(22)

5.3)Εγκατάσταση σωληνώσεων ανόδου του παραγόμενου υδρογονάνθρακα(Risers)(22)

Η άνοδος του παραγόμενου ρευστού, όπως αποσπασματικά αναφέρθηκε και στις προαναφερθείσες εγκαταστάσεις, γίνεται από μια ομάδα σωληνώσεων που φτιάχνονται από διάφορα ανθεκτικά υλικά, και υπάρχουν σε όλα τα είδη πλατφορμών.

Ουσιαστικά είναι η εγκατάσταση που θα φέρει τον εξορυγνιόμενο υδρογονάνθρακα από τα έγκατα του πυθμένα της θάλασσας στην πλατφόρμα οποιασδήποτε εγκατάστασης. Οι σωληνώσεις αυτές ταλαιπωρούνται από το αφιλόξενο υποβρύχιο περιβάλλον και συγκεκριμένα από στροβιλοδίνες και δονήσεις λόγω των θαλάσσιων ρευμάτων. Για αυτό τον λόγο, κατά την διάρκεια μελέτης της κατασκευής τους παίζει ρόλο η απόσταση μεταξύ των αγωγών.

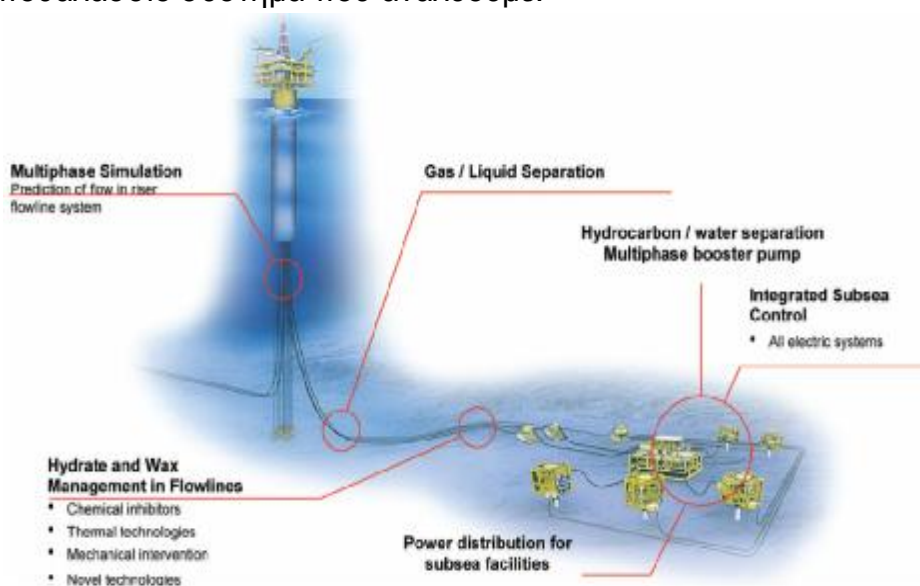
Αν η μελέτη της κατασκευής τους λόγω των συνθηκών του υποβρύχιου θαλάσσιου περιβάλλοντος οδηγήσει στο συμπέρασμα πως οι αγωγοί πρέπει σε καμία περίπτωση να μην έρθουν σε επαφή μεταξύ τους, τότε ακόμα και η πιο στιβαρή κατασκευή κινδυνεύει σε μεγάλα βάθη από μερική ή πλήρη κατασκευαστική αστοχία.

Αν πάλι αποφασισθεί ότι οι αγωγοί μπορούν να παραμείνουν λειτουργικοί ακόμα και σε επαφή μεταξύ τους, πρέπει στην μελέτη να υπολογισθεί η δύναμη κρούσης των αγωγών, ώστε να προσαρμοστεί η κατασκευαστική αντοχή τους σε αυτήν, καθώς και η απόσταση μεταξύ των αγωγών ανόδου του παραγόμενου υδρογονάνθρακα.(22)

5.4) Υποθαλάσσια συστήματα(Subsea systems)(21,22,23)

Ένα υποθαλάσσιο σύστημα εξόρυξης αποτελείται από την είσοδο του πηγαδιού(wellhead) και από ένα δίκτυο τρυπανιών που προσαρμόζεται πλήρως στην γεωμετρία του πυθμένα της θάλασσας για λόγους αξιοπιστίας και ακρίβειας του αποτελέσματος που είναι η εξόρυξη του υδρογονανθρακικού μείγματος. Τα υποθαλάσσια αυτά συστήματα χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις που αναλύονται παραπάνω.

Στην εικόνα 5.29 βλέπουμε έναν πλωτήρα μεγάλου βυθίσματος που είναι συνδεδεμένος με το υποθαλάσσιο σύστημα που αναλύουμε.



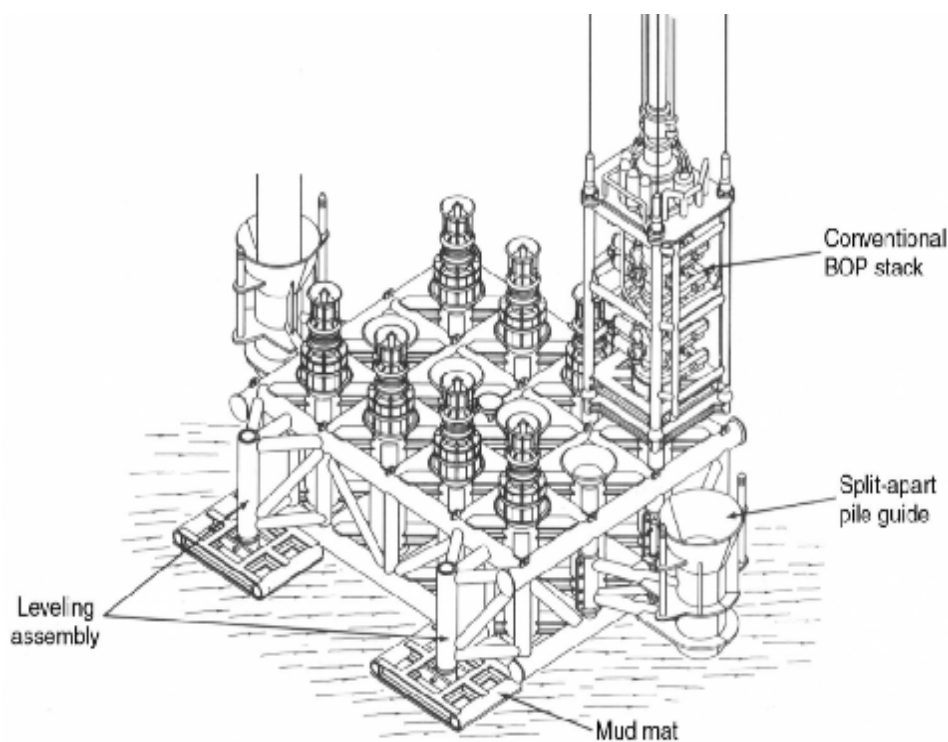
Εικόνα 5.29

Τα υποθαλάσσια πηγάδια(εικόνα 5.30) που είναι μέρος του υποθαλάσσιου συστήματος μπορούν να διανοιχτούν σε συστοιχίες ή σε μια μεταλλική βάση με πλαισιοδοκούς(template), όπου τα

ρευστά του ταμειυτήρα οδηγούνται στα πηγάδια και από εκεί στην πλατφόρμα μέσω των αγωγών ανόδου υδρογονάνθρακα(risers).Το φρεάτιο μπορεί να βυθιστεί αρχικά σε ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό σημείο και τα τρυπάνια να πάνε σε εκείνο το σημείο και να αρχίσουν την διάνοιξη του ταμειυτήρα.

Συνήθως το φρεάτιο και η διασπορά των γεωτρύπανων, σχεδιάζονται χωρίς ακριβείς θέσεις διότι εγκαθίστονται, λειτουργούν, συντηρούνται και επισκευάζονται με τηλεκατεύθυνση από μια εγκατάσταση τηλεχειρισμού στο πλεύσιμο ή με εργαλεία που κατευθύνονται ασύρματα από το πλεύσιμο.

Το φρεάτιο κάθεται σε μια ελεγχόμενης κίνησης βάση στον πυθμένα, που δρα σαν μηχανισμός εντοπισμού για το δίκτυο των γεωτρύπανων. Με τηλεκατεύθυνση, όπου τοποθετηθεί το φρεάτιο ακολουθούν και τα γεωτρύπανα για να διανοίξουν τον ταμειυτήρα.



Εικόνα 5.30

Η τεχνολογία χωρίς αρχική βύθιση(diver-less) είναι μια σχετικά πρωτοποριακή τεχνολογία που επιτρέπει την εξόρυξη υδρογονάνθρακα από μέρη που τεχνολογίες φρεατίων μέσων βαθών δεν μπορούν να φτάσουν.

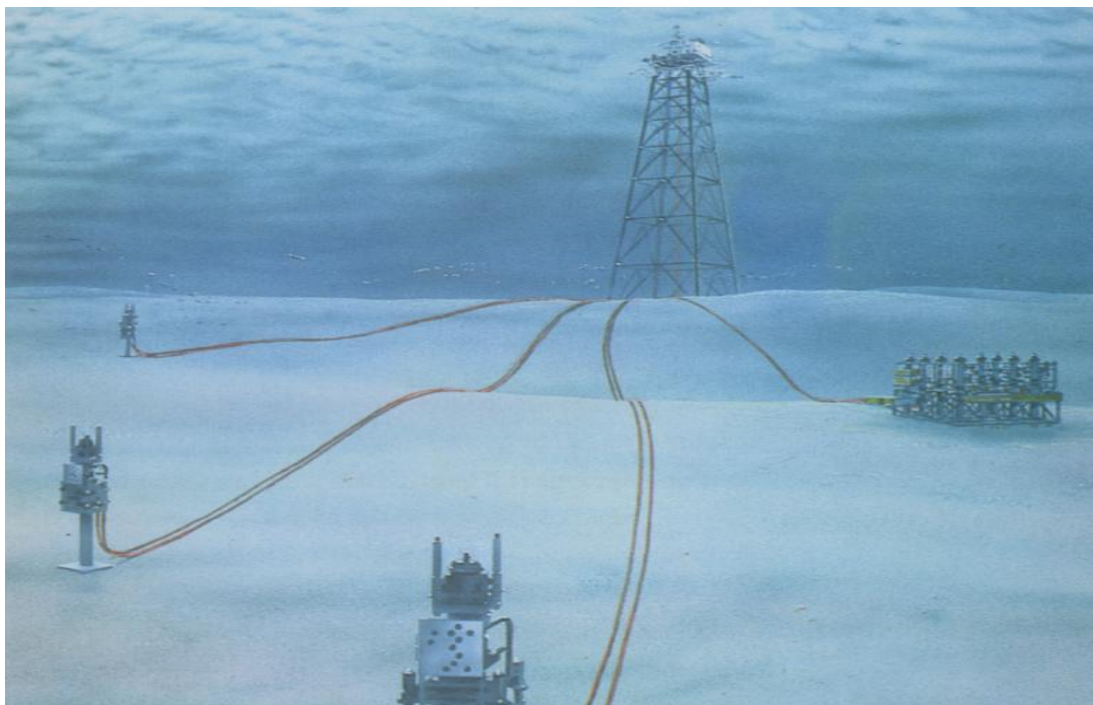
Η εξέλιξη της τεχνολογίας diver-less είναι μια βάση πλαισιοδοκών πολλαπλών φρεατίων(Multi-well templates). Αυτή η τεχνολογία μειώνει το κόστος παραγωγής, διότι το πλεύσιμο δεν χρειάζεται να μετακινείται για να συνδεθεί με ένα διαφορετικό φρεάτιο.

Επιπλέον, γίνεται εξοικονόμηση με την συνένωση των ροών παραγόμενου υδρογονάνθρακα σε μια μεγαλύτερη ροή παραγόμενου υδρογονάνθρακα. Αρχικά, γίνεται η δοκιμή για το αν το φρεάτιο έχει να δώσει ρευστό υδρογονάνθρακα. Αυτή η δοκιμή πραγματοποιείται τοποθετώντας έναν αγωγό που συνδέεται με μια αντλία και μια πολλαπλή βαλβίδα πάνω από το φρεάτιο. Αν το φρεάτιο δίνει έχει καλώς, αλλιώς ο αγωγός τηλεκατευθύνεται στο επόμενο πηγάδι και η βαλβίδα πολλαπλών ροών ανοίγει την είσοδο της στο φρεάτιο που τώρα ερευνάται(εικόνα 5.31).

Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρις ότου βρεθεί φρεάτιο που δίνει ρευστό υδρογονάνθρακα. Επιπλέον γίνεται εξοικονόμηση με την έγχυση νερού εντός του ταμειυτήρα και την άντληση μόνο του αέριου υδρογονάνθρακα, ώστε να βοηθήσουν το σύστημα ελέγχου ροής και συντήρηση των σωληνώσεων.

Μεγάλη σημασία κατά τον σχεδιασμό της εγκατάστασης που διέπεται από αυτήν την τεχνολογία είναι η αποφυγή της πτώσης σκουπιδιών εντός του φρεατίου κατά την γεώτρηση.

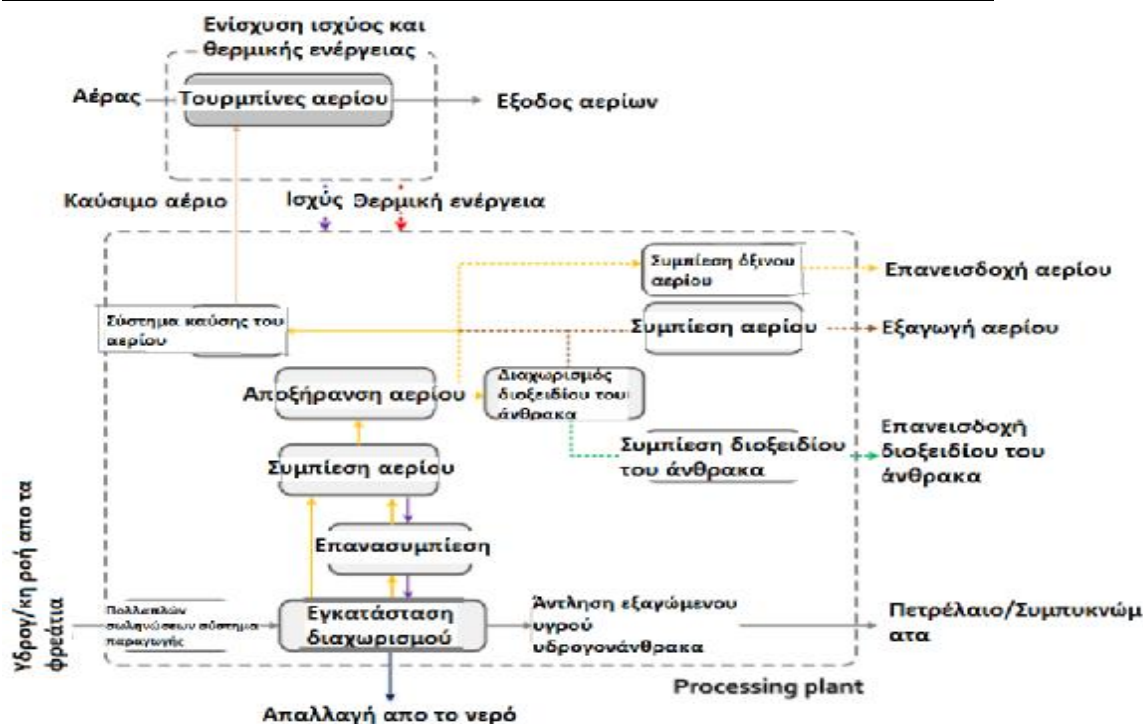
Οι αγωγοί παραγωγής και ροής του παραγόμενου υδρογονάνθρακα κατασκευάζονται από βαμμένο χάλυβα, ώστε να μην υπάρχει το φαινόμενο της διάβρωσης. Αλλιώς, φτιάχνονται από σφυρηλατημένα ασάλινα ελάσματα, τα οποία ελάσματα φτιάχνονται από συστάδες συρματόσχοινων για μεγαλύτερη ευελιξία, ενώ η διάβρωση αποφεύγεται λόγω της φύσης του ατσαλιού που είναι ανοξειδωτο έτσι και αλλιώς.(21,22,23)



Εικόνα 5.31

Για ακόμα μεγαλύτερα βάθη υπάρχουν τα FPSO πλοία, για τα οποία θα μιλήσουμε στο επόμενο κεφάλαιο ξεχωριστά, διότι θα παραλληλιστεί η κατασκευή τους και η αποδοτικότητά τους με τα LPG πλοία τα οποία θα τα αναλύσουμε και αυτά στο επόμενο κεφάλαιο.

5.5) Διαδικασία που ακολουθείται σε μια εν πλω εγκατάσταση(29)



Εικόνα 5.32

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.32 τα ρευστά ενός υποθαλάσσιου ταμιευτήρα, που εξορυγνούνται από τα φρεάτια εξόρυξης, εισρέουν σε μια ή περισσότερες μονάδες παραγωγής πολλαπλού τύπου. Εκεί όλες οι ροές του αναδυόμενου υδρογονάνθρακα συγχωνεύονται και η πίεση μειώνεται δραστικά. Οι ροές αυτές εισρέουν στο τμήμα διαχωρισμού, όπου πετρέλαιο, αέριο, νερό, διαχωρίζονται λόγω της χαμηλότερης πίεσης.

Σε περίπτωση που η θερμοκρασία του υδρογονανθρακικού μείγματος είναι χαμηλότερη των 60°C ή το ιξώδες είναι πολύ υψηλό, τότε απαιτείται η θέρμανσή του. Ο υγρός υδρογονάνθρακας μετά τον διαχωρισμό του, υπόκειται σε επεξεργασία κάθαρσης από μη υδρογονανθρακικά μείγματα και προσαρμόζεται η πίεσή του, ώστε να μπορεί να μεταφερθεί στην στεριά είτε μέσω αγωγών, είτε μέσω δεξαμενόπλοιων υγρού πετρελαίου.

Το νερό που προέκυψε από τον διαχωρισμό χύνεται πίσω στην θάλασσα. Όσον αφορά το αέριο που προέκυψε από τον διαχωρισμό, δεν είναι η μόνη ποσότητα αερίου υδρογονάνθρακα. Κατά την διάρκεια διαχωρισμού, από το υγρό πετρέλαιο και το νερό προκύπτουν επιπλέον σημαντικές ποσότητες αερίου υδρογονάνθρακα, οι οποίες εισρέουν και αυτές στον αρχικά διαχωρισμένο αέριο υδρογονάνθρακα και η όλη ποσότητα υπόκειται σε συμπίεση από συμπιεστές υδρατμών και σε αποξήρανση από απορροφητές γλυκόλης(Κεφάλαιο 3). Μέρος του αποξηραμένου και πεπιεσμένου αερίου υδρογονάνθρακα θα κατευθυνθεί στις τουρμπίνες της εν πλώ εγκατάστασης για ενίσχυση της ισχύος των, καθώς και στους καυστήρες για ενίσχυση της θερμικής ενέργειας.

Η παρακάτω διαδικασία, αφορά ταμιευτήρες που έχουν μείγματα υδρογονάνθρακα με αυξημένο ποσοστό διοξειδίου του άνθρακα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι οι υποθαλάσσιοι ταμιευτήρες στις θαλάσσιες περιοχές της Βραζιλίας.

Σε αυτούς τους ταμιευτήρες η περιεκτικότητα των ταμιευτήρων σε διοξείδιο του άνθρακα κυμαίνεται από 5% έως 60%. Αν στόχος της εξόρυξης είναι η πώληση του φυσικού αερίου πρέπει αυτό να διαχωριστεί από το όξινο αέριο. Αν το φυσικό αέριο υγροποιηθεί με όξινες ποσότητες μέσα του(Με διοξείδιο του άνθρακα, θειικές ενώσεις κ.α), τότε οι σωληνώσεις που διαρρέονται από αυτό θα διαβρωθούν, και σε ακραία περίπτωση θα προκληθεί μεγάλη βλάβη στους εναλλάκτες θερμότητας που διατρέχονται από σωλήνες.

Στο στάδιο διαχωρισμού του καλού αερίου από το όξινο, υπάρχουν ειδικά διαμορφωμένες μεμβράνες που αναλαμβάνουν το έργο του διαχωρισμού αυτού. Αφού οι μεμβράνες εκτελέσουν τον διαχωρισμό και αποβάλλουν από το φυσικό αέριο το διοξείδιο του άνθρακα, το αέριο συμπιέζεται στα 22 Μρascal(217 ατμόσφαιρες), ενώ το διοξείδιο συμπιέζεται στα 55 Μρascal(543 ατμόσφαιρες). Αν όμως το αέριο χρησιμοποιηθεί για ενίσχυση της παραγωγής του υποθαλάσσιου ταμιευτήρα, τότε και το αέριο συμπιέζεται στις 543 ατμόσφαιρες.

Το κριτήριο που ακολουθείται για το αν θα χρησιμοποιηθεί το αέριο για πώληση ή για ενίσχυση της άντλησης υγρού υδρογονάνθρακα είναι το χρονικό στάδιο στο οποίο βρίσκεται η εκμετάλλευση του ταμιευτήρα. Όταν η εκμετάλλευση του ταμιευτήρα είναι στα αρχικά στάδια, τότε όλος ο αέριος υδρογονάνθρακας που αντλείται πάει για πώληση, αφού ο λόγος ρευστού υδρογονάνθρακα/νερού είναι υψηλός.

Όταν το νερό αγγίζει το 50% του συνολικού εξορυγνόμενου προϊόντος, τότε γίνεται μερική κάθαρση του αερίου ώστε να πωληθεί, και το υπόλοιπο χωρίς να υποστεί διαδικασία κάθαρσης στέλνεται στις τουρμπίνες αερίου για ενίσχυση της παραγωγής. Στο τελευταίο στάδιο εκμετάλλευσης το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα είναι στο 80%-90% του περιεχομένου του ταμιευτήρα. Οι τουρμπίνες αερίου τροφοδοτούνται από μια καθαρή πηγή αερίου υδρογονάνθρακα.(29)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΛΟΙΑ LNG ΚΑΙ FPSO ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

ΠΛΟΙΑ LNG ΚΑΙ FPSO ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

6.1) Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ LNG ΠΛΟΙΩΝ(1,2,3)

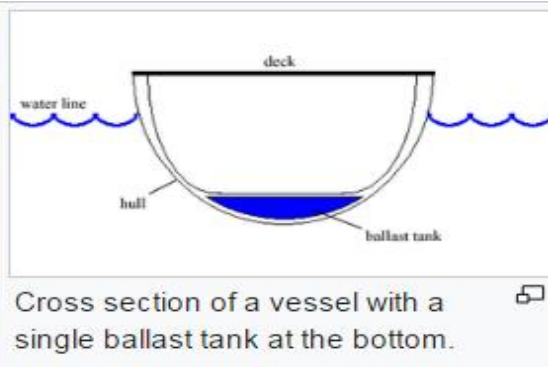


Εικόνα 6.1

Ένας φορέας LNG(LNG Carrier) είναι ένα δεξαμενόπλοιο που φτιάχνεται με στόχο την μεταφορά του LNG, από μια απομακρυσμένη θαλάσσια περιοχή στην στεριά σε ειδικούς σταθμούς υποδοχής. Ένα δεξαμενόπλοιο LNG έχει 4-6 δεξαμενές πακτωμένες στην ραχοκοκαλιά του, ενώ περικυκλώνονται από έναν συνδυασμό αντίβαρων ορθογωνικού σχήματος και δεξαμενές αέρος διπλασιάζοντας έτσι τον όγκο του βασικού κύτους.



Inside of a cofferdam on a vessel

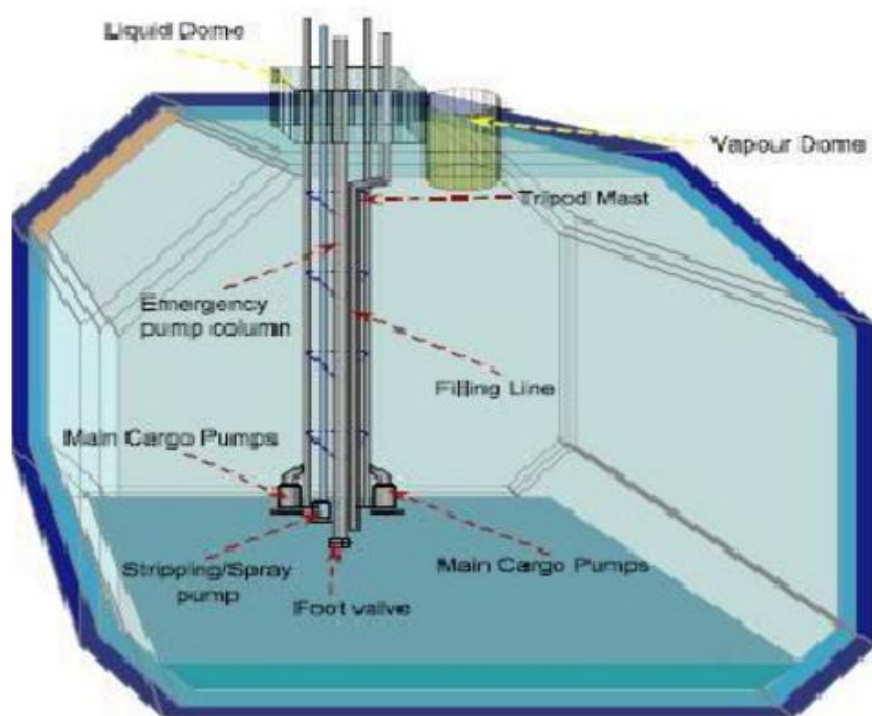


Cross section of a vessel with a single ballast tank at the bottom.

Εικόνα 6.2

Σε κάθε δεξαμενή υπάρχουν τρεις βυθισμένες αντλίες. Οι δύο λέγονται αντλίες βασικού φορτίου(cargo pumps) και η τρίτη λέγεται αντλία ψεκασμού(spray pump). Οι δύο πρώτες χρησιμοποιούνται για το άδειασμα των δεξαμενών από το φορτίο που είναι το LNG, ενώ η τρίτη χρησιμοποιείται για να ψεκάζει LNG εκτός δεξαμενής προς το σύστημα καύσης του πλοίου ή να χαμηλώνει την επικρατούσα θερμοκρασία της δεξαμενής με την μέθοδο της αποσυμπίεσης. Η αντλία ψεκασμού είναι μικρότερη από τις άλλες δύο και χρησιμεύει επίσης για το άδειασμα των τελευταίων αποθεμάτων LNG από την δεξαμενή.

Το σύστημα των τριών αντλιών λέγεται πύργος αντλιών(pump tower), ο οποίος τοποθετείται στην κορυφή της δεξαμενής και διατρέχει όλο το βάθος της. Ο πύργος αντλιών έχει ενσωματωμένο και το σύστημα μέτρησης ύψους του ρευστου εντός της δεξαμενής καθώς και την οριογραμμή πλήρωσης της δεξαμενής.



Εικόνα 6.3

Οι δεξαμενές με μεμβράνη όπως της εικόνας 6.3, έχουν ενσωματωμένο ένα άδειο αγωγό με μια βαλβίδα που όταν της ασκηθεί μια ελάχιστη πίεση ανοίγει. Αν για παράδειγμα οι δύο βασικές αντλίες αδυνατούν λόγω βλάβης να αδειάσουν το περιεχόμενο, τότε η αντλία έκτακτης ανάγκης ασκώντας πίεση στην βαλβίδα την ανοίγει και ο αγωγός διατρέχεται από το περιεχόμενο της δεξαμενής που πρέπει να αδειαστεί πάση θυσία. Η αντλία έκτακτης ανάγκης, η βαλβίδα έκτακτης ανάγκης και ο άδειος αγωγός συγκαταλέγονται στον πύργο έκτακτης ανάγκης(emergency tower). Οι βασικές αντλίες συνδέονται με κοινούς αγωγούς που διατρέχουν το κατάστρωμα του πλοίου και χρησιμοποιούνται για φόρτωση και εκφόρτωση.(1,2,3)

6.1.α) Αδρανή (Inert gases)(4,5,7)

Τα δεξαμενόπλοια μεταφέρουν υδρογονάνθρακα, διαφορετικών κλασματώσεων και ποιότητας. Καθώς μεταφέρονται έχουν την ιδιότητα να παράγουν εύφλεκτα μείγματα. Ακόμα και πριν την διαδικασία φόρτωσης του υδρογονάνθρακα στις ειδικά διαμορφωμένες δεξαμενές, μπορεί να υπάρχουν εύφλεκτα αέρια στις σωληνώσεις του δεξαμενόπλοιοι και στις δεξαμενές σε μικρές μεν ποσότητες, που όμως είναι αρκετές αλυσιδωτά να προκαλέσουν ακαριαίο θάνατο και καταστροφή της εγκατάστασης μέσω της έκρηξής τους.

Όταν παράγεται ένα αέριο υδρογονανθρακικό μείγμα από μια ποσότητα ρευστού υδρογονάνθρακα, αυτό συνοδεύεται από την παρουσία αερίων με κύριο συστατικό το οξυγόνο, το οποίο είναι ως γνωστόν εύφλεκτο. Για αυτό χρησιμοποιούνται μείγματα αδρανών αερίων στις σωληνώσεις και δεξαμενές του πλοίου ώστε να εξουδετερωθεί η παρουσία του οξυγόνου.

Αδρανές αέριο είναι αυτό που δεν υπόκειται σε χημικές αντιδράσεις υπο συγκεκριμένες συνθήκες και έχει συγκέντρωση οξυγόνου μικρότερη του 8%. Τα ευγενή αέρια είναι αυτά που λειτουργούν σαν αδρανή αέρια, αφού δεν αντιδρούν χημικά με πάρα πολλές ουσίες. Οι χημικές αντιδράσεις που θέλουμε να αποφευχθούν είναι η έκρηξη, η οξείδωση και η υδρόλυση.

Ένα αδρανές αέριο που χρησιμοποιείται ευρέως είναι το άζωτο διότι βρίσκεται σε αφθονία, είναι φθηνό και απομονώνεται εύκολα. Αρκετές φορές το αδρανές αέριο μπορεί να είναι συνδυασμός στοιχείων.(4,5,7)

6.1.β) Εγκατάσταση του αδρανούς αερίου(Inert gas plant)(4,7)

Το αδρανές αέριο παράγεται πάνω στο δεξαμενόπλοιο είτε με την καύση των καυσαερίων του λέβητα του πλοίου, είτε καίγοντας κηροζίνη. Όπως προαναφέρθηκε, το αδρανές αέριο χρησιμοποιείται για την αποτροπή έκρηξης που θα μπορούσε να προέλθει από όπου διατρέχεται το πλοίο από εύφλεκες ενώσεις οξυγόνου, δηλαδή στις δεξαμενές και στις σωληνώσεις παροχής.

Το αδρανές αέριο επιτυγχάνει την αποτροπή της έκρηξης με τον περιορισμό του οξυγόνου κάτω από το 5%. Κίνδυνος έκρηξης μπορεί να υπάρξει κατά το άδειασμα ή γέμισμα των δεξαμενών με LNG, αλλά για αυτό θα αναφερθούμε παρακάτω. Το αδρανές αέριο βοηθάει στην αποτροπή της πτητικότητας(ευκολία εξάτμισης μιας ουσίας) στις δεξαμενές.

Το σύστημα καυσαερίων του πλοίου που χρησιμοποιεί τα καυσαέρια για να δημιουργήσει αδρανές αέριο, πρέπει να έχει έναν συγκεκριμένο λόγο αέρα/καυσίμου. Εάν το προς καύση μείγμα είναι πολύ πλούσιο σε αέρα τότε το προϊόν θα είναι αδρανές αέριο με οξυγόνο πάνω από 5%, κάτι που είναι ανεπίτρεπτο. Εάν το προς καύση μείγμα είναι πολύ πλούσιο σε υδρογονάνθρακα το προϊόν καύσης θα είναι αδρανές αέριο που θα έχει μεγάλες συγκεντρώσεις σε μείγμα καυσίμου που δεν κάηκε ποτέ, κάτι που είναι επίσης ανεπιθύμητο.

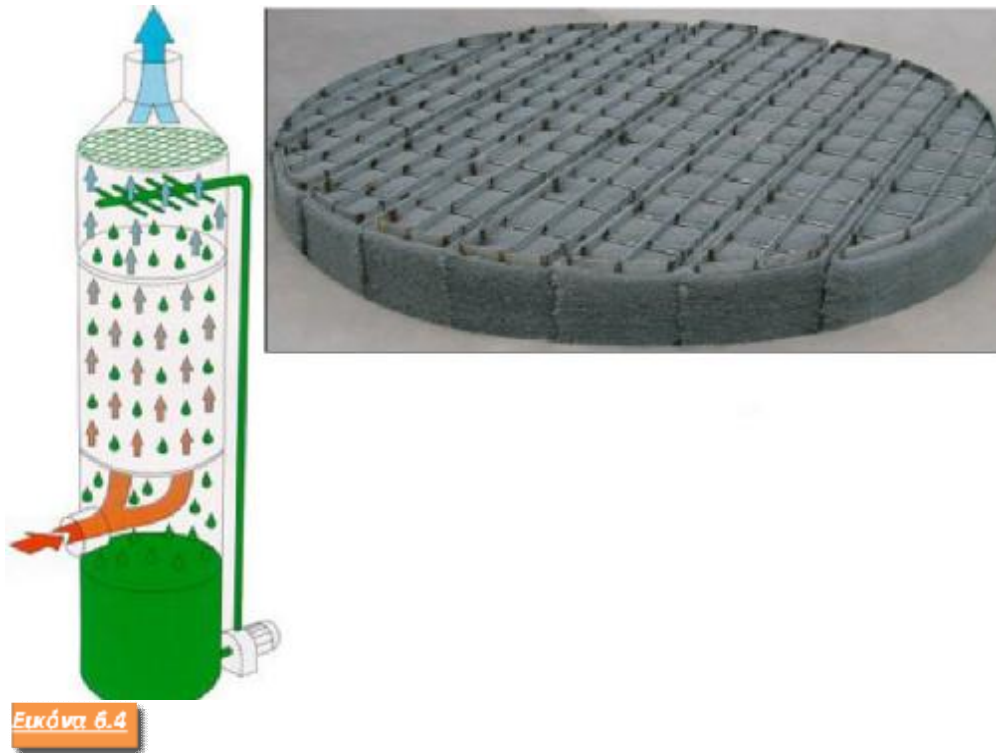
Για αυτούς τους λόγους, τα καυσαέρια του λέβητα, πριν υποστούν καύση καθαρίζονται και παγώνουν σε έναν ειδικά διαμορφωμένο πύργο καθαρισμού που στα αγγλικά λέγεται Scrubber Tower. Τα LNG πλοία έχουν μια γεννήτρια που βοηθά στην παραγωγή του αδρανούς αερίου, η οποία αποτελείται από έναν θάλαμο καύσης, από μια δεύτερη μονάδα καθαρισμού, από μια σειρά ισχυρών ανεμιστήρων και από μονάδα κατάψυξης του αερίου καύσης.

Τέλος, υπάρχουν διάφορες συσκευές ασφαλείας που αποτρέπουν την υπερσυμπύεση κατά την διάρκεια καύσης των καυσαερίων και παραγωγής του αδρανούς αερίου, ή την οπισθοδρόμηση του καυσαερίου στις υπόλοιπες μηχανολογικές εγκαταστάσεις, ή την συγκέντρωση οξυγόνου πάνω από 5%(4,7).

Μέρη της εγκατάστασης του αδρανούς αερίου(4)

- Το αδρανές αέριο παράγεται από το σύστημα εξάτμισης του λέβητα ή των μηχανών του δεξαμενόπλοιο που λειτουργεί με πετρέλαιο και μαζούτ.
- Το σύστημα εξάτμισης του λέβητα απομονώνεται από το υπόλοιπο σύστημα με μια βαλβίδα απομόνωσης, για να μην επικοινωνούν μεταξύ τους όταν δεν χρησιμοποιείται το αδρανές αέριο.

- Υπάρχει ο πύργος καθαρισμού που όταν ανοίξει η βαλβίδα αποκλεισμού τα καυσαέρια εισέρχονται από το κάτω μέρος του πύργου και αναδεδόμενα διέρχονται από ψεκαστές ύδατος(water spray) και πλάκες με μικρής διαμέτρου οπές(πλάκες διαφράγματος-> baffle towers), με στόχο την ψύχρανση, καθαρισμό και αύξηση του ποσοστού υγρασίας των καυσαερίων. Σε αυτήν την διαδικασία το διοξείδιο του θείου (SO_2) μειώνεται κατά 90% και το αέριο απαλλάσσεται από την αιθάλη.
- Έπειτα το καυσαέριο διέρχεται από τους αποστραγγιχτές(Demister), ο οποίος φτιάχνεται συνήθως από πολυπροπυλένιο. Στόχος του είναι η αφαίρεση της υγρασίας και εν γένει του νερού από το αέριο υδρογονανθρακικό μείγμα.



- Ανεμιστήρες αερίων(Gas blowers/Fan blowers): Χρησιμοποιούνται δύο ανεμιστήρες. Ο πρώτος είναι συνδεδεμένος με μια τουρμπίνα που διαρέεται από ατμό και χρησιμοποιείται στο σύστημα αδρανούς αερίου. Ο δεύτερος ανεμιστήρας είναι ηλεκτροκίνητος και στόχος του είναι η υπερπλήρωση της ροής.
- Βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης του συστήματος αδρανούς αερίου(IG pressure regulating valve): Εντός των δεξαμενών οι ιδιότητες του υδρογονανθρακικού μείγματος, διαφέρουν ανάλογα με το μείγμα και τις επικρατούσες συνθήκες. Για τον έλεγχο των διαφοροποιήσεων αυτών και αποφυγή της υπερθέρμανσης των ανεμιστήρων ώσης, υπάρχει μια βαλβίδα που τοποθετείται στην έξοδο του ανεμιστήρα, ώστε να ανακυκλώνεται το μείγμα και ένα μέρος του να επανέρχεται στον πύργο καθαρισμού.
- Πύργος αποτροπής (Deck Seal): Στόχος του είναι να μην επιτρέπει στο αέριο την επιστροφή στους ανεμιστήρες ώσης, αλλά να το οδηγεί στις δεξαμενές. Σε συνεργασία με τον πύργο αποτροπής υπάρχει και ένας δεύτερος πύργος αποστράγγισης, ώστε να απορροφούνται επιπλέον σταγονίδια νερού.
- Μηχανική βαλβίδα αντεπιστροφής(Mechanical non-return valve): Η βαλβίδα αυτή λειτουργεί σε συνεργασία με τον πύργο αποτροπής, και δεν επιτρέπει το πιασμά του αερίου στους ανεμιστήρες ώσης.
- Βαλβίδα απομόνωσης(Deck isolating valve): Η βαλβίδα αυτή αποκόπτει την σύνδεση μεταξύ του πύργου αποτροπής και των σωληνώσεων μετά από τον πύργο αποτροπής που

πλέον το αέριο πάει για καύση, ώστε να προκύψει το αδρανές αέριο που θα προωθηθεί στις δεξαμενές.

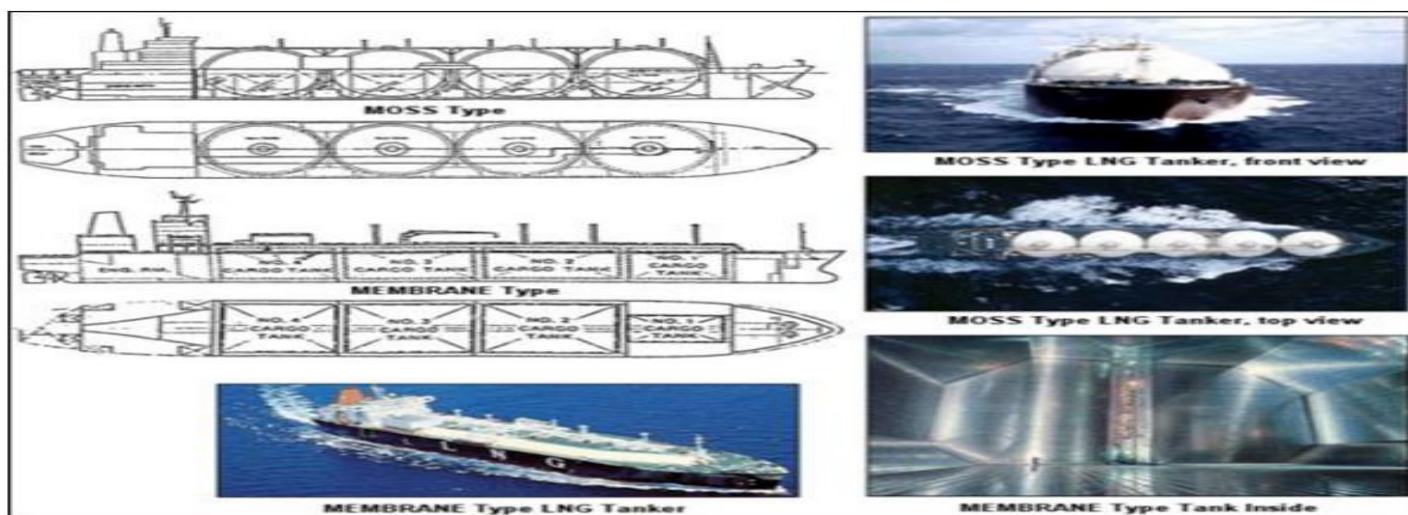
- Πύργος ελέγχου πίεσης (Pressure Vacuum breaker->PV): Ο πύργος αυτός βοηθά στο να ελέγχεται η πίεση της δεξαμενής, και να μην δημιουργούνται συνθήκες υποπίεσης ή υπερπίεσης σε αυτήν. Στον πύργο αυτόν υπάρχει μια έξοδος με μια φλογοπαγίδα, ώστε να μην υπάρξει έκρηξη εντός της δεξαμενής κατά την διάρκεια μεταφοράς του φορτίου στο λιμάνι.

6.1.γ) Ο κύκλος φόρτωσης και η συμμετοχή της εγκατάστασης του αδρανούς αερίου(1,4,5,6,7)

Η διαδικασία παραγωγής του LNG περιλαμβάνει την μεταφορά του φυσικού αερίου από τις εγκαταστάσεις που έχουν εξορύξει το ρευστό στις εγκαταστάσεις υγροποίησης του μέσω σωληνώσεων. Πριν την υγροποίησή του, το αέριο υπόκειται σε επεξεργασία για να αφαιρεθεί το CO₂, το νερό και το θείο για να μην παγώσουν μαζί με το μείγμα στους -162⁰C, κάτι το οποίο θα προκαλούσε ζημιά στον εξοπλισμό.

Μια εγκατάσταση υγροποίησης είναι ουσιαστικά ένας μεγάλος καταψύκτης με συμπιεστές(Compressors),συμπυκνωτές(Condensers),βαλβίδες εκτόνωσης πίεσης(Pressure expansion valves),εξατμιστές(Evaporators). Αφού προκύψει το LNG, κατευθύνεται μέσω αγωγών στις δεξαμενές αποθήκευσης του που είναι ειδικά διαμορφωμένες για αυτόν τον σκοπό. Έχουν ειδική μόνωση για διατήρηση της χαμηλής θερμοκρασίας.

Το επόμενο στάδιο είναι να μεταφερθεί το κρυογενικό υγρό σε κατάλληλα εξοπλισμένα δεξαμενόπλοια LNG. Αφού το δεξαμενόπλοιο παραλάβει το κρυογενικό υγρό και το μεταφέρει στην τοποθεσία που πρέπει, μια εγκατάσταση υποδοχής το παραλαμβάνει και το επαναεριοποιεί. Τέλος μια άλλη εγκατάσταση διανομής το παρέχει σε αγωγούς φυσικού αερίου. Στην εικόνα 5.6 βλέπουμε την συνολική εικόνα από διαφορετικές οπτικές ενός δεξαμενόπλοιου LNG.



Εικόνα 6.5

Ένας τυπικός κύκλος φόρτωσης ξεκινά με τις δεξαμενές να είναι γεμάτες αέρα χωρίς την ύπαρξη ρευστού υδρογονάνθρακα. Αυτό το στάδιο υπάρχει για έλεγχο και συντήρηση της εγκατάστασης. Το φορτίο δεν μπορεί, άμα δεν γίνει μια πρόψυξη των δεξαμενών και των σωληνώσεων να διοχετευθεί στις δεξαμενές του πλοίου, καθώς η παρουσία του οξυγόνου θα προκαλούσε έκρηξη, σε συνδυασμό με την πολύ χαμηλή θερμοκρασία του LNG που θα έβλαπτε τις δεξαμενές και τις σωληνώσεις

Αρχικά, πρέπει να γίνει αδρανοποίηση του εσωτερικού της δεξαμενής. Εδώ συμμετέχει η εγκατάσταση του αδρανούς αερίου που βρίσκεται πάνω στο δεξαμενόπλοιο. Γίνεται καύση ενός μείγματος πετρελαίου και αέρα, τα προϊόντα καύσης είναι $O_2 < 5\%$ (Οξυγόνο), $CO_2 \sim 13\%$ (Διοξείδιο του άνθρακα), $N_2 \sim 82\%$ (Αζωτο), και αυτά τα προϊόντα κάυσης προωθούνται στις άδειες δεξαμενές. Το δεξαμενόπλοιο έπειτα πάει στο ειδικά διαμορφωμένο λιμάνι για να γεμίσει τις δεξαμενές του με LNG.

Το φορτίο δεν μπορεί να τοποθετηθεί ακόμα στις δεξαμενές, διότι το διοξείδιο του άνθρακα όταν παγώσει από την θερμοκρασία του LNG ($-162^\circ C$) θα βλαπεί τον πύργο αντλιών των δεξαμενών, τις δεξαμενές και όλες τις σωληνώσεις που διατρέχονται από το αδρανές αέριο. Έτσι, το LNG ανεβαίνει με σωληνώσεις του πλοίου που έχουν ειδικές απολήξεις σε μορφή ψεκαστήρων (Main vaporizer), όπου μέσω του φαινομένου Joule-Thomson αεριοποιείται. Έπειτα βράζει στους $20^\circ C$ από τα ειδικά θερμαντικά μέσα του δεξαμενόπλοιου (Gas heaters) και στη συνέχεια μπαίνει στις δεξαμενές του πλοίου για να αντικαταστήσει το αδρανές αέριο, μέχρι η συγκέντρωση μεθανίου να είναι στο 5%.

Πρώτα, θα αποβληθεί από τις δεξαμενές του πλοίου το διοξείδιο του άνθρακα που είναι βαρύτερο. Η διαδικασία θα συνεχιστεί μέχρι να φύγει εντελώς το διοξείδιο του άνθρακα. Μόλις το διοξείδιο του άνθρακα φύγει από τις σωληνώσεις και τις δεξαμενές και το Μεθάνιο (CH_4) έχει συγκέντρωση λιγότερο από 5% εντός της δεξαμενής στους $20^\circ C$ (γιατί στους $20^\circ C$ είναι το LEL (lower explosion limit) του μεθανίου -> δηλαδή η ελάχιστη συγκέντρωση μιας ουσίας ώστε να μην προκληθεί έκρηξη) η δεξαμενή σφραγίζεται, και το αδρανές αέριο που έχει αποβληθεί από τις δεξαμενές οδηγείται στην ακτή και καίγεται.

Έπειτα πρέπει να παγώσει η δεξαμενή. Από την παροχή του LNG ειδικοί ψεκαστές ψεκάζουν το LNG στις δεξαμενές και τις παγώνουν μέχρι τους $-140^\circ C$. Τώρα οι δεξαμενές είναι έτοιμες να υποδεχτούν το υπόλοιπο LNG. Η παροχή του LNG τώρα γίνεται από σωληνώσεις που συνδέουν τις δεξαμενές αποθήκευσης στην ακτή με τις δεξαμενές του πλοίου. Οι δεξαμενές γεμίζουν μέχρι το 98.5% του περιεχομένου να είναι μεθάνιο. Όσο γεμίζουν οι δεξαμενές με LNG και αντικαθιστούν το αδρανές αέριο, το τελευταίο συνεχίζεται να στέλνεται στην ακτή από τις δεξαμενές του πλοίου μέσω ειδικών υπερσυμπιεστών για καύση.

Έπειτα, το δεξαμενόπλοιο κατευθύνεται σε λιμάνι εκκένωσης. Εκεί θερμαίνεται σε λέβητα οποιοδήποτε αέριο μείγμα (πλην των περιεχομένων των δεξαμενών) έχει απομείνει, ώστε να χρησιμοποιηθεί σαν προϊόν ώσης του πλοίου. Μερικές φορές σε αυτά τα εναπομείναντα αέρια γίνεται πάλι η διαδικασία ψύξης, διότι έχουν σημαντικά ποσοστά μεθανίου εντός τους και διοχετεύονται στις ήδη γεμάτες δεξαμενές του πλοίου.

Στα λιμάνια εκκένωσης γίνεται και το άδειασμα των δεξαμενών όταν το δεξαμενόπλοιο έχει φτάσει στο σημείο παράδοσης του φορτίου του. Εδώ μπαίνει στο παιχνίδι και ο πύργος αντλιών που αναφέραμε στην αρχή του κεφαλαίου. Καθώς οι δεξαμενές αδειάζουν με τις αντλίες αδειάσματος, σωληνώσεις που η μια τους άκρη είναι στις δεξαμενές και η άλλη στην ακτή διοχετεύουν αδρανές αέριο στη δεξαμενή, για να γεμίσουν το κενό που αφήνει το LNG καθώς φεύγει από αυτές. Η εκκένωση συνεχίζεται μέχρι να αδειάσουν πλήρως οι δεξαμενές.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, αφήνουν μια τελευταία στρώση από το LNG εντός των δεξαμενών. Αυτό γίνεται ώστε οι δεξαμενές του δεξαμενόπλοιου να έχουν προθερμανθεί κατάλληλα αν αποφασισθεί να ξαναγεμισθούν στο άμεσο μέλλον. Διότι η εξ'ολκλήρου προθέρμανση μιας άδειας δεξαμενής παίρνει από 10- 20 ώρες ανάλογα με τον τύπο της δεξαμενής. Με την μικρή ποσότητα

του 5%-10% που δεν άδειασε ποτέ, η διαδικασία προθέρμανσης γίνεται χρονικά μικρότερη, εξοικονομώντας έτσι πολύτιμο χρόνο.(1,4,5,7)

6.2) Τάνκερ εξόρυξης/ επεξεργασίας/ αποθήκευσης και διανομής ρευστού υδρογονάνθρακα(Floating production storage and offloading ship-> FPSO Ship)(8)



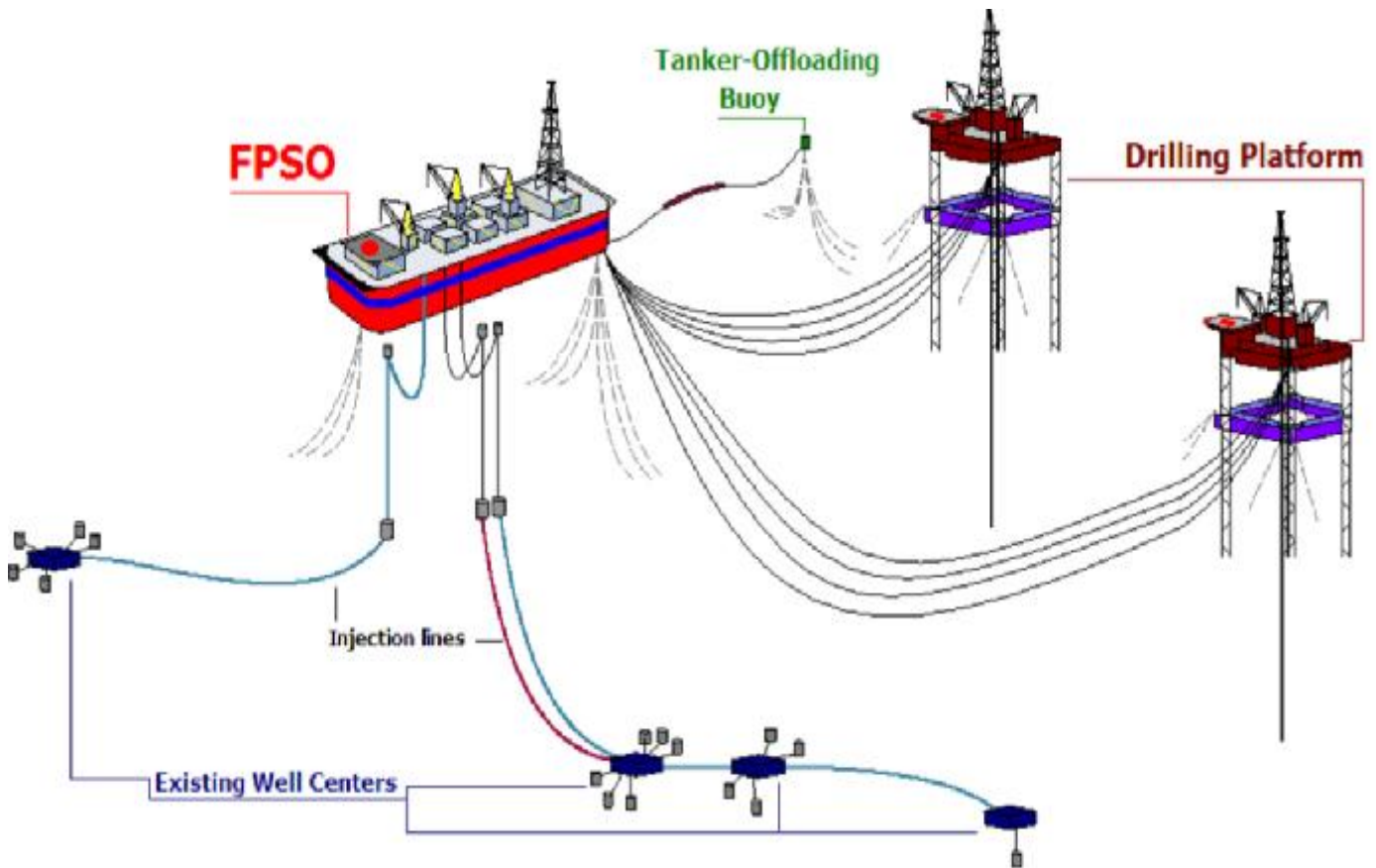
Εικόνα 6.6

Μια μονάδα FPSO, είναι μια πλεύουσα εγκατάσταση, που χρησιμοποιείται για την παραγωγή και επεξεργασία των υδρογονανθράκων αλλά και για την αποθήκευση του πετρελαίου. Μια μονάδα FPSO είναι κατά τέτοιο τρόπο σχεδιασμένη, ώστε να υποδέχεται τους υδρογονάνθρακες που εξορυγνύει. Επίσης, μπορεί να υποδεχτεί παραγόμενο προϊόν από μια κοντινή πλατφόρμα παραγωγής, ή και από υποθαλάσσιες εγκαταστάσεις παραγωγής υδρογονάνθρακα.

Αφού υποδεχτεί τον υδρογονάνθρακα, μπορεί να τον επεξεργαστεί και να τον αποθηκεύσει μέχρι να τον μεταφέρει σε κάποιο τάνκερ, ή σπανιότερα να τον μεταφέρει σε κάποιον αγωγό ρευστού υδρογονάνθρακα. Προτιμάται στις υπεράκτιες θαλάσσιες περιοχές, καθώς είναι σχετικά εύκολη η εγκατάστασή της και δεν απαιτείται η κατασκευή αγωγού για την εξόρυξη από τον ταμιευτήρα.

Η FPSO εγκατάσταση δημιουργείται από την μετατροπή ενός πρώην τάνκερ, είτε κατασκευάζεται εξ αρχής για την χρήση της FPSO εγκατάστασης. Μια παραλλαγή της είναι η FSO, που δεν περιλαμβάνει την διαδικασία παραγωγής του ρευστού υδρογονάνθρακα.

Ειδικά στον τομέα της παραγωγής φυσικού αερίου, μια τέτοια εγκατάσταση είναι πολύ συμφέρουσα, διότι η διασπορά του φυσικού αερίου στους θύλακες των υποστρωμάτων της γής είναι μεγάλη, οπότε μια σταθερής βάσης εγκατάστασης δεν είναι από οικονομικής άποψης συμφέρουσα. Παράλληλα, η FPSO εγκατάσταση αφήνει κατά 25% λιγότερα κατάλοιπα μετά το πέρας της εκμετάλλευσης ενός ταμιευτήρα, και επηρεάζει λιγότερο την χλωρίδα και πανίδα του τόπου. Πολλές φορές η FPSO εγκατάσταση δεν απασχολεί τις δεξαμενές της με την αποθήκευση του ρευστού υδρογονάνθρακα, αλλά αυτή την δουλειά την κάνει ένα άλλο γειτονικό δεξαμενόπλοιο, ώστε η εγκατάσταση να μην εξυπηρετεί και την διαδικασία της διανομής, την οποία αναλαμβάνει αυτό το γειτονικό δεξαμενόπλοιο. Στην εικόνα 6.7 βλέπουμε πως το FPSO μπορεί να συνεργαστεί με ποικίλες κατασκευές εξόρυξης υποθαλάσσιου υδρογονάνθρακα.



Εικόνα 6.7

Μια παραλλαγή της FPSO εγκατάστασης είναι το FLNG vessel και ασχολείται αποκλειστικά με το να υγροποιεί, να αποθηκεύει κι να μεταφέρει το φυσικό αέριο.(8)

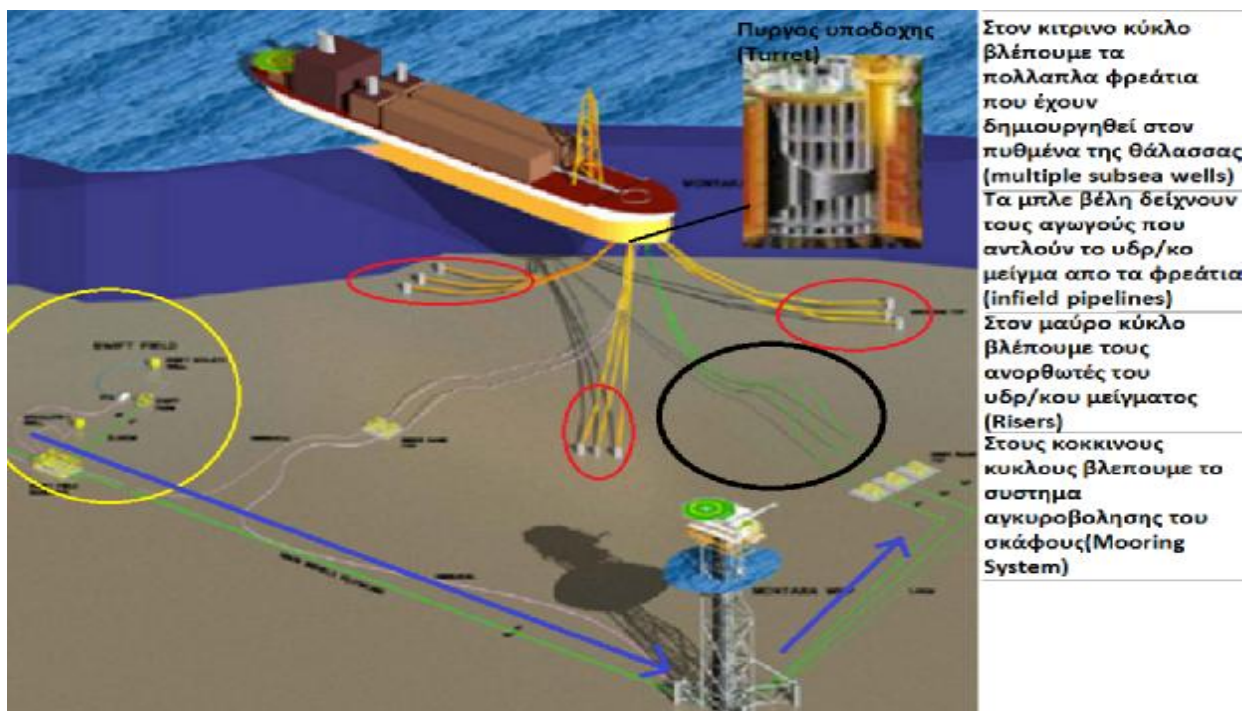
6.2.α) Ο τρόπος λειτουργίας του FPSO πλοίου.(25,26)

Όπως προαναφέρθηκε ένα FPSO πλοίο είναι μια θαλάσσια εγκατάσταση που διαθέτει εξοπλισμό εξόρυξης υδρογονάνθρακα, επεξεργασίας και αποθήκευσής του. Ο βασικός σχεδιασμός του περιλαμβάνει ένα σκάφος με εξοπλισμό εξόρυξης, μια υπερυψωμένη πλατφόρμα στο κατάστρωμα του σκάφους, και χώρο αποθήκευσης του υδρογονάνθρακα που είναι ενσωματωμένος στο κουφάρι του πλοίου και είναι συνήθως χωρισμένος σε δύο μέρη.

Άρα στον πιο απλό σχεδιασμό του, εξορυγνύει, αποθηκεύει, και τέλος δίνει το υδρογονανθρακικό ρευστό είτε σε αγωγούς είτε σε κατάλληλα δεξαμενόπλοια. Έχει την δυνατότητα να αγκυροβολεί σε διάφορες θαλάσσιες περιοχές όπου έχει εντοπιστεί υδρογονάνθρακας, ανεξαρτήτως βάθους, αφού είναι φτιαγμένο για την πλειονότητα των μέσων και μεγάλων βαθών.

Υπάρχει ένα κεντρικό σύστημα αγκυροβόλησης πάνω στο σκάφος, που του επιτρέπει να αγκυροβολεί και παράλληλα να περιστρέφεται παράλληλα γύρω από τον άξονα αγκυροβόλησης του, ώστε να προσαρμόζεται σε πολύ ακραίες καιρικές συνθήκες. Επίσης, έχει συστήματα αγκυροβόλησης εγκατεστημένα σε πολλά διαφορετικά σημεία πάνω στο σκάφος, ώστε να δένεται σε περισσότερα από ένα σημεία στον πυθμένα της θάλασσας, ανάλογα με την γεωλογία του θαλάσσιου βυθού.

Συνηθίζεται το πλοίο να συνδέεται με φρεάτιο πολλαπλού τύπου(Multiple subsea wells->Κεφάλαιο 5^ο) στον πυθμένα της θάλασσας. Το φρεάτιο πολλαπλού τύπου συνδέεται με αγωγούς βυθισμένους στο έδαφος(infield pipelines) οι οποίοι αφού παραλάβουν από το/τα φρεάτιο/α το ρευστό το οδηγούν στους ανορθωτές παραγόμενου ρευστού(Risers), οι οποίοι το μεταφέρουν στον ειδικά διαμορφωμένο χώρο υποδοχής υδρογονάνθρακα(Turret), και από εκεί πάει στην εγκατάσταση επεξεργασίας του FPSO πλοίου.



Εικόνα 6.8

Η εγκατάσταση της επεξεργασίας του ρευστού υδρογονάνθρακα πάνω στο πλοίο δεν διαφέρει από τις εγκαταστάσεις που αναφέρθηκαν στο 5^ο κεφάλαιο. Εγκαθίσταται στο σκάφος σαν ένα ξεχωριστό module. Έχει υδατοδιαχωριστή (water separator), εγκατάσταση επεξεργασίας αερίου υδρογονάνθρακα (gas treatment), εγκατάσταση υγρού υδρογονάνθρακα (oil processing), εγκατάσταση έγχυσης νερού (water injector) και συμπιεστές αερίου (gas compression).

Μετά την κλασμάτωση και τον διαχωρισμό του αντλούμενου ρευστού υδρογονάνθρακα, τα κλάσματα οδηγούνται στο κύτος του σκάφους σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους για αποθήκευση χωριστά το ένα από το άλλο. Το πρωτογενές πετρέλαιο μεταβιβάζεται με ειδικούς ευέλικτους αγωγούς είτε σε αγωγούς πετρελαίου, είτε σε δεξαμενόπλοια που θα πάνε στη στεριά. Συγκεκριμένα, το δεξαμενόπλοιο πηγαίνει με την πλώρη του και αγκυροβολεί στην πρύμνη του FPSO και παραλαμβάνει το πρωτογενές πετρέλαιο.

Τα αέρια υδρογονανθρακικά μείγματα μεταφέρονται είτε μέσω αγωγών φυσικού αερίου στην στεριά, είτε σε LNG δεξαμενόπλοια που θα πάνε στην στεριά. Η μεταφορά σε LNG δεξαμενόπλοια προϋποθέτει όμως πρώτα την ψύξη του φυσικού αερίου στις εγκαταστάσεις του FPSO πλοίου. Μερικές φορές γίνεται και επανεισδοχή του αερίου στον ταμειυτήρα για ενίσχυση της παραγωγής του υδρογονάνθρακα.

Το προτέρημα του FPSO πλοίου σε σχέση με τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης υποθαλάσσιων ταμειυτήρων είναι, ότι μπορεί να εκμεταλλευτεί υποθαλάσσιους ταμειυτήρες απομακρυσμένους από την ακτή και σε μεγάλα βάθη με λιγότερο συνολικό κόστος. Έχει φοβερή προσαρμογή σε υπεραντίξοες καιρικές συνθήκες, και μπορεί οποιαδήποτε στιγμή να κάνει απεμπλοκή από ένα σημείο στον θαλάσσιο χάρτη, όπου οι καιρικές συνθήκες τυχαίνει να είναι ακραίως επικίνδυνες.

Επίσης, λόγω του ότι έχει χώρους αποθήκευσης, δεν είναι απαραίτητη η παρουσία αγωγού ή άλλης πλεούμενης εγκατάστασης αποθήκευσης, κάτι που μειώνει το κόστος παραγωγής /διανομής δραστικά. Τέλος, πολλά FPSO πλοία είναι από την μετατροπή προηγούμενων δεξαμενόπλοιων, κάτι που μειώνει πολύ το κόστος κατασκευής ενός FPSO πλοίου.

Τα FPSO πλοία έχουν ιστορικά τις λιγότερες καταγεγραμμένες υδρογονανθρακικές διαρροές στο θαλάσσιο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, 500 βαρέλια (79.494 λίτρα) υδρογονανθρακικού ρευστού. Εξαίρεση αποτελεί η εξεπιούτου ρήψη 3900 βαρελιών (620.050 λίτρα) του FPSO της TEXACO, που οι αρχές έκριναν ένοχο τον καπετάνιο.

Παραλλαγές του FPSO είναι τα: FSO(floating storage/offloading),FPS(floating production system),FSU(floating storage unit), και το FDPSO(floating drilling/ production/ storage/ offloading) που φτιάχτηκε το 2009 για τις θάλασσες του Κονγκο(25,26)



Εικόνα 6.9

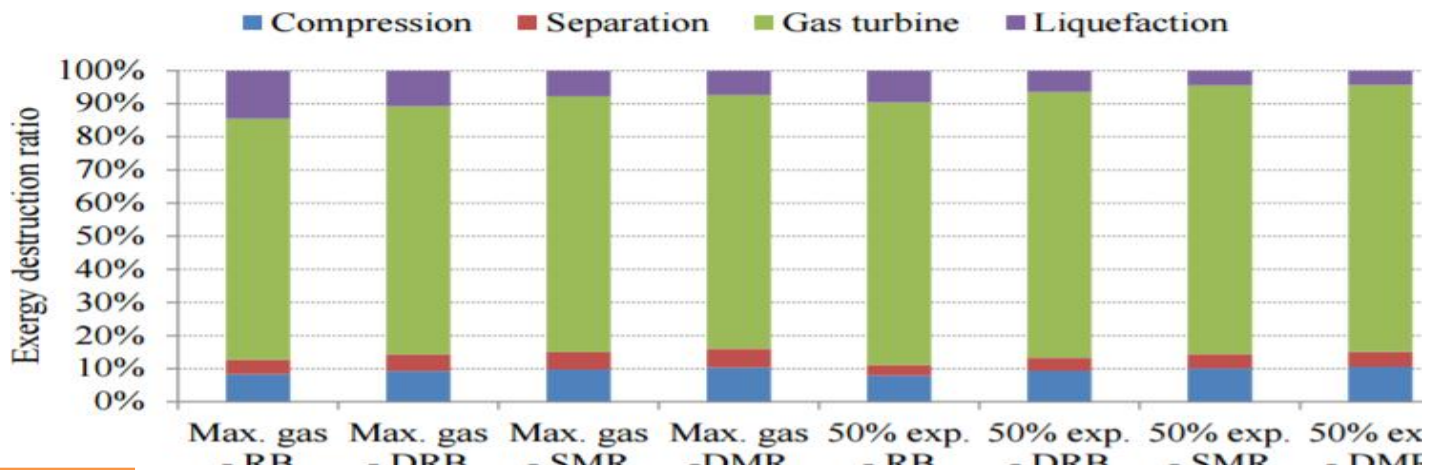
6.2.β) Επιλογή της καταλληλότερης εγκατάστασης(20,29)

Στα FPSO πλοία προτεραιότητα έχει η ασφαλής λειτουργία της εγκατάστασης, η συμπαγής κατασκευή, η ευελιξία, η αποτελεσματικότητα, η ευκολία λειτουργίας και συντήρησης και η στιβαρότητα της κατασκευής. Ο τύπος ψυκτικής εγκατάστασης είναι δευτερεύουσας σημασίας.

Είναι μεγάλη πρόκληση η κατασκευή μιας εγκατάστασης παραγωγής, επεξεργασίας, διαχωρισμού και υγροποίησης του φυσικού αερίου, διότι πολλά από τα χαρακτηριστικά είναι κάποιες φορές αντικρουόμενα μεταξύ τους. Παράδειγμα, επιδιώκεται η ασφάλεια εγκατάστασης αλλά σε πολύ μικρή έκταση. Ακόμα θέλουμε μια ευέλικτη κατασκευή που όμως πρέπει να είναι συμπαγής και στιβαρή.

Τα FPSO πλοία κατασκευάζονται βάσει του μείγματος που επεξεργάζονται, και έτσι υπάρχουν εγκαταστάσεις για φτωχό μείγμα και άλλες για πλούσιο μείγμα. Ένα άλλο κριτήριο είναι και η ποσότητα ρευστού υδρογονάνθρακα που μπορούν να επεξεργαστούν ετήσια. Έτσι υπάρχει και η καταλληλότητα της επιλογής όγκου από 10^6 TPY(*Tones per year*) έως $5 \cdot 10^6$ TPY(*Tones per year*).

Στο 5^ο κεφάλαιο είχαμε αναφέρει την καταμέτρηση εξέργειας στα συστήματα ψύξης. Αξίζει να σημειωθεί πως σε ένα FPSO πλοίο, η υγροποίηση του φυσικού αερίου καταλαμβάνει το 4%-12% στην πλατφόρμα, ενώ το υπόλοιπο 88%-96% των εξεργειακών απωλειών πάνω στην πλατφόρμα προκύπτουν από την καύση του ρευστού υδρογονάνθρακα για συντήρηση και λειτουργία των εγκαταστάσεων, απώλειες θερμότητας, απώλειες ποσότητας του ρευστού υδρογονάνθρακα που πηγαίνουν να τροφοδοτήσουν τις γεννήτριες κ.α. Το διάγραμμα της εικόνας 6.10 είναι διαφωτιστικό.



Εικόνα 6.10

Τέλος στην καταλληλότερη επιλογή ψυκτικής διαδικασίας μεγάλη επιρροή έχει και η αιώνια μάχη μεταξύ της ποιότητας και την μεγιστοποίηση του κέρδους. Δηλαδή, μια τέλεια από άποψη ποιότητας και αποτελεσματικότητας εγκατάσταση είναι πάρα πολύ ακριβή, οπότε ο ιδιοκτήτης της πλατφόρμας κάνει κάποιες εκπτώσεις στην κατασκευή για μεγιστοποίηση του κέρδους.

Οι περισσότεροι ιδιοκτήτες και διαχειριστές FPSO πλοίων επιλέγουν να μην κάνουν πρόψυξη με προπάνιο για να αποφευχθεί η έκρηξη λόγω διαρροής. Η πρόψυξη με προπάνιο υπάρχει στον κύκλο ψύξης Cascade Process(Αλληλουχίας),και στους κύκλους ψύξης Mixed Refrigerant(Ανάμεικτου ψυκτικού ρευστού).

Όταν στο FPSO πλοίο η ψυκτική εγκατάσταση είναι μικρής έκτασης, τότε η πρόψυξη με προπάνιο μπορεί να αποφευχθεί. Αν όμως η εγκατάσταση επεξεργάζεται παροχές μεγαλύτερες των $2 \cdot 10^6$ TPY(*Tones per year*), τότε μια λύση είναι η DMR(double Mixed Refrigerant process), που την θέση του βρόγχου πρόψυξης με προπάνιο την παίρνει ένας ξεχωριστός βρόγχος ψύξης και όχι πρόψυξης με κάποιο ανάμεικτο ψυκτικό ρευστό σαν μέσο ψύξης. Άρα, για παροχές επεξεργασίας μικρότερες των $2 \cdot 10^6$ TPY(*Tones per year*) μια εγκατάσταση SMR(single mixed refrigerant process), είναι μια αξιόπιστη και σχετικά αποδοτική εγκατάσταση.

Μια ασφαλής και σχετικά ικανοποιητική εγκατάσταση είναι και η εγκατάσταση εκτόνωσης αζώτου. Αυτή, επειδή δεν χρησιμοποιεί υδρογονανθρακικά μείγματα για ψύξη, υπάρχει μειωμένος κίνδυνος πυρκαγιάς απο πιθανή διαρροή, διότι το άζωτο δεν είναι εύφλεκτο. Αν αυτό συδυαστεί και με πρόψυξη με κάποιο ψυκτικό μη υδρογονανθρακικό ρευστό όπως τα R410A, R507 τότε έχουμε καλύτερης ποιότητας υγροποιημένο φυσικό αέριο σε σύγκριση με τα συστήματα ψύξης SMR,DMR.

Άρα τελικά συμπεράσματα είναι τα εξής: Η διαδικασία SMR και DMR είναι πιο αποδοτικές αλλά μεν πιο ογκώδεις και πολύπλοκες, σε αντίθεση με το σύστημα ψύξης αζώτου που είναι πιο μικρό και απλό. Όπως προανέφερα, η πολυπλοκότητα και ο αυξημένος όγκος εγκατάστασης είναι μειονέκτημα σε μια απομακρυσμένη θαλάσσια περιοχή. Λόγω των ακραίων καιρικών συνθηκών, απαιτείται ένα ευέλικτο σύστημα εκμετάλλευσης και μεταποίησης του ρευστού υδρογονάνθρακα. Τα συστήματα ψύξης SMR και DMR είναι μεν κατάλληλα αλλά για ταμειυτήρες μεγάλο αποθέματος(20,29)

6.3) Πλοία LNG /ιστορικό και χωρητικότητες(1)



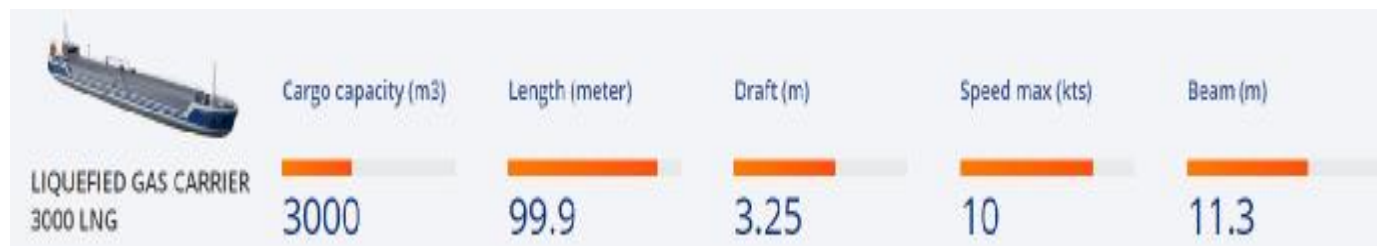
Εικόνα 6.11

Το πρώτο LNG πλοίο με το όνομα Methane Pioneer φτιάχτηκε τις 25 Ιανουαρίου του 1959, είχε 5.034 τόνους ωφέλιμου φορτίου, και ταξίδεψε από τις ακτές της Louisiana προς τις ακτές του Ηνωμένου Βασιλείου για πώληση. Μετά το πέρας αυτού του παρθενικού ταξιδιού, υπήρξε ταχεία ανάπτυξη στον τομέα της μεγιστοποίησης του ωφέλιμου φορτίου, και πλέον το ωφέλιμο φορτίο φτάνει τα 266.000 m³. Αφού το Methane Pioneer είχε επιτυχία, η Gas Council και η Conch International Methane Ltd έφτιαξαν ακόμα δύο LNG πλοία το Methane Princess και το Methane Progress, και τους ενσωμάτωσαν δεξαμενές αποθήκευσης από αλουμίνιο με συνολική χωρητικότητα το κάθε πλοίο στα 27.000 m³ και τα οποία χρησιμοποίησαν για εμπόριο αέριων υδρογονανθράκων στην Αλγερία το 1964.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1960 ανακαλύφθηκαν κοιτάσματα αέριου υδρογονάνθρακα στην Αλάσκα. Εμφανίστηκε λοιπόν η ευκαιρία εμπορίας αέριου υδρογονάνθρακα της Αλάσκας με την Ιαπωνία, μέσω των Εταιριών TEPCO και Tokyo Gas το 1969. Δύο πλοία, το Polar Alaska και το Arctic Tokyo, το κάθε ένα με χωρητικότητα 71.500 m³ φτιάχτηκαν στην Σουηδία. Στις αρχές της δεκαετίας του 1970, η αμερικανική κυβέρνηση ενίσχυσε με κίνητρα την κατασκευή πλοίων LNG στα αμερικανικά ναυπηγεία, με αποτέλεσμα να φτιαχτούν 16 LNG πλοία. Στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1980, ναυπηγήθηκαν τα αρκτικά LNG πλοία που μπορούσαν στις παγωμένες επιφάνειες των βόρειων θαλασσών να εμπορεύονται αέριο.

Με την αύξηση του ωφέλιμου φορτίου κοντά στα 143.000 m³, αναπτύχθηκαν νέα σχέδια δεξαμενών αποθήκευσης όπως η Moss Rosenberg, Technigaz Mark III και η Gaztransport No.96.

Τα τελευταία χρόνια, το μέγεθος και η χωρητικότητα των πλοίων LNG έχει αυξηθεί πολύ. Από το 2005, η Qatargas έχει χρηματοδοτήσει την δημιουργία δύο νέας γενιάς πλοίων LNG, το ένα λέγεται Q-Flex και ο άλλο λέγεται Q-Max. Κάθε πλοίο έχει χωρητικότητα από 210.000 m³ έως 266.000 m³, και είναι εξοπλισμένα με εγκατάσταση επανυγροποίησης φυσικού αερίου. Παράλληλα, πρόσφατα έχει αναπτυχθεί ένας μικρότερης κλίμακας σχεδιασμός LNG πλοίων όπως τα Damen LGC 3000.(3)



Εικόνα 6.12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ
ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ

ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ

Εσαγωγή

Στην Ελλάδα του 21ου αιώνα που δυστυχώς η αρχή του την βρήκε σε μια ηθικόκοινωνικο-οικονομικοπολιτική κρίση, τόσο λόγω χρόνιων παθογενειών όσο και μη σωστής εκτίμηση των διαφόρων κινδύνων να βρίσκεται σε μια νομισματική ένωση χωρίς όμως να διαθέτει η ίδια οργανωμένη εξαγωγική ισχύ και σε συνδυασμό με λάθος πολιτικές επιλογές, η χώρα αυτή με την ανταγωνιστική της τουριστική οικονομία βρίσκεται σε ένα τέλμα που μοιάζει να μην έχει τέλος.

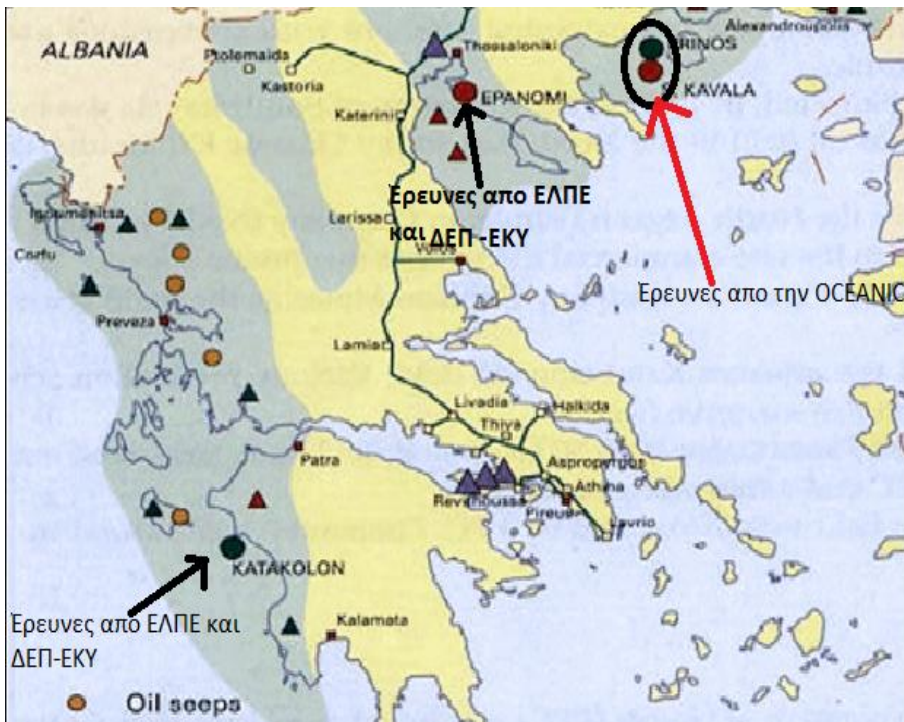
Έτσι μεγάλο μέρος της νέας γενιάς μεταναστεύει για καλύτερες οικονομικές και εργασιακές συνθήκες, ενώ το υπόλοιπο μέρος της ζει εδώ μεταξύ φθοράς και αυθαρσίας, όπου αγωνίζεται για ένα καλύτερο μέλλον με τις παθογένειες να συνεχίζουν να υπάρχουν και να κακοφορμίζουν κάθε τι παραγωγικό, δημιουργικό και πρωτοπόρο, και με την ανεργία σε πολύ υψηλά επίπεδα.

Σαφώς αναφέρομαι στην κατάσταση που επικρατεί για τον μέσο όρο του πληθυσμού των νέων ανθρώπων και όχι μόνο αυτών. Σε αυτήν την χώρα η ύπαρξη εκμεταλλεύσιμου ορυκτού πλούτου δεν είναι ένα κατασκευασμένο φανταστικό σενάριο αλλά πραγματικότητα, και συγκεκριμένα η ύπαρξη υδρογονανθρακικών μειγμάτων εντός των χωρικών συνόρων συμπεριλαμβανομένης της ελληνικής ΑΟΖ είναι πλέον δεδομένο, εξού και οι σεισμικές έρευνες που γίνονται ή προγραμματίζονται να γίνουν σε πολλές θαλάσσιες περιοχές (Βόρειο Αιγαίο, Βόρειο Λυβικό πέλαγος, Ιόνιο πέλαγος, Πατραϊκός κόλπος).

Σε αυτό το κεφάλαιο θα κάνω μια σύντομη αναδρομή για την εκμετάλλευση των υδρογονανθράκων στην Ελλάδα καθώς και στις θαλάσσιες περιοχές που βρίσκονται υδρογονανθρακικά μείγματα, διότι όλα αυτά που έχουν ειπωθεί στα προηγούμενα κεφάλαια και ειδικά στα κεφάλαια 5 και 6 αναφέρονται στην εκμετάλλευση υποθαλάσσιου ορυκτού υδρογονανθρακικού πλούτου.

7.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ(8,10,13)

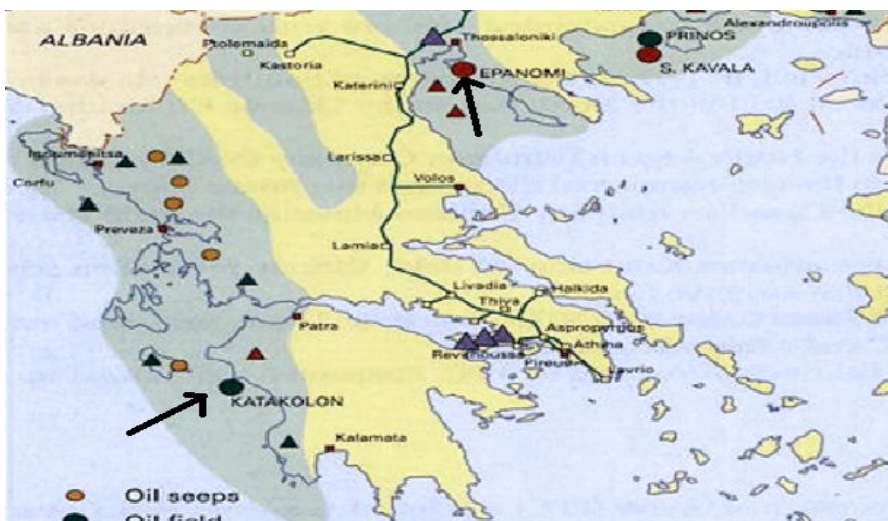
Αρχικά, έγιναν έρευνες στον ελλαδικό χώρο για υδρογονάνθρακες σε χερσαίες και σε θαλάσσιες περιοχές, από ελληνικές εταιρίες, ξένες εταιρίες καθώς και από το δημόσιο. Οι περισσότερες ήταν ανεπιτυχείς εκτός, από τις έρευνες της εταιρίας OCEANIC που εντόπισε ορυκτό πλούτο στον Πρίνο και στην θαλάσσια περιοχή νότια της Καβάλας από το 1971-1974.



Εικόνα 7.1 (Κόκκινο βέλος)

Κατόπιν, ιδρύθηκαν στην Ελλάδα διάφοροι οργανισμοί έρευνας και εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων μέχρι το 2000. Το κλειδί για την δημιουργία των οργανισμών αυτών ήταν η ίδρυση ενός φορέα διαχείρισης δικαιωμάτων του δημοσίου η ΔΕΠ. Η ΔΕΠ μετεξελίχθηκε στην ΕΛΠΕ και την θυγατρική ΔΕΠ-ΕΚΥ.

Οι δύο αυτές εταιρίες πραγματοποίησαν έρευνες σε όλη την ελληνική επικράτεια παράγοντας μια πλούσια βάση δεδομένων, αλλά ταυτόχρονα εξίσου σημαντικό είναι ότι δημιουργήθηκε στελεχικό προσωπικό για μελλοντικές έρευνες. Έπειτα το δημόσιο παραχώρησε 24 ερευνητικές άδειες στις δύο αυτές εταιρίες οι οποίες εκτέλεσαν σεισμικούς ελέγχους 2D 73.000 χιλιομέτρων και σεισμικούς ελέγχους 3D επιφάνειας 2.500 Km². Αυτές οι έρευνες φέρανε αποτελέσματα, συγκεκριμένα την ανακάλυψη πετρελαίου στην δυτική Πελοπόννησο στο Κατάκολο, καθώς και φυσικού αερίου στην Επανομή Θεσσαλονίκης.



Εικόνα 7.2 (Μαύρο βέλος)

Το 1995 η νομοθεσία για εκμετάλλευση απο εταιρίες υδρογονανθράκων αναμορφώθηκε κατόπιν ψήφισης σύμφωνα με κοινοτική οδηγία, και το 1996 πραγματοποιήθηκε ο πρώτος διεθνής γύρος παραχωρήσεων για 6 περιοχές. Εντέλει παραχωρήθηκαν οι εξής 4 περιοχές:

1. Βορειοδυτική Πελοπόννησος-> Στην εταιρία Triton
2. Αιτωλοακαρνανία-> Στην εταιρία Triton,
3. Ιωάννινα-> Στην εταιρία Enterprise Oil
4. Δυτικός. Πατραϊκός κόλπος-> Στην εταιρία Enterprise Oil.

Οι έρευνες δεν είχαν εντυπωσιακά αποτελέσματα, καθ'όσον δεν εκτελέστηκαν απο τις εταιρίες που το ανάλαβαν σε βάθη που είχε συμφωνηθεί κατά την παραχώρησή τους απο το ελληνικό δημόσιο, και έτσι οι εταιρίες αποχώρησαν το 2001.

Τέλος, το 2007 μέσω της ψήφισης ενός νόμου το ελληνικό δημόσιο ανακάλεσε την δικαιοδοσία που είχε δώσει στις εταιρίες ΕΛΠΕ και ΔΕΠ-ΕΚΥ, και εκτέλεσε ανοιχτό διεθνή διαγωνισμό μέσω ψήφισης νόμου το 2011, ώστε να γίνουν έρευνες στην δυτική και νότια Ελλάδα. Όταν οι έρευνες ολοκληρώθηκαν, έγινε παραχώρηση 20 θαλάσσιων οικοπέδων για εκτεταμένη έρευνα και εκμετάλλευση στο Ιόνιο πέλαγος και στα νότια της Κρήτης.

Αξίζει να αναφερθεί οτι τα υποθαλάσσια κοιτάσματα εντός του ελλαδικού χώρου που απέδωσαν προϊόν είναι τα κοιτάσματα του Πρίνου που μέχρι το 2012 είχαν αποδώσει 116 εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου, τα κοιτάσματα φυσικού αερίου στην νότια Καβάλα που απέδωσαν 855 εκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου, τα κοιτάσματα του βόρειου Πρίνου που απέδωσαν 3,5 εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου και το κοιτάσμα Έψιλον (Δυτικά του Πρίνου) που απέδωσε 350.000 βαρέλια, μέχρι που σταμάτησε η εκμετάλλευση του λόγω τεχνικών προβλημάτων.

Παρόλα αυτά η εταιρία Energean Oil & Gas δίνει μια δεύτερη ευκαιρία στο κοιτάσμα Έψιλον αφού ο Πρίνος έχει πλέον πεπερασμένο απόθεμα, και η εταιρία προσπαθεί να επεκταθεί δυτικά του Πρίνου.(8,10,13)

7.2)ΠΡΟΣΦΑΤΕΣ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΈΡΕΥΝΕΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ(11,14,15)

Σύμφωνα με τον Δρ.Κωνσταντίνο Νικολάου,το συμπέρασμα οτι υπάρχουν υδρογονάνθρακες στην Ελλάδα βασίζεται στην σύνεργια της έρευνας(Research) και της εξερεύνησης(Exploration). Οι έρευνες γίνονται είτε απο ανεξάρτητες επιστημονικές ομάδες είτε απο τις εταιρίες τις ίδιες, για να εντοπίσουν πιθανές πηγές υδρογονανθράκων υγρού ή αέριου, και συμπεριλαμβάνουν μελέτες γεωλογίας, γεωφυσικής, γεωχημείας και μηχανικής.

Οι έρευνες αυτές θα βοηθήσουν στο επόμενο στάδιο της διαδικασίας που είναι η εξερεύνηση των πηγών των υδρογονανθράκων που εντοπίστηκαν. Η εξερεύνηση προϋποθέτει την χρήση τρυπανιών. Οι έρευνες που έχουν γίνει στην Ελλάδα προσδιορίζουν περιοχές που πιθανόν να υπάρχουν υδρογονάνθρακες. Ποιές όμως είναι οι ενδείξεις οτι υπάρχουν υδρογονάνθρακες; Η απάντηση είναι η ύπαρξης πετρελαϊκών συστημάτων.

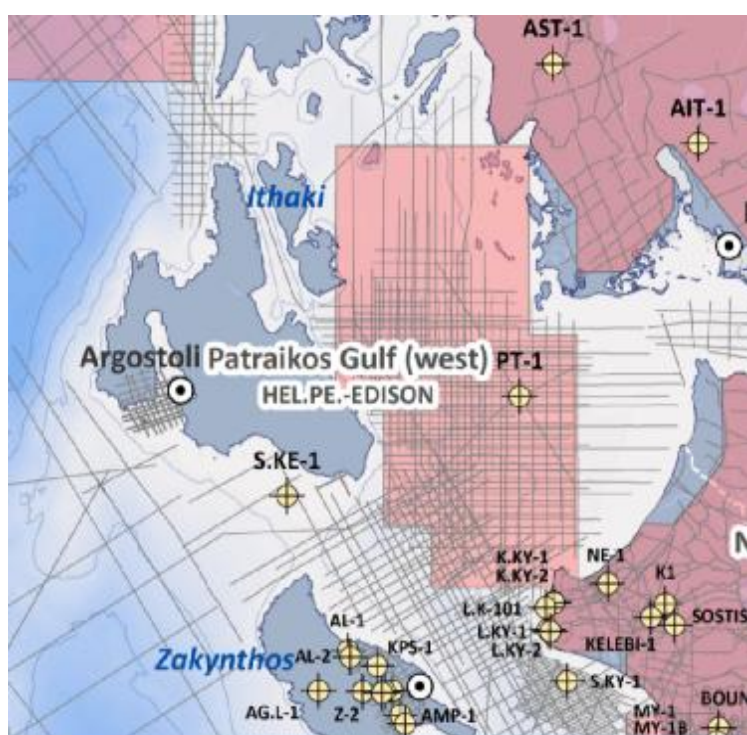
Τα πετρελαϊκά συστήματα είναι ένας ορισμός που περιλαμβάνει τα παρακάτω:

1. Μητρικά πετρώματα(πετρώματα που γεννούν τους υδρογονάνθρακες)
2. Πετρώματα σε ρόλο ταμιευτήρων(αποθηκεύουν τους υδρογονάνθρακες)
3. Πετρώματα σε ρόλο καλύματος των υδρογονανθράκων για απομόνωση τους
4. Κατάλληλες παγίδες που συλλέγουν τους υδρογονάνθρακες στους ταμιευτήρες
5. Κατάλληλη γεωλογική Ιστορία.

Πετρελαϊκά συστήματα έχουν παρατηρηθεί στην Δυτική Ελλάδα, Βόρεια/Ανατολική Ελλάδα (Δυτική Θράκη, Κόλπος της Καβάλας και Κόλπος της Χαλκιδικής).

Συγκεκριμένα η περιοχή του **Πατραϊκού κόλπου** διερευνήθηκε με σεισμικές έρευνες από την ΔΕΠ και αργότερα από την TRITON, η οποία εντόπισε μια σειρά στόχων. Αργότερα, η εταιρία TRITON προσπάθησε να βρει εταίρους και να εκχωρήσει δικαιώματα σε άλλες εταιρίες, για να μπορέσει να υλοποιήσει το γεωτρητικό της πρόγραμμα, χωρίς όμως επιτυχία. Τελικά, αποφάσισε να εγκαταλείψει την περιοχή καταβάλλοντας την σχετική ρήτρα στο Ελληνικό Δημόσιο. Υπενθυμίζεται ότι τότε η εταιρία εξαγοράστηκε από την AMERADA HESS, ενώ ταυτόχρονα οι τιμές του πετρελαίου είχαν μειωθεί σημαντικά, μειώνοντας έτσι το ενδιαφέρον.

Στον Πατραϊκό κόλπο οι εκτιμήσεις της κοινοπραξία ΕΛΠΕ- Edison κάνουν λόγο για κοίτασμα μεγέθους 100 εκατ. βαρελιών, ενώ οι επενδύσεις για την ανάπτυξη του υπολογίζονται σε 2 δις. ευρώ, και οι ερευνητικές γεωτρήσεις προσδιορίζονται για την περίοδο 2018 – 2019 σε μια έκταση 1892 Km² στο πηγάδι Patra-1.



Εικόνα 7.3

Πιστεύεται ότι η πετρελαιοδυνατότητες της περιοχής συνεχίζουν να είναι μεγάλες και θα μπορούσε να γίνουν μεγαλύτερες, αν υπάρξει συνδυασμός με την γειτονική περιοχή του κοιτάσματος του Κατακόλου, το οποίο μπορεί να γίνει οδηγός της μελλοντικής έρευνας. Το ΥΠΕΚΑ ανεβάζει το δυναμικό σε 250-300 εκατ. βαρέλια απολήψιμου πετρελαίου

Στην περιοχή του **Κατακόλου** το κοίτασμα ανακαλύφθηκε από την κρατική ΔΕΠ ΑΕ το 1981-1982. Βρίσκεται 3,5 χλμ νοτιοδυτικά του ακρωτηρίου Κατάκολου, σε βάθος θάλασσας 200-300 μ. Το κοίτασμα εντοπίστηκε σε βάθη 2500-2600 μέτρα, μέσα σε καλυμμένο παλαιοανάγλυφο από ανθρακικά πετρώματα με μικρό πρωτογενές πορώδες, αλλά με πολύ καλό δευτερογενές πορώδες. Οι δοκιμές παραγωγής έδωσαν δυναμικότητα ημερήσιας παραγωγής 20 – 22 εκατ. κυβικών ποδών φυσικού αερίου από δύο ζώνες και 1500 βαρέλια πετρελαίου.

Το Κατάκολο είναι η μοναδική ως τώρα περιοχή της Δυτ. Ελλάδας με 35 - 40 εκατ. βαρέλια πιστοποιημένα αποθέματα και 10,5 εκατ. βαρέλια απολήψιμα. Την εκμετάλλευση έχει αναλάβει η

Energean, η οποία προγραμματίζει γεώτρηση το 2019 σε μια έκταση 545 Km² στα παρακάτω ενεργά πηγάδια:

Katakolon-001, Katakolon-001A, Katakolon-002, Katakolon-101, Katakolon-102, Katakolon-103, Katakolon-104, Katakolon-105, Katakolon South-1, Katakolon South 1A, Katakolon West-1, Katakolon West-1A, Katakolon West-2, Vounargon-1, Vounargon-2, Lasteika-1, Myrtia-1, Alfios-1

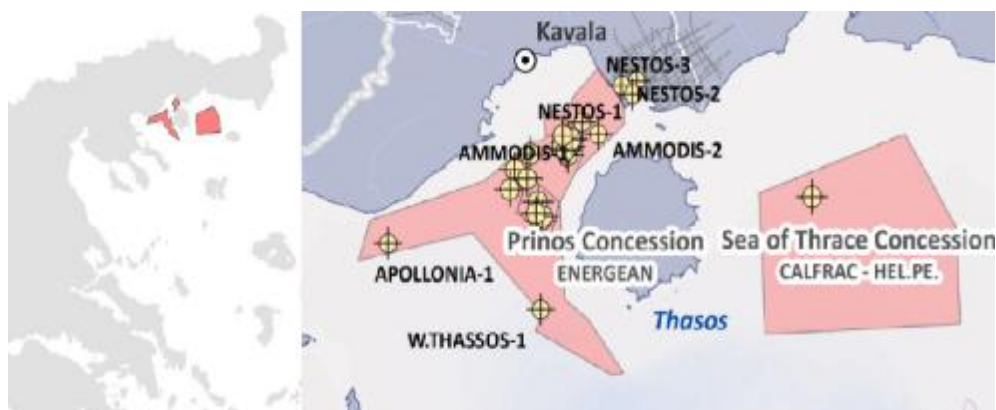


Εικόνα 7.4

Η ανακοίνωση του ΥΠΕΚΑ για απολήψιμα αποθέματα 3 εκατ. βαρελιών Πετρελαίου, θεωρείται εξαιρετικά συντηρητική, ενώ το ενδιαφέρον προσauζάνεται από την ζώνη του υπερκείμενου αερίου. Η εκμετάλλευση του κοιτάσματος αναμένεται να γίνει με πλάγια γεώτρηση από την περιοχή του ακρωτηρίου για να ξεπεραστούν περιβαλλοντικά προβλήματα λόγω της μεγάλης τουριστικής κίνησης με κρουαζιερόπλοια στο λιμάνι του Κατάκολου.(11,14,15)

(15)Μια άλλη περιοχή που έχει και στο παρελθόν ελεγχθεί και παράγει ακόμα και σήμερα υδρογονάνθρακα είναι η ευρύτερη θαλάσσια περιοχή της Θάσου/ Καβάλας (Πρίνος). Στο παρόν, σε μια έκταση 1600 Km² οι εταιρίες CALFRAC WELL SERVICES με το 75% και τα ελληνικά πετρέλαια με το 25%" αρχίζουν εντατικές έρευνες στα παρακάτω ενεργά πηγάδια:

E.Thassos, W.Thassos, Apollonia-1, Peramos-1, Peramos-2, Peramos Reef-1, Ammodis-1, Ammodis-2 (15)

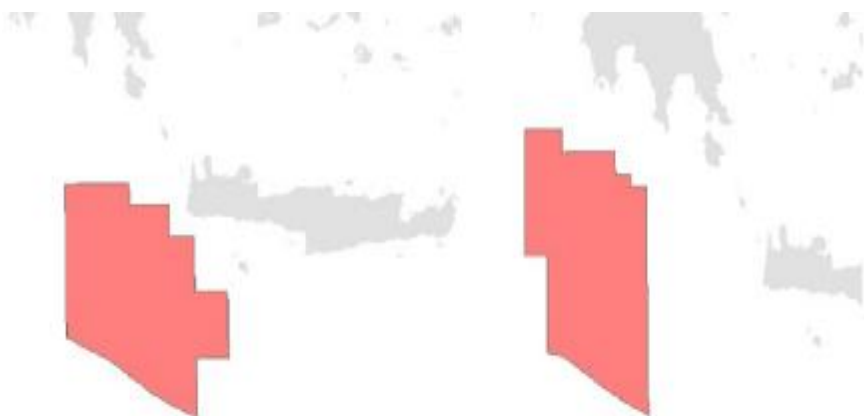


Εικόνα 7.5

(5,11,15).Μια κοινοπραξία κατάθεσε προσφορά για τις έρευνες υδρογονανθράκων στα θαλάσσια οικόπεδα, **Δυτικά και Νοτιοδυτικά Κρήτης**. Η κοινοπραξία αποτελείται από τις **Total - ExxonMobil - ΕΛΠΕ** που κατέθεσε προσφορά για τα δύο οικόπεδα. Όσον αφορά την Κρήτη παρουσιάστηκαν δύο γραμμές, μια νοτιανατολικά της Ιεράπετρας και άλλη μια δυτικά της Γαύδου.

Μέχρι πρότινος η Κρήτη απουσίαζε εντελώς από τις παρουσιάσεις στα συνέδρια, και το βάρος έπεφτε αποκλειστικά σχεδόν στο Ιόνιο. Τα δείγματα από τις σεισμικές γραμμές νότια της Κρήτης ήταν σε πρώιμο στάδιο, ενώ τώρα έχουν περάσει στο στάδιο της ερμηνείας. Η εντύπωση λοιπόν των επιστημόνων για τα δεδομένα που παρέλαβαν πρόσφατα για τη Νότια Κρήτη, είναι πως το πάχος των συγκεκριμένων γεωλογικών στρωμάτων που πλαισιώνονται από τις σεισμικές γραμμές είναι αρκετά μεγάλο, ικανό να συγκρατήσει εκεί την πίεση του φυσικού αερίου, ώστε να δημιουργηθεί σημαντικός όγκος κοιτάσματος.

Οι άδειες παραχώρησης προς έρευνα στα δύο θαλάσσια οικόπεδα στο βόρειο Λυβικό πέλαγος είναι σε αναμονή παρά την προαναφερθείσα προσφορά. Το οικόπεδο δυτικά της Κρήτης που θα ερευνηθεί έχει έκταση 20058.4 Km². Ενώ το οικόπεδο νοτιοδυτικά της Κρήτης που θα ερευνηθεί έχει έκταση 19868.37 Km².



Εικόνα 7.6 (Αριστερά προς τα δεξιά οικόπεδο νοτιοδυτικά της Κρήτης και οικόπεδο δυτικά της Κρήτης)

Η κοινοπραξία Repsol-ΕΛΠΕ κατέθεσε προσφορά για το οικόπεδο του **Ιονίου** (εικόνα 7.7) αν και η ΗΗΡΜ (Hellenic hydrocarbon resources management) δεν έχει αποφανθεί ακόμα για την παραχώρηση της άδειας. Το οικόπεδο στο Ιόνιο έχει έκταση 6671.13 Km².



Εικόνα 7.7

Η εταιρία Ελληνικά Πετρέλαια έχει πάρει την άδεια για έρευνα στο **οικόπεδο 1** που έχει έκταση 1801.7 Km² με το ενεργό πηγάδι της ανατολικής Ερρικούσας, εφόσον όμως πρώτα λυθεί το θέμα της υφαλοκρηπίδας με την Αλβανία.



Εικόνα 7.8

Η κοινοπραξία TOTAL: 50% (operator)- EDISON: 25%- Ελληνικά Πετρέλαια: 25%, έχουν την άδεια για έρευνα στο **οικόπεδο 2(δυτικά της Κέρκυρας)** που έχει έκταση 2422.1 Km² χωρίς ενεργά ακόμα πηγάδια.



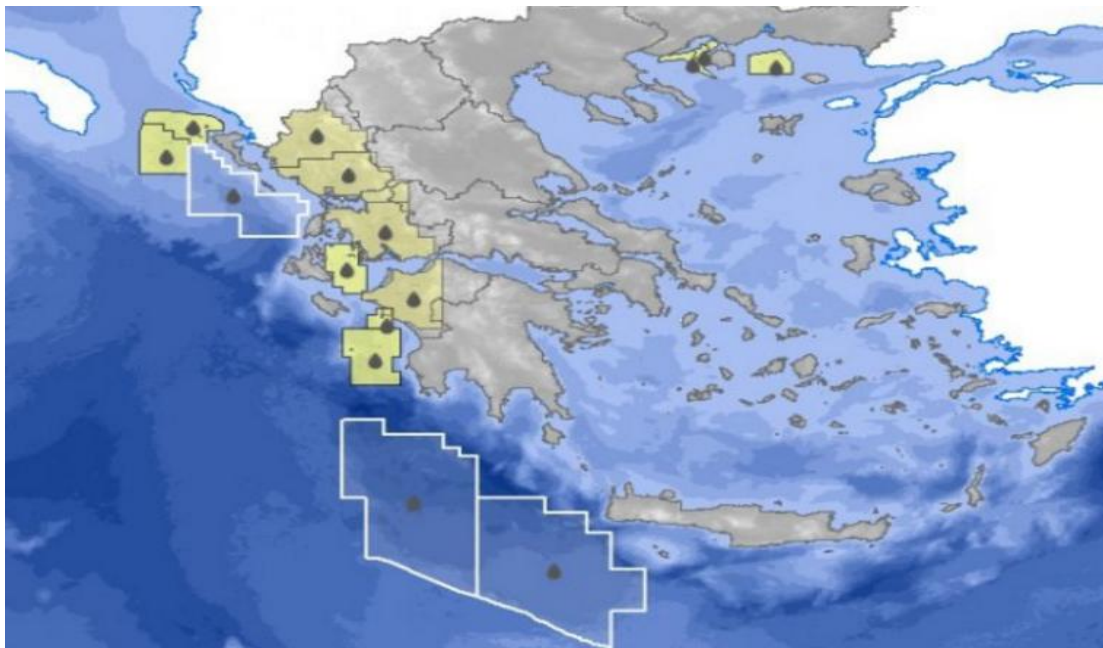
Εικόνα 7.9

Η εταιρία Ελληνικά Πετρέλαια έχει πάρει την άδεια για το **οικόπεδο 10(Νοτιοδυτική Πελοπόννησος)** έκτασης 3420.6 Km² χωρίς ακόμα ενεργά πηγάδια.



Εικόνα 7.10

Το οικόπεδο 1, το οικόπεδο 2 και το οικόπεδο στο Ιόνιο, μπορούν να αποτελέσουν μια ενιαία ερευνητική περιοχή όπως φαίνεται και από τον παρακάτω χάρτη.(5,11,15)



Εικόνα 7.11

Όσον αφορά το **Αιγαίο πέλαγος** και συγκεκριμένα στο νοτιανατολικό τμήμα του που συνορεύει με την Κύπρο πιθανολογείται η ύπαρξη ρευστού υδρογονάνθρακα. Ο λόγος είναι ότι ανακαλύφθηκαν υδρογονάνθρακες στα νότια της Κύπρου, καθώς και ανατολικά της, οπότε υπάρχουν καλές πιθανότητες και για την ευρύτερη περιοχή. (25) Παράλληλα, η Κύπρος γίνεται κόμβος παραγωγής και διανομής του φυσικού αερίου της περιοχής, με θεωρητικά προσχέδια διανομής του φυσικού της αερίου, τα παρακάτω:

1. Υποθαλάσσιος αγωγός, που θα συνδέει τα κοιτάσματα της N/NA Μεσογείου με το Ισραήλ, με εργοστάσιο υγροποίησης στο Ισραήλ. Μειονέκτημα αυτής της πρότασης, είναι η κρίση της Μέσης Ανατολής, και το γεγονός πως ένας τέτοιος αγωγός θα αποσταθεροποιήσει περισσότερο την κατάσταση στην Μέση Ανατολή.
2. Πλωτή εγκατάσταση υγροποίησης του φυσικού αερίου στα κοιτάσματα της N/NA Μεσογείου. Μειονέκτημα αυτής της πρότασης είναι το υψηλό της κόστος, καθώς και τα τεχνικά προβλήματα λόγω της πολυπλοκότητας της εγκατάστασης.
3. Υποθαλάσσιος αγωγός, που θα συνδέει τα κοιτάσματα της N/NA Μεσογείου με την Κύπρο, με εργοστάσιο υγροποίησης στην Κύπρο. Αυτή η πρόταση δίνει τακτικό πλεονέκτημα στην Κύπρο, διότι θα διανέμεται το LPG μέσω πλοίων σε όλες τις χώρες που βρίσκονται στις ακτές της Μεσογείου. Όμως, το υψηλό κόστος κατασκευής της εγκατάστασης, απαιτεί μεγάλες ποσότητες φυσικού αερίου για σύντομη απόσβεση του κόστους αυτού.
4. Υποθαλάσσιος αγωγός, που θα συνδέει τα κοιτάσματα της N/NA Μεσογείου με την ανατολική Κρήτη, και από εκεί στην ηπειρωτική Ελλάδα και στην Ιταλία. Το τακτικό πλεονέκτημα αυτής της πρότασης, δίνεται στον άξονα Κύπρου/Ελλάδας. Τα μειονεκτήματα της πρότασης, είναι το υψηλό κόστος κατασκευής, και το γεγονός ότι είναι μεγάλη πρόκληση κατασκευαστικά τα μεγάλα θαλάσσια βάθη, σε συνδυασμό με το μεγάλο μήκος υποθαλάσσιων αγωγών.
5. Μεταφορά του αερίου στην Κύπρο (δεν διευκρινίζεται ο τρόπος), παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ηλεκτρογεννήτριες που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο, και διανομή της μέσω

υποθαλάσσιων καλωδίων στο Ισραήλ και στην Ευρώπη. Μειονέκτημα αυτής της πρότασης, η αβεβαιότητα στην κάλυψη ικανοποιητικών ενεργειακών αναγκών.

6. Υποθαλάσσιος αγωγός, που θα συνδέει τα κοιτάσματα της N/NA Μεσογείου, με την Τουρκία. Αυτή η πρόταση δίνει τακτικό πλεονέκτημα στην Τουρκία και ο υποθαλάσσιος αγωγός είναι κατασκευαστικά πιο εύκολος να φτιαχτεί. Μειονέκτημα αυτής της πρότασης, είναι οι κακές σχέσεις της Τουρκίας με την Ε.Ε και το Ισραήλ.
7. Υποθαλάσσιος αγωγός, που θα συνδέει τα κοιτάσματα της N/NA Μεσογείου με την Αίγυπτο, με εργοστάσιο υγροποίησης στην Αίγυπτο που ήδη υπάρχει και υπολειτουργεί. Το πλεονέκτημα αυτής της πρότασης είναι ότι υπάρχει ήδη το εργοστάσιο υγροποίησης στην Αίγυπτο. Αυτή η πρόταση είναι που υπερισχύει των υπολοίπων.(25)

Αν όμως σε αυτά προσθέσουμε τους γεωπολιτικούς λόγους, τότε έχουμε ένα εκρηκτικό μείγμα που κατά την γνώμη μου καθυστερεί πολύ την έρευνα για υδρογονάνθρακες στο νοτιοανατολικό Αιγαίο.

Πρέπει η Ελλάδα να ασκεί μια αποτελεσματική, ευέλικτη και έξυπνη πολιτική για την τυχόν εκμετάλλευση της περιοχής. Κάτι το οποίο δεν έκανε ποτέ στο παρελθόν. Ας αναλογιστούμε ότι ακόμα και για τις περιοχές του κεντρικού Ιονίου που δεν υπάρχει καμμία αμφισβήτηση, η Ελλάδα άργησε να αναθέσει σε εταιρίες να κάνουν ουσιαστικές παραγωγικές έρευνες. Κατά την γνώμη μου αυτό συνέβη λόγω έλλειψης πολιτικής βούλησης σε συνδυασμό με την ύπαρξη μιας κοντόφθαλμης ευκαιριακής πολιτικής.

7.3)ΕΠΙΚΡΑΤΩΝ ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Όλες οι παραπάνω πρωτοβουλίες για έρευνα έγιναν μέσω της δημόσιας εταιρίας με το όνομα **Ελληνική Διαχείριση Υδρογονανθράκων**(Hellenic Hydrocarbon Resources management) που ιδρύθηκε το 2011. Έχει την έδρα της στην Αθήνα. Η νομική βάση της Εταιρείας είναι ο νόμος 4001/2011 που αφορά την προσαρμογή του ελληνικού συντάγματος στην ευρωπαϊκή οδηγία 2009/72/ΕΚ, που ασχολείται με την ελεύθερη πρόσβαση των φορέων(δημόσιων ή ιδιωτικών) παραγωγής και διαχείρισης ενέργειας εντός της ευρωπαϊκής κοινότητας να πουλούν τις υπηρεσίες και τα προϊόντα τους στους πελάτες(Ιδιώτες και Επιχειρήσεις) εντός της ευρωπαϊκής κοινότητας με ίσους όρους και το προεδρικό διάταγμα 14/2012 που επίσημα ιδρύει την άνω εταιρία.(16)

Είναι μια κρατική εταιρεία που ανήκει 100% στο Ελληνικό Δημόσιο, λειτουργεί όμως ανεξάρτητα ως ιδιωτική οικονομική οντότητα. Από το 2011, η εξερεύνηση και η παραγωγή υδρογονανθράκων ενισχύθηκε με την ίδρυση αυτής της εταιρίας, η οποία διαδραμάτισε καθοριστικό ρόλο στην εκμετάλλευση υδρογονανθράκων στην ελληνική επικράτεια

Η Ελλάδα μέσω της HHRM S.A έγινε ιδιαίτερα ελκυστική σε εταιρίες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Το **θεμελιώδες νομικό πλαίσιο** για δραστηριότητες εξερεύνησης και παραγωγής στην Ελλάδα καθορίζεται από τον τροποποιημένο νόμο υπ αριθμό 2289/1995, που ουσιαστικά έδωσε την δυνατότητα ανοιχτού διαγωνισμού σε οποιοσδήποτε εταιρίες του κλάδου για την παραχώρηση αδειών εξερεύνησης και εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων.

Όσον αφορά το **καθεστώς αδειοδότησης** για την εξερεύνηση και την παραγωγή, η Ελλάδα ακολουθεί την οδηγία 94/22/ΕΚ της ΕΕ που αφορά τους όρους χορήγησης και χρήσης των αδειών εξερεύνησης και παραγωγής υδρογονανθράκων στους φορείς που ειδικεύονται στον τομέα καθώς και την ελεύθερη και ισότιμη ανταγωνιστικότητα των φορέων αυτών με σεβασμό στο δημόσιο συμφέρον και την προστασία του περιβάλλοντος. Η Ελλάδα παρέχει ανταγωνιστικό φορολογικό

συντελεστή 20%, με πρόσθετο περιφερειακό φόρο 5%. Το μοντέλο φορολογίας είναι τελικό και έχει σχεδιαστεί ειδικά για να μην επιβαρύνει περαιτέρω τον άμεσο ή έμμεσο επενδυτή.(16)

7.3)ΣΩΛΗΝΟΓΡΑΜΜΕΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΥΡΑΣΙΑ

Σε αυτήν την ενότητα θα ασχοληθούμε με τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις ρευστών υδρογονανθράκων που αφορούν την Ελλάδα. Η γεωγραφική θέση της Ελλάδας είναι τέτοια που την καθιστά έναν σημαντικό κόμβο μεταφοράς ρευστού υδρογονάνθρακα, και με τις πρόσφατες έρευνες για ύπαρξη ορυκτού πλούτου στον ελλαδικό χώρο η θέση της αυτής ισχυροποιείται πολλαπλασιαστικά.Οι αγωγοί ρευστού υδρογονάνθρακα χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: Σε αγωγούς πετρελαίου και αγωγούς φυσικού αερίου.

7.4.α)Αγωγοί πετρελαίου(18)

Οι αγωγοί πετρελαίου στην Ευρώπη και την Ασία έχουν μεγάλη σημασία.

Ασία

Στην Ασία, λόγω του ορυκτού πλούτου της **Κασπίας θάλασσας**, του **Περσικού κόλπου** και των παρακάτω παραγωγών ασιατικών χωρών:

1. Ρωσία
2. Αφγανιστάν
3. Αζερμπαϊτζαν
4. Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα
5. Καζακστάν
6. Ιρακ
7. Ινδία
8. Σαουδική Αραβία
9. Ιράν
10. Πακιστάν
11. Συρία

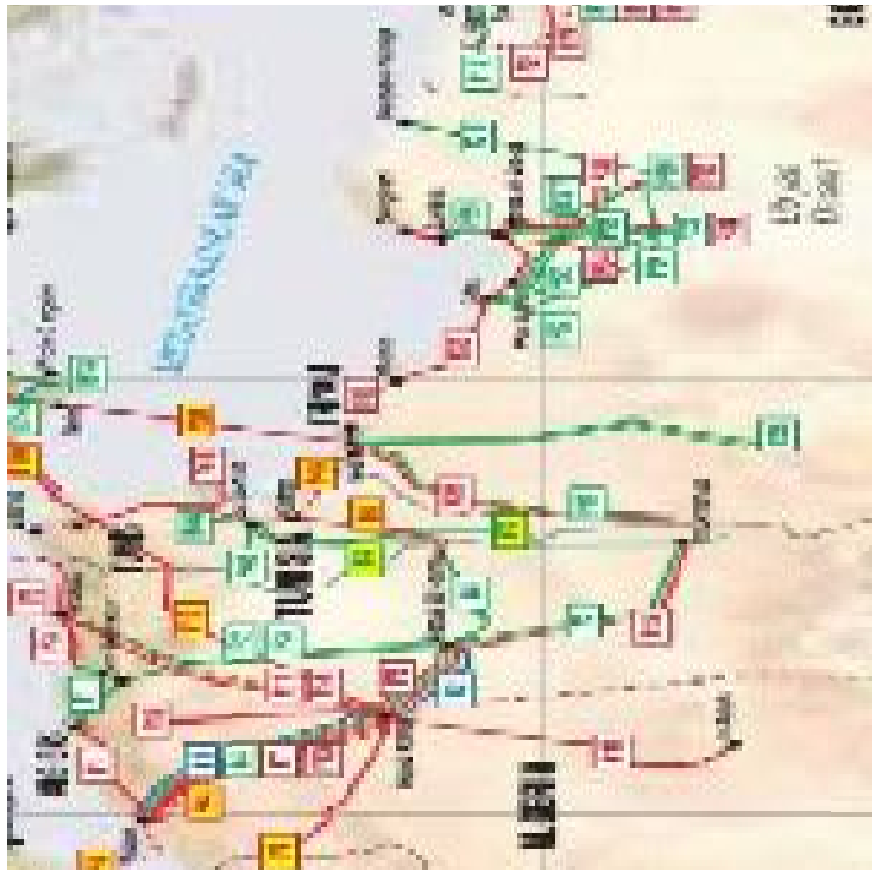
Σαφώς οι χώρες που τυχαίνει να βρίσκονται γεωγραφικά σε διάφορα σημεία των οδών που συνδέουν τις χώρες παραγωγούς πετρελαίου με αγωγούς, μετέχουν και αυτές στα κέρδη μεταφέροντας το και ενισχύοντας την παροχή διηπειρωτικά.

Ευρώπη

Στην Ευρώπη, λόγω του πετρελαίου της **Βόρειας θάλασσας**, των χωρών της **Βόρειας Αφρικής** και σαφώς της **Ρωσίας**. (18)

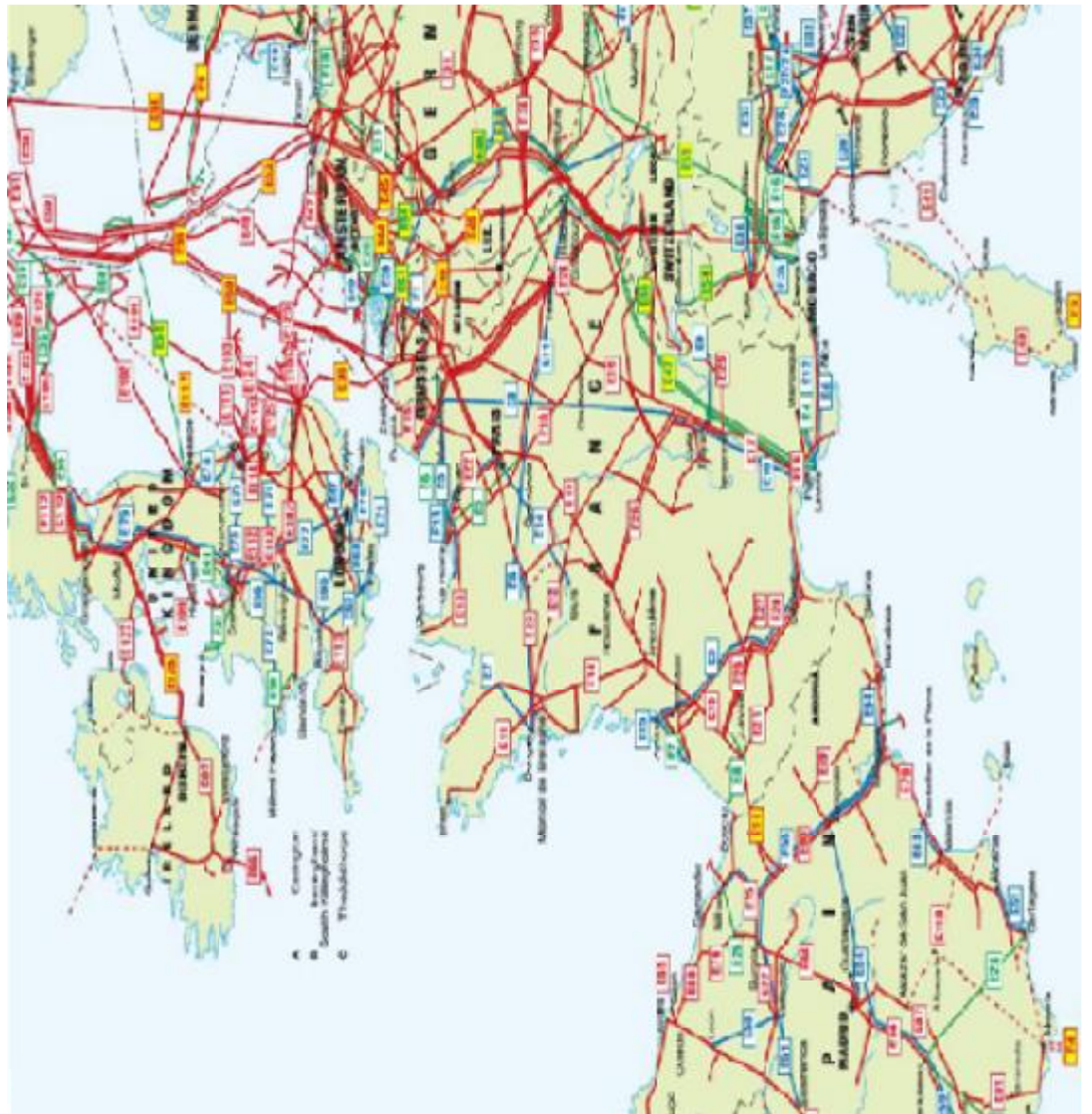
Αφρική

Όσον αφορά την τροφοδοσία της Ευρώπης με πετρέλαιο από την Αφρική, οι χώρες που έχουν αγωγούς πετρελαίου στο βόρειο κομμάτι της ηπείρου είναι **η Αλγερία, η Αίγυπτος, η Λιβύη, το Σουδάν, και η Τυνησία**. Από την Αφρική προς την Ευρώπη η μεταφορά γίνεται μέσω φορτηγών πλοίων. Ο παρακάτω χάρτης είναι διαφωτιστικός (βλέπε πράσινες γραμμές)

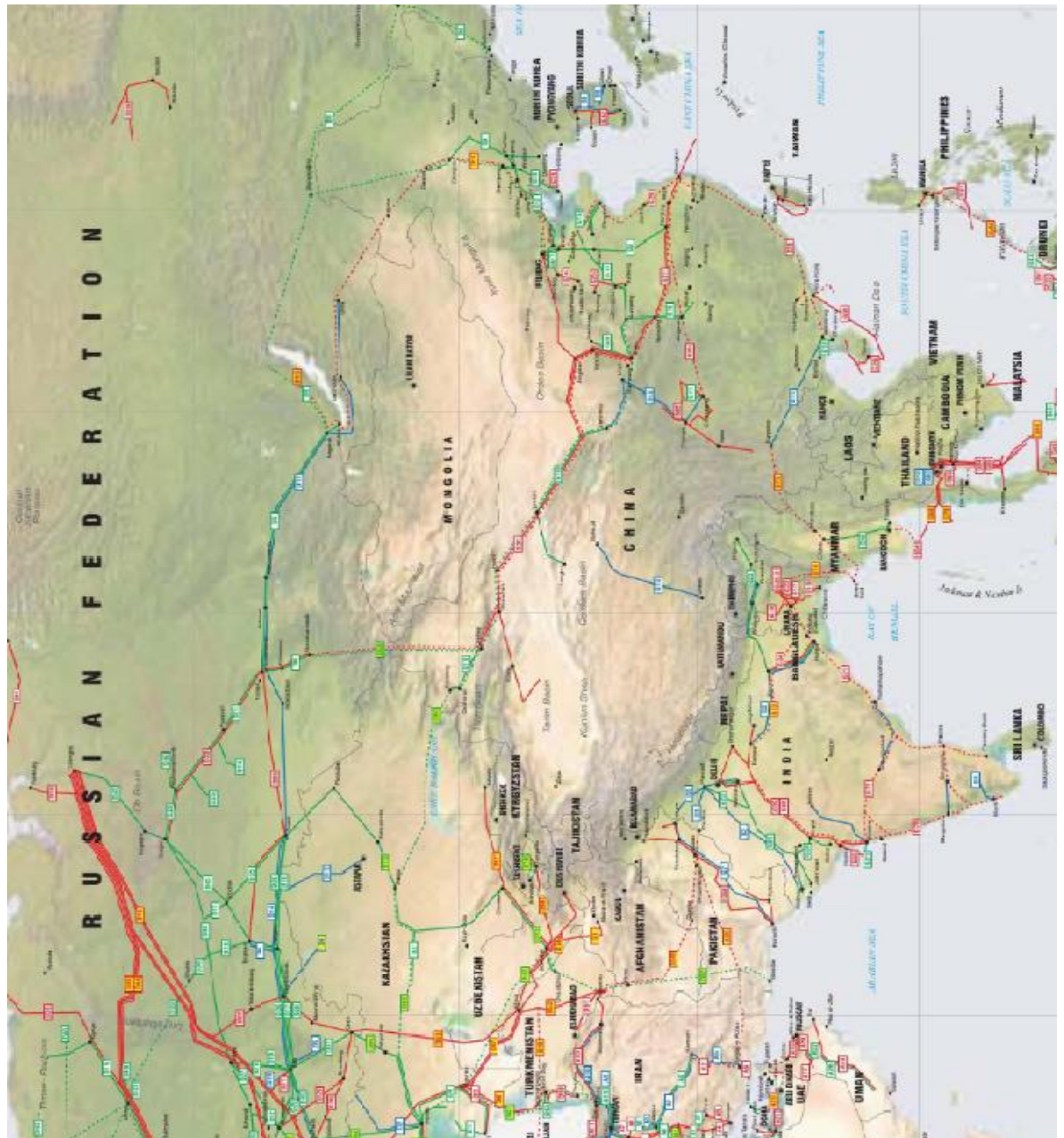


Εικόνα 7.12(Βόρεια Αφρική)

Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες των γνωστών αγωγών πετρελαίου στην Ευρώπη και την Ασία με πράσινο χρώμα.



Εικόνα 7.13



Εικόνα 7.14

7.4.β) Αγωγοί φυσικού αερίου

Αν οι αγωγοί πετρελαίου έχουν μεγάλη σημασία οι αγωγοί φυσικού αερίου κυριολεκτικά κατακλύζουν την Ευρασιατική ήπειρο. Οι χάρτες στις εικόνες 7.12, 7.13 και 7.14 με κόκκινο χρώμα απεικονίζουν τους αγωγούς φυσικού αερίου.

Ασία(19)

Στην Ασία οι χώρες που παράγουν φυσικού αερίου είναι οι παρακάτω:

1. Ρωσία
2. Τουρκμενισταν
3. Αζερμπαϊτζάν
4. Ουζμπεκιστάν

5. Ινδία
6. Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα,
7. Ιράν
8. Μαλαισία
9. Μιανμαρ

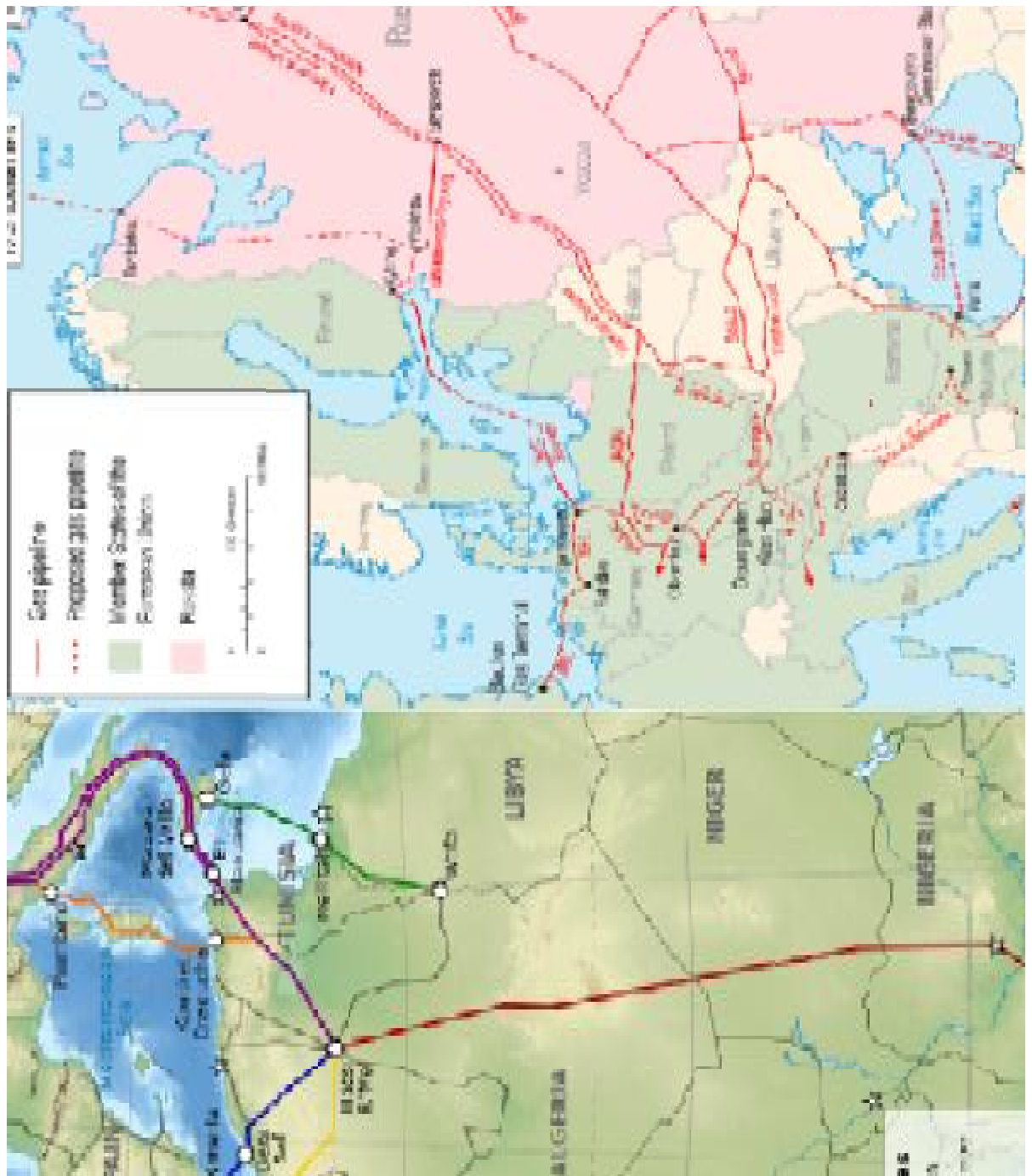
Οι παραπάνω χώρες με την κατασκευή σωληνώσεων φυσικού αερίου τροφοδοτούν όλη την Ευρασία με φυσικό αέριο

Ευρώπη

Η Ευρώπη μέσω του συστήματος σωληνώσεων φυσικού αερίου παραλαμβάνει φυσικό αέριο από την **Βόρεια θάλασσα**, την **Αφρική**, το **Αζερμπαϊτζάν**, την **Μέση Ανατολή** και την **Ρωσία**. Οι παρακάτω εικόνες αναπαριστούν το σύστημα σωληνώσεων φυσικού αερίου που τροφοδοτούν την Ευρώπη.(19)



Εικόνα 7.15(Πέρασμα της Μέσης Ανατολής)



Εικόνα 7.16(Πέρασμα από την Αφρική και πέρασμα από την Ρωσία)

7.4)ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ



Εικόνα 7.17

Από την ενότητα 7.4 συνειδητοποιούμε πως η Ελλάδα γεωγραφικά βρίσκεται σε κομβικό σημείο εντός αυτού του πλέγματος αγωγών, μεταφοράς του ρευστού υδρογονάνθρακα που οργώνει τις τρεις ηπείρους. Παρατηρώντας τους χάρτες διαπιστώνουμε ότι υπάρχουν εκατομμύρια χιλιόμετρα αγωγών ρευστού υδρογονάνθρακα και δύο από αυτούς περνάνε από την Ελλάδα: Ο ελληνοτουρκικός αγωγός και ο αγωγός από την Βουλγαρία.

Ανεξάρτητα από τις προοπτικές εξόρυξης υδρογονάνθρακων στην χώρα, η Ελλάδα εισάγει υδρογονάνθρακες για τις ανάγκες του πληθυσμού σε θέρμανση, κίνηση και χρήση βιομηχανικών και επαγγελματικών μονάδων στα εργοστάσια και τις επιχειρήσεις. Το νησιωτικό κομμάτι της χώρας κατέχει αξιοσημείωτο ποσοστό της ολικής έκτασης της χώρας, οπότε προωθείται η χρήση φορτηγών πλοίων για ευνόητους λόγους. Όμως υπάρχει και το ηπειρωτικό κομμάτι της χώρας που συνδέεται μέσω στεριάς με την κεντρική βαλκανική χερσόνησο και ανατολικά με την Τουρκία.

Η Ελλάδα τις ανάγκες της για πετρέλαιο, τις καλύπτει κατά 35% από την Ρωσία, κατά 22% από το Καζακστάν, κατά 23% από το Ιράκ, κατά 9% από την Αίγυπτο, κατά 2% από την Λιβύη και κατά 9% από μικρότερες πηγές. Το μοναδικό κοιτάσμα της χώρας στον Πρίνο δεν είναι αρκετό με τα 2500 βαρέλια του ημερησίως, να καλύψει **στο ελάχιστο** τις ανάγκες της χώρας για πετρέλαιο. (20,21,22,24)

Όσον αφορά το φυσικό αέριο, το 65% των ελληνικών αναγκών καλύπτεται από την Ρωσία κυρίως μέσω του βουλγαρικού αγωγού που έχει μήκος 180 χιλιόμετρα εκ των οποίων τα 30 είναι σε ελληνικό έδαφος. Αρχίζει από την Βουλγαρική πόλη Stara Zagora και καταλήγει στην Κομοτηνή. Το 17% των αναγκών της σε φυσικό αέριο το παραλαμβάνει από την Αλγερία υπο την μορφή LNG που αεριοποιείται στο νησί της Ρεβυθούσας σε μια εγκατάσταση τελευταίας τεχνολογίας, και το 18% των αναγκών της από την Τουρκία μέσω του ελληνοτουρκικού αγωγού που έχει μήκος 296 χιλιόμετρα, αρχίζει από την πόλη Karacabey διανύει 17 χιλιόμετρα στον βυθό της θάλασσας του Μαρμάρα. Στο ελληνικό κομμάτι διανύει μια απόσταση 86 χιλιόμετρα μέχρι την Κομοτηνή (20,21,22,24).



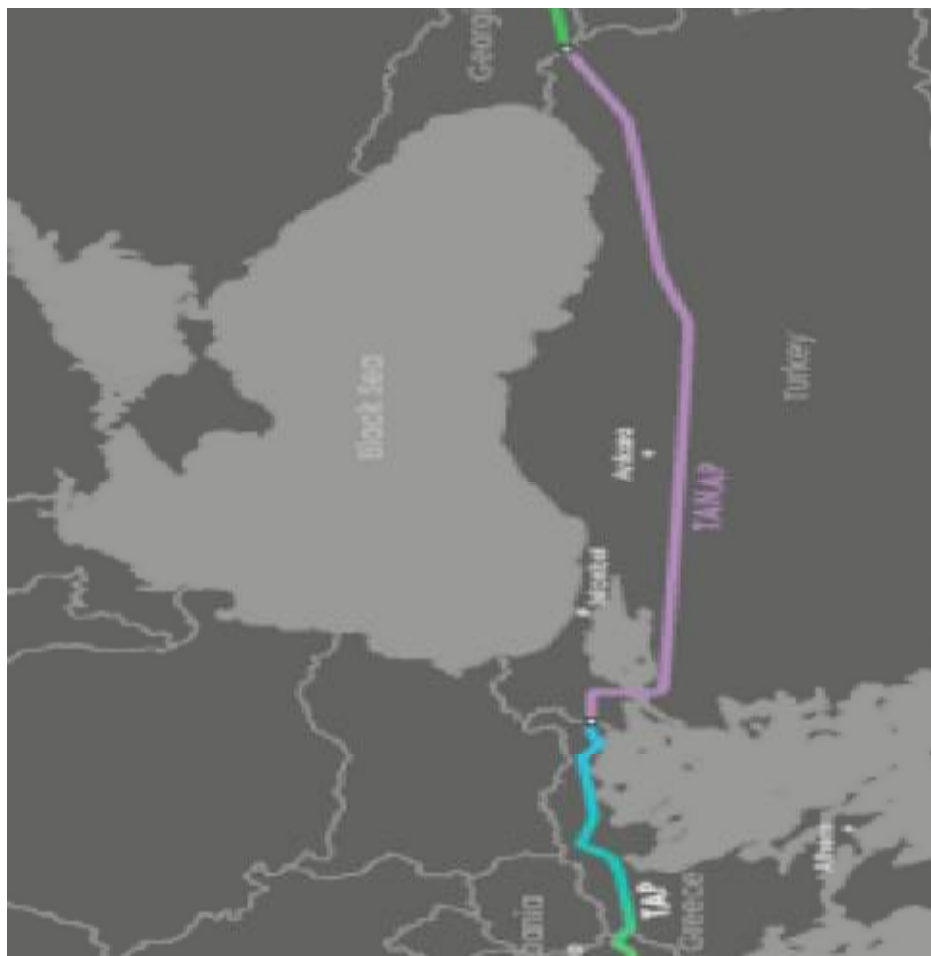
Εικόνα 7.18(Ελληνοτουρκικός αγωγός)



Εικόνα 7.19(Ελληνοβουλγαρικός αγωγός)

Υπο κατασκευή είναι και ο νότιος διάδρομος φυσικού αερίου. Ουσιαστικά αποτελείται από τρία κομμάτια. Το πρώτο κομμάτι αρχίζει στο κοιτάσμα San Deniz II στην Κασπία θάλασσα στην Αζερική ΑΟΖ και φτάνει μέχρι την Γεωργία(Αγωγός Νότιου Καυκάσου->SCPX), έπειτα ο αγωγός

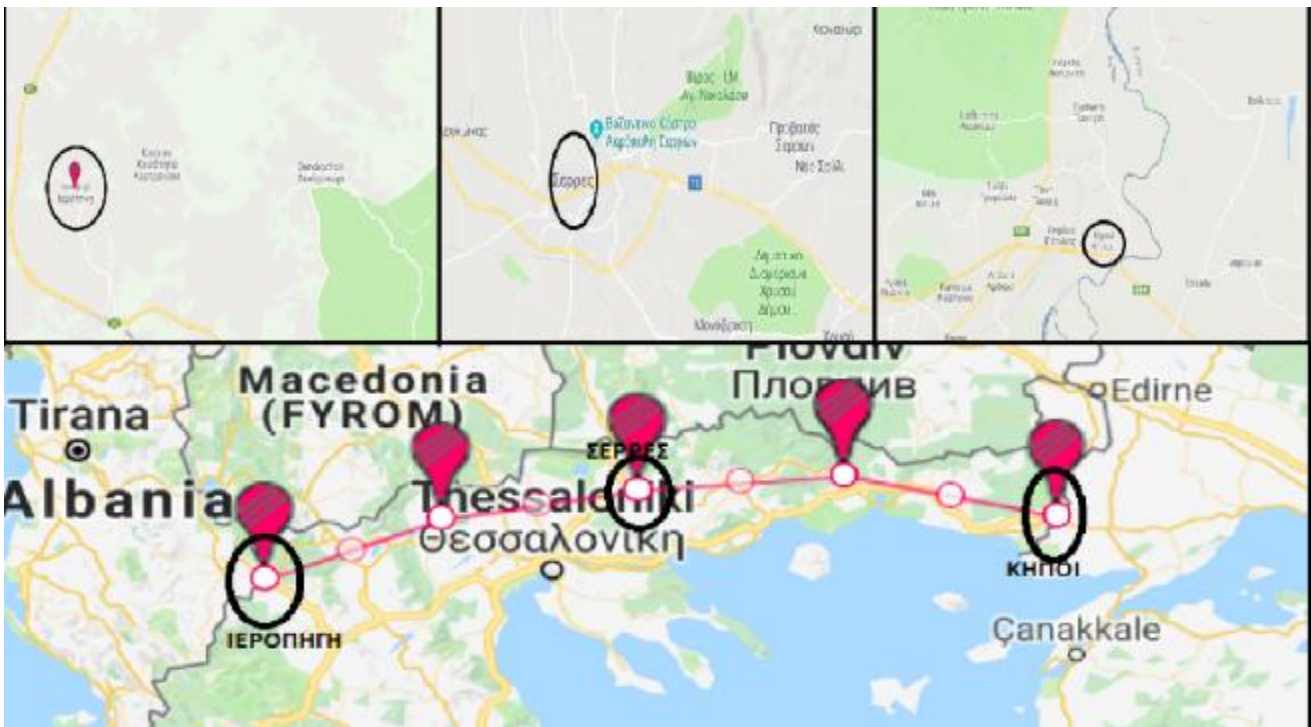
περνά από την Τουρκία(Αγωγός φυσικού αερίου Ανατολίας->TANAP-> Ο προανεφερθείς ελληνοτουρκικός αγωγός),τέλος ο αγωγός περνά κατά σειρά από Ελλάδα, Αλβανία, Ιταλία(Αδριατικός Αγωγός-> TAP). Το συνολικό μήκος του είναι 4000 χιλιόμετρα(23)



Εικόνα 7.20

Το κομμάτι του αγωγού που αφορά την Ελλάδα είναι το τρίτο κομμάτι(TAP) με συνολικό μήκος 878 χιλιόμετρα, με ανώτερο υψόμετρο τα 1800 μέτρα στα αλβανικά όρη, και υποθαλάσσιο βάθος 820 μέτρα στην Αδριατική θάλασσα. Το κομμάτι του TAP που διασχίζει την Ελλάδα έχει μήκος 550 χιλιόμετρα, στην Αλβανία έχει μήκος 215 χιλιόμετρα, στην Αδριατική έχει μήκος 105 χιλιόμετρα και στην Ιταλία 8 χιλιόμετρα.

Στην Ελλάδα ο αγωγός TAP εισέρχεται των ελληνικών συνόρων από τους Κήπους του νομού Έβρου, και εξέρχεται των ελληνικών συνόρων νοτιοδυτικά του μικρού χωριού της Ιεροπηγής στο νομό Καστοριάς. Στους Κήπους θα τοποθετηθεί και ένας σταθμός συμπίεσης με μεταφορική ικανότητα 10 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Επίσης θα τοποθετηθεί και ένας σταθμός συμπίεσης με μεταφορική ικανότητα 20 δισεκατομμυρίων κυβικών μέτρων κοντά στις Σέρρες, με στόχο την μελλοντική αναβάθμιση των αρχικών εγκαταστάσεων μεταφοράς φυσικού αερίου.



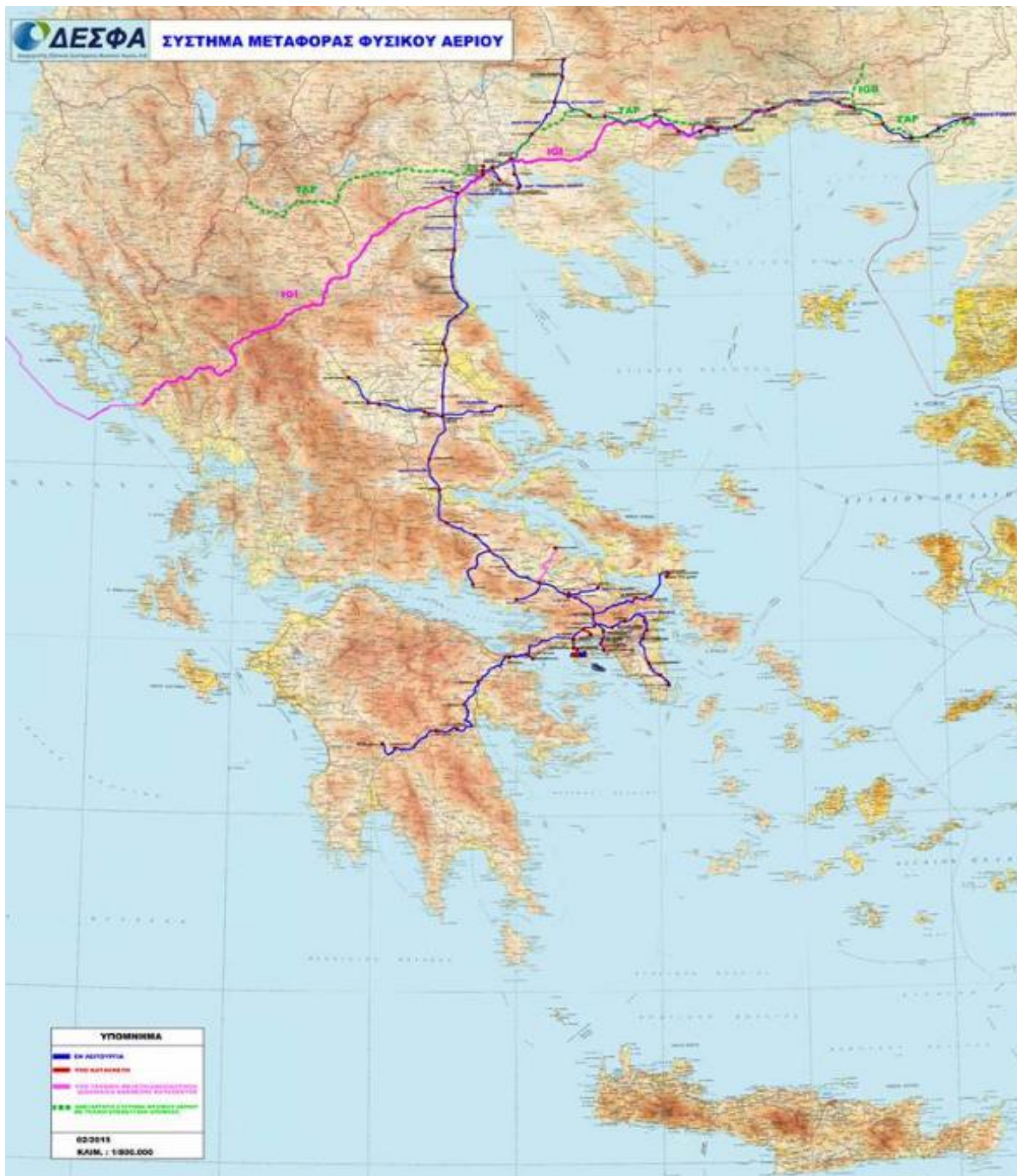
Εικόνα 7.21 (Πάνω αριστερά- η Ιεροπηγή του νομού Καστοριάς, πάνω κεντρικά- οι Σέρρες, Πάνω δεξιά- οι Κήποι του νομού Έβρου, κάτω -συνολικός χάρτης)

Ο αγωγός TAP είναι κατά 71% έτοιμος και στις τρεις χώρες. Στον παρακάτω χάρτη τα κίτρινα σημεία είναι αυτά που έχουν είδη καλυφθεί από χώμα, τα μωβ σημεία είναι αυτά που οι σωληνώσεις έχουν συγκολληθεί και με τρκουάζ χρώμα τα σημεία που έχει καθαριστεί η όδευση του αγωγού που θα συγκολληθεί και θα καλυφθεί με χώμα.



Όλος αυτός ο εισαγόμενος αέριος υδρογονανθρακικός πλούτος πρέπει να διανεμηθεί και να ενισχυθεί σε επίπεδο πίεσης ροής σε όλη την επικράτεια. Εδώ έρχεται η Δ.Ε.Σ.ΦΑ-> Διαχείριση Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου. Ουσιαστικά είναι ένας οργανισμός που διαχειρίζεται το Ε.Σ.ΦΑ-> Εθνικό Σύστημα μεταφοράς Φυσικού Αερίου που μεταφέρει φυσικό αέριο από τα ελληνοβουλγαρικά (διαχειριστής BULGARTRANGAZ) και ελληνοτουρκικά (διαχειριστής BOTAS) σύνορα σε καταναλωτές εγκατεστημένους στην ηπειρωτική Ελλάδα.(22)

Το Ε.Σ.ΦΑ αποτελείται από **τον κεντρικό αγωγό μεταφοράς φυσικού αερίου και τα παρακλαδία του, τους μετρητικούς σταθμούς στα σύνορα(στο Σιδηροκάστρο του νομού Σερρών και Κήπων του νομού Έβρου), το σταθμό συμπίεσης στη Νέα Μεσήμβρια Θεσσαλονίκης, τους μετρητικούς και ρυθμιστικούς σταθμούς φυσικού αερίου, τα κέντρα ελέγχου και κατανομής φορτίου, τα κέντρα λειτουργίας και συντήρησης του μετρητικού σταθμού στα ηπειρωτικά σύνορα της χώρας(Σιδηρόκαστρο, Ανατολική Ελλάδα, Βόρεια Ελλάδα, Κεντρική Ελλάδα και Νότια Ελλάδα) και το σύστημα τηλεέγχου και τηλεπικοινωνιών.** Ο παρακάτω χάρτης είναι διαφωτιστικός.(22)



Εικόνα 7.23

7.5)ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ

Το μέλλον όλου αυτού του όψιμου ορυκτού εγχώριου υποθαλάσσιου πλούτου,βρίσκεται αποκλειστικά στα χέρια της πολιτικής εξουσίας και μόνο. Ο πλανήτης γη κάνει μια μεταστροφή στις Α.Π.Ε (Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας). Η Ελλάδα οφείλει να ακολουθήσει στο δύσκολο ταξίδι για την ευγενή συνύπαρξη του ανθρώπινου είδους με την υπόλοιπη οικουμένη. Για να γίνει όμως αυτό, πρέπει να καταπολεμηθούν χρόνιες παθογένειες στην οργάνωση του κρατικού μηχανισμού μέσω θέσπισης νόμων που κάνουν την ελληνική αγορά πιο ανταγωνιστική, χωρίς όμως να παραβιάζονται εργασιακά και κοινωνικά δικαιώματα που οι προηγούμενες γενεές ανά τον κόσμο τα κερδίσαν με αιματηρούς αγώνες. Επίσης, αυτοί οι νόμοι θα πρέπει να ψηφισθούν από όσο την πλειοψηφία των βουλευτών ώστε να έχουν μια ισχυρή και στέρεα δομή που να μην επηρεάζεται από τις τάσεις της εκάστοτε κυβέρνησης.

Σύμφωνα με την έκθεση της Ακαδημίας Αθηνών με τίτλο <<ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΤΟ 2030 ΜΕ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΤΟ 2050>>, στοιχείο ριζικής μεταμόρφωσης του ελληνικού ενεργειακού τοπίου με μεγάλα οικονομικά οφέλη θα αποτελέσει ασφαλώς η τυχόν ανακάλυψη και αξιοποίηση σημαντικών κοιτασμάτων πετρελαίου ή φυσικού αερίου στο χώρο της Ελληνικής Επικράτειας.(10)

Ο εγχώριος υδρογονάνθρακας μπορεί να είναι για την Ελλάδα η γέφυρα για την μελλοντικά πλήρη ενεργειακή εξάρτηση της χώρας από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ο ρευστός υδρογονάνθρακας μπορεί να λειτουργήσει σαν μια πηγή αύξησης του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος και κυρίως το φυσικό αέριο που είναι φιλικότερο προς το περιβάλλον, ώστε η σταδιακή μετάβαση στις Α.Π.Ε να γίνει με ομαλότερες οικονομικές συνθήκες.

Προτείνεται να συντελεσθεί μείωση των γραφειοκρατικών διαδικασιών παραχώρησης δικαιωμάτων, και να υιοθετηθεί ένα ευέλικτο και αποτελεσματικό μοντέλο διοίκησης για τον εποπτικό ρόλο του Δημοσίου. Διότι, η άσκοπη γραφειοκρατία αυξάνει πολύ τα έξοδα σε όλες τις μορφές παραγόμενης ενέργειας από τον υδρογονάνθρακα έως την αιολική, ηλιακή και ηλεκτρική ενέργεια, και μια συνέπεια της κοστοβόρας παραγωγής ενέργειας είναι η έλλειψη ανταγωνιστικότητας στην παγκόσμια αγορά ενέργειας.

Επίσης, αναφέρει η παραπάνω έκθεση πως ενόψει αυτής της προοπτικής, σκόπιμο κρίνεται να δοθεί προτεραιότητα στις αδειοδοτήσεις περιοχών που εμφανώς παρουσιάζουν μεγαλύτερες πιθανότητες για ανακάλυψη κοιτασμάτων φυσικού αερίου, και να ενεργοποιηθούν το συντομότερο δυνατό απ' ευθείας διαπραγματεύσεις για τον καθορισμό των θαλάσσιων ορίων υφαλοκρηπίδας μεταξύ Ελλάδος-Αιγύπτου, Ελλάδος-Λιβύης και τριπλού σημείου Ελλάδος-Λιβύης-Ιταλίας.(10)

ΠΗΓΕΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Πηγές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

- 1) http://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied_natural_gas
- 2) <http://www.cooperenergy.com.au/our-company>
- 3) <http://www.cooperenergy.com.au/our-operations>
- 4) <http://www.cooperenergy.com.au/investor-information>
- 5) <http://www.cooperenergy.com.au/investor-information/presentations>
- 6) <http://corporate.exxonmobil.com>
- 7) <http://corporate.exxonmobil.com/en/company/worldwide-operations/locations>

- 8) <http://corporate.exxonmobil.com/en/energy/natural-gas>
- 9) <http://corporate.exxonmobil.com/en/energy/natural-gas/environment-and-safety>
(enviroment)
- 10) <http://corporate.exxonmobil.com/en/environment/environmental-performance/air-emissions-reductions/overview?parentId=07142f32-1784-4e47-9661-0d65564016ae>
(enviroment)
- 11) <http://corporate.exxonmobil.com/en/community/corporate-citizenship-report/charts/air-emissions-reductions-chart> (enviroment)
- 12) <http://corporate.exxonmobil.com/en/community/corporate-citizenship-report/charts/greenhouse-gas-reductions-chart> (enviroment)
- 13) <http://corporate.exxonmobil.com/en/community/corporate-citizenship-report/charts/greenhouse-gas-emissions-net-chart> (enviroment)
- 14) <http://www.transcanada.com/natural-gas-pipelines.html>

- 15) <http://www.transcanada.com/environment.html> (enviroment)
- 16) <http://www.transcanada.com/5976.html> (video)
- 17) <http://www.transcanada.com/655.html>
- 18) <http://www.transcanada.com/vision-strategies.html>
- 19) <http://www.transcanada.com/energy.html>
- 20) Google search Trans Canada in mexico(pdf αρχείο)
- 21) <http://www.transcanada.com/us-ne-quote.html>
- 22) <http://www.transcanada.com/103.html>
- 23) <http://www.transcanada.com/power-marketing.html>
- 24) <http://www.marathon.com>
- 25) <http://www.marathonoil.com>
- 26) http://www.marathonoil.com/Social_Responsibility/Policies_Beliefs_and_Expectations/
(enviroment and safety)
- 27) http://www.marathonoil.com/Social_Responsibility/Environmental_Stewardship/
(enviroment)
- 28) http://www.marathonoil.com/Social_Responsibility/Environmental_Stewardship/Air_Emissions_Management/ (enviroment)
- 29) http://www.marathonoil.com/Social_Responsibility/Environmental_Stewardship/Biodiversity/ (enviroment)
- 30) http://www.marathonoil.com/Social_Responsibility/Environmental_Stewardship/Hydraulic_Fracturing/ (enviroment)
- 31) <http://www.shell.com>

- 32) <http://www.shell.com/global/environment-society.html>(enviroment)
- 33) <http://www.shell.com/global/environment-society/s-development/sd-in-shell.html>
(enviroment)
- 34) <http://www.shell.com/global/environment-society/s-development/controls.html> (enviroment)
- 35) <http://www.bp.com> (enviroment)
- 36)
- 37) <http://www.bp.com/en/global/corporate/sustainability/environment.html> (enviroment)
- 38) <http://www.bp.com/en/global/corporate/sustainability/environment/managing-our-impact-on-the-environment.html> (enviroment)
- 39) http://www.google.gr/books?hl=el&lr=&id=cucK_zctOwYC&oi=fnd&pg=PA77&dq=methods+of+protecting+the+environment+from+lng+train&ots=0kBLptdTft&sig=II5H5IRyOVxNNfn1X7F7NPcaZE&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- 40) Energy and enviroment chapter2 (pdf)
N.Ανδρίτσος
- 41) http://el.wikipedia.org/wiki/Φωτοχημικό_νέφος
- 42) Εικόνες για φωτοχημικό νέφος (google)
- 43) <http://8gym-perist.att.sch.gr/Programes/water/water6.htm>
- 43) Εικόνες για ρύπανση υδατών (google)
- 44) <http://11lyk-patras.ach.sch.gr/autosch/joomla15/images/projects/P2.pdf>
ΡΑΘΩΣΗ ΓΕΩΡΓΙΑ
ΣΤΕΦΟΥ ΧΡΙΣΤΙΝΑ
ΦΙΛΙΠΠΟΠΟΥΛΟΥ ΝΑΤΑΛΙΑ
- 45) http://en.wikipedia.org/wiki/Edison,_New_Jersey_natural_gas_explosion
- 46) <http://www.wtop.com/41/3683256/6-injured-in-natural-gas-explosion-in-Danville>
- 47) <http://timpanogos.wordpress.com/2013/03/18/forgotten-disasters-in-u-s-schools-the-new-london-texas-gas-explosion/>
- 48) <http://www.dailymail.co.uk/news/article-1311863/San-Francisco-gas-explosion-Pipeline-owner-supports-charging-customers-pay-clean-up.html>
- 49) <http://www.dailymail.co.uk/news/article-2529798/At-four-people-killed-dozens-injured-gas-explosion-rips-Chinese-shopping-mall.html>
- 50) http://www.kathimerini.gr/4dcqj/w_articles_kathremote_1_12/12/2009_313009
- 51) <https://apothesis.lib.teicrete.gr/bitstream/handle/11713/2627/TsakiroglouAretiAnna2014.pdf?sequence=1>
- 52) <https://www.eolss.net/sample-chapters/c08/e6-185-18.pdf>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

- 1) <http://pages.towson.edu/ladon/gases.html>
- 2) a: http://petrowiki.org/Real_gases*, b: <https://www.chem.purdue.edu/gchelp/liquids/critical.html>, c: http://en.wikipedia.org/wiki/Reduced_properties
- 3) http://www.engineeringtoolbox.com/gas-density-d_158.html
- 4) <http://en.wikipedia.org/wiki/Density>
- 5) <http://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/airplane/fluden.html>
- 6) <http://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/airplane/specvol.html>

- 7) <http://en.wikipedia.org/wiki/Viscosity>
- 8) Βιβλίο-> Τίτλος: Ρευστομηχανική, Συγγραφέας: Νανούσης Δ. Νανούσης, Α' τόμος Β' έκδοση, σελίδα 35 (Κατάταξη ρευστών)
- 9) http://en.wikipedia.org/wiki/Surface_tension
- 10) http://en.wikipedia.org/wiki/Gibbs_free_energy
- 11) <http://en.wikipedia.org/wiki/Enthalpy>
- 12) <http://en.wikipedia.org/wiki/Entropy>
- 13) http://en.wikipedia.org/wiki/Capillary_action
- 14) http://petrowiki.org/Interfacial_tension
- 15) http://www.readcube.com/articles/10.1002%2Fanie.196602991?r3_referer=wol&tracking_acti on=preview_click&show_checkout=1&purchase_referrer=onlinelibrary.wiley.com
- 16) <http://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRevA.25.1699>
- 17) <http://en.wikipedia.org/wiki/Compressibility>
- 18) <http://help.intellisitesuite.com/Hydrocarbon/papers/1040.pdf>
- 19) http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_capacity
- 20) <http://www.jmcampbell.com/tip-of-the-month/2009/07/variation-of-natural-gas-heat-capacity-with-temperature-pressure-and-relative-density/>
- 21) <http://catalog.conveyorspneumatic.com/Asset/FLS%20Specific%20Heat%20Capacities%20of%20Gases.pdf>
- 22) http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_conductivity
- 23) Fourier's Law and the Heat Equation (ppt)
- 24) http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_conduction
- 25) <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/11458.pdf>
- 26) <http://physiclessons.blogspot.gr/2013/05/maxwell-boltzmann.html>
- 27) http://el.wikipedia.org/wiki/Νόμος_Στέφαν-Μπόλτςμαν
- 28) http://el.wikiversity.org/wiki/Φυσικές_σταθερές
- 29) http://en.wikipedia.org/wiki/Acentric_factor
- 30) http://en.wikipedia.org/wiki/Dipole#Molecular_dipoles
- 31) <http://users.sch.gr/kassetas/zzzzzzzphVanDerWAALS.htm>
- 32) http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_flux
- 33) http://petrowiki.org/Gas_formation_volume_factor_and_density
- 34) https://www.e-education.psu.edu/png520/m18_p7.html
- 35) https://el.wikipedia.org/wiki/Κλίμακα_Ρεωμύρου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Natural-gas_processing
2. http://www.sulzer.com/ms/-/media/Documents/ProductsAndServices/Separation_Technology/Mist_Eliminators/Brochures/Gas_Liquid_Separation_Technology.pdf
3. <http://www.pall.com/main/fuels-and-chemicals/liquid-gas-separation-technology-5205.page>
4. http://www.gea.com/global/en/productgroups/centrifuges-separation_equipment/centrifugal-separator/index.jsp
5. [https://en.wikipedia.org/wiki/Separator_\(oil_production\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Separator_(oil_production))
6. <http://gripservices.net/wp-content/uploads/2012/04/API-Spec-12J-Oil-Gas-Separators-7th-Ed-1989.pdf>

7. http://www.gea.com/global/en/products/nozzle-separators-oil_gas.jsp
8. http://www.dyna-therm.com/centrifugal_separator_gas_liquid_separator.html
liquid/gas coalescers
9. <https://en.wikipedia.org/wiki/Coalescer>
10. <https://www.pall.com/pdfs/Fuels-and-Chemicals/GDS116.pdf>
11. <http://www.hydro-carbon.nl/separation-of-water-from-hydrocarbons/gascoalescers-gc-series/>
12. [https://en.wikipedia.org/wiki/Agitator_\(device\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Agitator_(device))
13. [https://en.wikipedia.org/wiki/Baffle_\(heat_transfer\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Baffle_(heat_transfer))
14. https://en.wikipedia.org/wiki/Acid_gas
15. <http://www.chemeng.ntua.gr/courses/pngtech/files/Natural%20Gas%20Processing-1.pdf>
16. http://www.chemeng.ntua.gr/courses/pngtech/news_files/webdoc_23_2_6_2014.pdf
17. https://en.wikipedia.org/wiki/Amine_gas_treating
18. <https://en.wikipedia.org/wiki/Amine>
19. <https://en.wikipedia.org/wiki/Diethanolamine>
20. <https://en.wikipedia.org/wiki/Ethanolamine>
21. https://en.wikipedia.org/wiki/Methyl_diethanolamine
22. <https://en.wikipedia.org/wiki/1-Amino-2-propanol>
23. http://wiki.olisystems.com/wiki/Benfield_process
24. http://www.digitalrefining.com/literature/1000588,Gas_treating_natural_gas_syngas_Ing_Sulfinol_process.html
25. <https://el.wikipedia.org/wiki/Θειόλες>
26. [https://el.wikipedia.org/wiki/Ppm_\(μονάδα_μέτρησης\)](https://el.wikipedia.org/wiki/Ppm_(μονάδα_μέτρησης))
27. <https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfolane>
28. https://en.wikipedia.org/wiki/Glycol_dehydration
29. https://en.wikipedia.org/wiki/Triethylene_glycol
30. https://en.wikipedia.org/wiki/Diethylene_glycol
31. https://en.wikipedia.org/wiki/Ethylene_glycol
32. https://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylene_glycol
33. https://en.wikipedia.org/wiki/Pressure_swing_adsorption
34. <https://el.wikipedia.org/wiki/Προπένιο>
35. https://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_gas
36. https://en.wikipedia.org/wiki/Molecular_sieve
37. https://en.wikipedia.org/wiki/Activated_carbon
38. https://en.wikipedia.org/wiki/Nitrogen_rejection_unit
39. <https://en.wikipedia.org/wiki/Distillation>
40. https://en.wikipedia.org/wiki/Porous_glass
41. <https://en.wikipedia.org/wiki/Zeolite>
42. <https://en.wikipedia.org/wiki/Montmorillonite>
43. https://en.wikipedia.org/wiki/Borosilicate_glass
44. https://en.wikipedia.org/wiki/Sol-gel#The_sol-gel_process
45. <https://el.wikipedia.org/wiki/Χρωματογραφία>
46. <http://chimikoergastirio.blogspot.gr/2009/11/s.html>
47. https://en.wikipedia.org/wiki/Clay_minerals
48. <https://en.wikipedia.org/wiki/Tetrahedron>
49. <https://en.wikipedia.org/wiki/Octahedron>

50. [https://en.wikipedia.org/wiki/Cracking_\(chemistry\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Cracking_(chemistry))
51. [https://en.wikipedia.org/wiki/Cracking_\(chemistry\)#Hydrocracking](https://en.wikipedia.org/wiki/Cracking_(chemistry)#Hydrocracking)
52. <https://en.wikipedia.org/wiki/Nitrogen>
53. https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_exchanger
54. <https://en.wikipedia.org/wiki/Turboexpander>
55. <http://www.ipt.ntnu.no/~jsg/undervisning/naturgass/oppgaver/Oppgaver2011/11Ahmad.pdf>
56. https://en.wikipedia.org/wiki/Dew_point
57. https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrocarbon_dew_point
58. [https://en.wikipedia.org/wiki/Saturation_\(chemistry\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Saturation_(chemistry))
59. <http://www.gas-compressor.info/gas-processing/lean-oil-absorption-process.html>
60. <http://encyclopedia.che.engin.umich.edu/Pages/SeparationsChemical/Adsorbers/Adsorbers.html>
61. <https://en.wikipedia.org/wiki/Condenser>
62. <https://en.wikipedia.org/wiki/Merox>
63. https://en.wikipedia.org/wiki/UOP_LL_C
64. <https://en.wikipedia.org/wiki/Disulfide>
65. <http://www3.epa.gov/gasstar/documents/nruoptimization.pdf>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

1. <https://en.wikipedia.org/wiki/Reservoir>
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Petroleum_reservoir
3. <http://www.britannica.com/science/gas-reservoir>
4. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:747973/FULLTEXT01.pdf>
5. http://petrowiki.org/Solution_gas_drive_reservoirs
6. http://petrowiki.org/Waterdrive_reservoirs
7. http://petrowiki.org/Immiscible_gas_injection_in_oil_reservoirs
8. https://en.wikipedia.org/wiki/Gas_reinjection
9. http://petrowiki.org/Gas_cap_drive_reservoirs
10. https://en.wikipedia.org/wiki/Darcy%27s_law
11. https://en.wikipedia.org/wiki/Equation_of_state
12. https://en.wikipedia.org/wiki/Structural_trap
13. [https://en.wikipedia.org/wiki/Water_injection_\(oil_production\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Water_injection_(oil_production))
14. http://petrowiki.org/Displacement_efficiency_of_immiscible_gas_injection
15. <http://www.slideshare.net/MohamedSalah69/classification-of-reservoirs>
16. http://petrowiki.org/Oil_fluid_characteristics
17. https://en.wikipedia.org/wiki/API_gravity
18. <http://www.soilvision.com/subdomains/unsaturatedsoil.com/Docs/Research%20Papers/2002/Conference%20Papers/Representation%20and%20estimation%20of%20the%20shrinkage%20curve.pdf>
19. http://petrowiki.org/Oil_formation_volume_factor
20. https://en.wikipedia.org/wiki/Volume_units_used_in_petrolium_engineering
21. [https://en.wikipedia.org/wiki/Barrel_\(unit\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Barrel_(unit))
22. <https://en.wikipedia.org/wiki/Acre-foot>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5, ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

1. https://en.wikipedia.org/wiki/LNG_carrier
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Ballast_tank
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Cofferdam#Naval_architecture

4. <https://www.marineinsight.com/marine-safety/protection-against-explosion-the-i-g-system/>
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Flammability_limit
6. http://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia_1252006/html/eiareport/Part1/Sec1_3_v2.htm
7. https://en.wikipedia.org/wiki/Inert_gas
8. https://en.wikipedia.org/wiki/Floating_production_storage_and_offloading
9. https://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied_natural_gas
10. https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_of_combustion#Lower_heating_value
11. https://en.wikipedia.org/wiki/Rapid_phase_transition
12. https://en.wikipedia.org/wiki/Wobbe_index
13. http://www.igu.org/sites/default/files/node-page-field_file/Guidebook%20to%20Gas%20Interchangeability%20and%20Gas%20Quality%2C%20August%202011.pdf
14. https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/ogi/Ing-solutions/brochure-ogi-Ing-liquefaction.pdf?sfvrsn=6b46eb45_8
15. http://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=322
16. [http://petrowiki.org/Liquified_natural_gas_\(LNG\)](http://petrowiki.org/Liquified_natural_gas_(LNG))
17. <https://en.wikipedia.org/wiki/Refrigerator>
18. https://en.wikipedia.org/wiki/Joule–Thomson_effect
19. <http://Inglicensing.conocophillips.com/what-we-do/Ing-technology-licensing/Pages/optimized-cascade-process.aspx>
20. <http://www.airproducts.com/~media/downloads/article/L/en-Ing-selecting-a-suitable-process-article.pdf?industryItem=industries&subIndustryItem=Energy&segment=LNG&applicationChildItem=Ing-applications&productLevel3=Liquefaction-Process-and-Technology>
21. http://petrowiki.org/Offshore_and_subsea_facilities
22. http://petrowiki.org/Compliant_and_floating_systems#Girassol_FPSO
23. http://petrowiki.org/Subsea_systems
24. http://petrowiki.org/Fixed_steel_and_concrete_gravity_base_structures
25. http://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=299
26. <https://www.marineinsight.com/types-of-ships/what-is-fpso-floating-production-storage-and-offloading-system/>
27. http://www.modec.com/fps/fps_o/about/index.html
28. [**FPSO-Presentation\(pdf document\)**](#)
29. http://orbit.dtu.dk/files/123768883/paper_ecos2016_fpso.pdf
30. https://en.wikipedia.org/wiki/Polytropic_process
31. https://en.wikipedia.org/wiki/Adiabatic_process
32. <https://en.wikipedia.org/wiki/Compressor>
33. <https://en.wikipedia.org/wiki/Turbine>
34. https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_exchanger

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

1. <http://www.tilestwra.com/apokalyfthike-xartis-ta-kitasmata-ydrogonanthrakon-ke-orykton-stin-elliniki-aoz/>
2. <http://folders.skai.gr/main/theme?locale=el&id=166>

3. https://www.huffingtonpost.gr/entry/chresa-koitasmata-13-tris-eero_gr_5a9ae2cce4b0a0ba4ad3d6f2
4. <http://www.capital.gr/epixeiriseis/3200370/6-1-geotrupana-gia-2-2-dis-barelia-petrelaiou-stin-ellada>
5. <https://energypress.gr/news/gia-proti-fora-pragmatika-stoiheia-gia-koitasmata-fysikoy-aerioy-notios-tis-kritis>
6. <http://www.zougla.gr/greece/article/kitasmata-aksias-17-tris-evro-se-ionio-ke-notia-kriti>
7. <http://www.kathimerini.gr/910720/article/oikonomia/ellhnikh-oikonomia/entondie8nes-endiaferon-gia-ereynes-ydrogonan8rakwn-sthn-ellhnikh-aoz>
8. https://el.wikipedia.org/wiki/Ερευνα_και_εκμετάλλευση_υδρογονανθράκων_στην_Ελλάδα
9. <https://www.helpe.gr/the-group/what-we-do/research-and-production-of-hydrocarbons/>
10. <http://www.academyofathens.gr/el/announcements/press-releases/20171121>
11. <https://energypress.gr/news/dr-konstantinos-nikolaoy-ereyna-ydrogonanthrakon-stin-ellada-istoriko-kai-prooptikes>
12. <https://energypress.gr/news/ypovlithikan-oi-prosfores-gia-tis-thalassies-periohes-total-exxonmobil-elpe-gia-kriti-kai>
13. <https://www.liberal.gr/arthro/27546/oikonomia/epicheiriseis/me-to-blemma-sto-koitasma-epsilon-i-Energean.html>
14. https://www.huffingtonpost.gr/2017/07/09/oikonomia-ydrogonathrakes_n_17444134.html
15. https://www.greekhydrocarbons.gr/en/ExplorationDevelopmentProduction_en.html#exploration
16. https://www.greekhydrocarbons.gr/en/LegalFiscal_en.html
17. https://www.tap-ag.gr/assets/07.reference_documents/greek/Leaflets/Greece%20leaflet_Technical_GR.pdf
18. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_oil_pipelines
19. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_natural_gas_pipelines
20. <http://www.kathimerini.gr/837097/article/epikairothta/politikh/poioi-kai-pws-dinoyn-energeia-sthn-ellada>
21. <http://desfa.gr/national-natural-gas-system/transmission>
22. http://www.icgb.eu/about/igb_project
23. <https://www.tap-ag.gr/Ο-Αγωγός/Το-ευρύτερο-πλαίσιο/Ο-Νότιος-Διάδρομος-Φυσικού-Αερίου>
24. https://en.wikipedia.org/wiki/Interconnector_Turkey-Greece-Italy
25. **ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ->Ειδική έκδοση 2018-Αλφαβητάρι των ελληνοτουρκικών σχέσεων-Τούρκικες διεκδικήσεις σε Αιγαίο και Ανατολική Μεσόγειο->Άγγελος Συρίγος**

26. Κατεβασμένα PDF αρχεία που αναφέρονται και στις πηγές:

brochure-o-ogi-Ing-liquefaction

Environmental impacts of the oil industry

Energy&Environment Chapter 2.K1

FPSO-Presentation

Guidebook to Gas Interchangeability and Gas Quality, August 2011

multiphase flow in porous media

paper_ecos2016_fpso

texnika-stoixeia-stathmwn-esmfa-el-rev-May-2018

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΤΟ 2030 ΜΕ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΤΟ 2050

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

1. J. Bear, "Dynamics of Fluids in Porous Media"(1972).
2. F. A. L. Dullien, "Porous Media. Fluid Transport and Pore Structure"(1979).
3. J. Hagoort, "Fundamentals of Gas Reservoir Engineering"(1988).
4. J. G. Speight, "Natural Gas. A Basic Handbook"(2007).
5. D. L. Katz, R. L. Lee, "Natural Gas Engineering. Production and Storage"(1990).
6. A. Kidnay, W. Parrish, "Fundamentals of Natural Gas Processing"(2006).
7. Saeid Mokhatab et. al., "Handbook of Liquefied Natural Gas"(2014).
3. S. K. Chakrabarti, "Handbook of Offshore Engineering"(2005).
7. S. Chandrasekaran, "Health, Safety, and Environmental Management in Offshore and Petroleum Engineering"(2016).
10. T. Ahmed, "Equations of State and PVT Analysis"(2007).
11. X. Wang, M. Economides, "Advanced Natural Gas Engineering"(2009).