



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ -
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΦΩΤΕΙΝΗ Ε. ΣΑΚΕΛΙΑΔΟΥ

ΟΙ ΥΠΕΡΑΚΤΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ,
ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2020





ΦΩΤΕΙΝΗ Ε. ΣΑΚΕΛΙΑΔΟΥ

Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5270

ΟΙ ΥΠΕΡΑΚΤΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΚΑΙ
ΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,
Τομέα Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων

Ανδρέας Γεωργακόπουλος, Καθηγητής



© Φωτεινή Ε. Σακελιάδου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΟΙ ΥΠΕΡΑΚΤΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ - *Διπλωματική Εργασία*

© Foteini E. Sakeliadou, School of Geology, Department of Mineralogy - Petrology - Mining, 2020

All rights reserved.

FLOATING PRODUCTION, STORAGE AND OFFLOADING FACILITIES (FPSO) - *Bachelor Thesis*

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

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

Εικόνα Εξωφύλλου: FPSO Vessel Deployments (πηγή: <https://www.offshore-technology.com/>)



Περιεχόμενα

Περίληψη.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 Η ΦΥΣΗ ΚΑΙ Η ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ	8
1.2 Η ΕΡΕΥΝΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ	8
1.2.1 Μέθοδοι Γεωφυσικών Ερευνών	9
1.2.2 Οι Ερευνητικές Γεωτρήσεις	9
1.3 ΓΕΩΤΡΥΠΑΝΑ ΚΑΙ ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	11
1.3.1 Drilling Rigs	11
1.3.2 Production Platforms	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ	14
2.1 ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ	14
2.1.1 Εξοπλισμός "Wellhead"	17
2.1.2 Συστήματα Ελέγχου	19
2.1.3 Εγκατάσταση Ανωψωτικού Εξοπλισμού	20
2.2 ΥΠΕΡΑΚΤΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	20
2.2.1 Συστήματα Αγκύρωσης Θαλάσσιων Κατασκευών	25
2.2.2 Διορθωτικές διαδικασίες κατά την παραγωγή.....	27
2.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΑ ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ	28
2.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ	29
2.4.1 Επεξεργασία φυσικού αερίου	31
2.4.2 Επεξεργασία πετρελαίου	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ	41
3.1 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ	41
3.1.1 Αποθήκευση πετρελαίου	41
3.1.2 Αποθήκευση φυσικού αερίου και LNG.....	43
3.1.3 Αποθήκευση πετροχημικών και προϊόντων πετρελαίου	44
3.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	49
Βιβλιογραφία	53

Περίληψη

Στην εργασία αυτή εξετάζονται όλες οι υπεράκτιες διαδικασίες διάτρησης, παραγωγής, αποθήκευσης και διανομής των υδρογονανθράκων. Παρουσιάζεται ο τρόπος που δημιουργούνται οι υδρογονάνθρακες, η έρευνα που πραγματοποιείται προκειμένου να εντοπιστούν τα πιθανά κοιτάσματα καθώς και οι ερευνητικές γεωτρήσεις που λαμβάνουν χώρα ώστε να προβλέψουν αν είναι οικονομικώς απολήψιμο το υπάρχον κοίτασμα. Αν βεβαιωθεί ότι είναι εφικτή η παραγωγή, ακολουθούν επιπλέον γεωτρήσεις, μελέτες και δειγματοληπτικές δοκιμές. Επιπρόσθετα, γίνεται σαφής η διαφορά των εξεδρών διάτρησης Drilling Rigs και των παραγωγικών πλατφορμών Production Platforms. Αναλυτικότερα, εκθέτονται η γεωτρητική και παραγωγική διαδικασία σε συνάρτηση με όλο τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται. Τμήμα του εξοπλισμού αποτελεί και το σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου όλων των διεργασιών μέσω λογισμικών. Επιπλέον, δίνονται τα χαρακτηριστικά και τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα διάφορα είδη των υπεράκτιων κατασκευών καθώς και το υποθαλάσσιο σύστημα παραγωγής υδρογονανθράκων. Αναπόσπαστο τμήμα της παραγωγής αποτελεί η επεξεργασία τόσο του πετρελαίου και του φυσικού αερίου όσο και των πετροχημικών και των προϊόντων διύλισης. Γίνεται σαφής η σύνθεση αυτών καθώς και οι διεργασίες που ακολουθούνται προκειμένου να εξαχθούν με την απαιτούμενη ποιότητα στην αγορά. Τελευταίο τμήμα της εργασίας αποτελεί η χερσαία ή υπεράκτια αποθήκευση των υδρογονανθράκων και η μεταφορά αυτών μέσω αγωγών ή δεξαμενόπλοιων. Η εκφόρτωση τους γίνεται στις εγκαταστάσεις παραλαβής, συνήθως σε ειδικά διαμορφωμένα λιμάνια. Συμπερασματικά, γίνεται σαφές ότι οι πολύπλοκες διαδικασίες που ακολουθούνται είναι απαραίτητες ώστε να διανεμηθούν προϊόντα υψηλών προδιαγραφών που μπορούν να είναι ανταγωνιστικά στην παγκόσμια αγορά.



Abstract

This paper examines the offshore drilling, production, storage, and distribution processes of hydrocarbons. It presents how hydrocarbons are generated, the research carried out to identify potential deposits as well as the exploratory drilling that takes place to determine whether the existing deposit is economically viable. If production is confirmed to be feasible, additional drilling, studies, and sampling tests follow. Furthermore, the difference between Drilling Rigs and Production Platforms becomes clear. The drilling and production process is presented in more detail concerning all the equipment used. Part of the equipment is the system for monitoring and controlling all processes through software. Also, the characteristics and advantages of the various types of offshore structures as well as the subsea production system are given. An integral part of the production is the processing of oil and gas as well as petrochemicals and refining products. The composition of these and the processes followed to be exported with the required quality to the market becomes clear. The last part of the paper is for the onshore or offshore storage of hydrocarbons and their transport through pipelines or tankers. They are unloaded at the receiving facilities, usually in specially designed ports. In conclusion, this paper justifies that the complex procedures followed are necessary to distribute high-quality products that can be competitive in the global market.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η ΦΥΣΗ ΚΑΙ Η ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

Ο όρος "πετρέλαιο" προσδιορίζει τις ουσίες που βρίσκονται στη φύση και αποτελούνται κυρίως από υδρογονάνθρακες. Το πετρέλαιο συναντάται σε αέρια (φυσικό αέριο), υγρή (αργό πετρέλαιο) ή στερεή μορφή (άσφαλτος). Οι περισσότερες ενώσεις του πετρελαίου είναι οργανικής προέλευσης. Συνεπώς καθίσταται αναγκαία η ταχύτατη ταφή της ύλης σε περιβάλλον χωρίς την παρουσία οξυγόνου (συνθήκες που συναντώνται κυρίως σε θαλάσσια περιβάλλοντα) ώστε στο τέλος να μετασχηματιστεί η οργανική ύλη σε πετρέλαιο.

Μετά την ταφή της οργανικής ύλης και την έκθεσή της σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις, αποικοδομείται το οργανικό υλικό και μετατρέπεται σε μια ενδιάμεση ουσία η οποία ονομάζεται "κηρογόνο". Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία σε σχέση με το βάθος, τόσο προχωρά η ωρίμανση του κηρογόνου και ο μετασχηματισμός του σε αργό πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Μόλις σχηματιστεί το μεθάνιο (CH_4) δημιουργεί έντονες πιέσεις και κατ' επέκταση μικρορωγμές στο πέτρωμα επιτρέποντας στους σχηματισμένους υδρογονάνθρακες να μεταναστεύσουν. Με τη μετανάστευση οι υδρογονάνθρακες μεταφέρονται από το μητρικό πέτρωμα στο πέτρωμα - ταμιευτήρα. Ο ταμιευτήρας αποτελεί συνήθως ψαμμιτικό ή ασβεστολιθικό πέτρωμα και λειτουργεί ως φυσικός αποθηκευτικός χώρος των υδρογονανθράκων. Ωστόσο, για να παραμείνουν εκεί και να μην κινηθούν προς άλλες κατευθύνσεις, υπάρχουν οι σχηματισμοί ή οι παραμορφώσεις του υποβάθρου (πτυχές - ρήγματα - δόμοι άλατος) που εμποδίζουν τη διαφυγή τους (Shell Learning Centre, 2001).

1.2 Η ΕΡΕΥΝΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

Τα πρώτα βήματα της έρευνας των υδρογονανθράκων αφορούν στη συλλογή των γεωλογικών, γεωχημικών και γεωφυσικών δεδομένων μιας περιοχής πιθανής εμφάνισης κοιτασμάτων. Το κλειδί ωστόσο στη βιομηχανία του πετρελαίου, για την έρευνα των υδρογονανθράκων είναι η γεωφυσική. Η γεωφυσική χρησιμοποιείται προκειμένου να εντοπιστούν οι γεωλογικές δομές που υπάρχουν στο εσωτερικό της

Γης και παγιδεύουν τους υδρογονάνθρακες, δημιουργώντας τα επιθυμητά κοιτάσματα.

1.2.1 Μέθοδοι Γεωφυσικών Ερευνών

Υπάρχουν τρεις γεωφυσικές μέθοδοι έρευνας προκειμένου να καταστούν γνωστές οι γεωλογικές δομές που παγιδεύουν τους υδρογονάνθρακες. Αυτές είναι:

- Η βαρυντομετρική μέθοδος, η οποία μετρά τις μικρές μεταβολές του πεδίου βαρύτητας της Γης. Οι μεταβολές αυτές προκαλούνται από τις διακυμάνσεις της πυκνότητας του εσωτερικού της Γης, οι οποίες καταδεικνύουν τις διαφορετικές γεωλογικές δομές που συναντώνται.
- Η μαγνητική μέθοδος, η οποία ανιχνεύει τις μεταβολές του μαγνητικού πεδίου της Γης. Οι μεταβολές αυτές δημιουργούνται από τις διαφορετικές μαγνητικές ιδιότητες των πετρωμάτων.
- Η σεισμική μέθοδος, η οποία στηρίζεται στις σεισμικές ανακλάσεις που υποδηλώνουν τα γεωλογικά στρώματα με διαφορετικές ιδιότητες. Με την ερμηνεία των σεισμικών μετρήσεων, αναγνωρίζονται οι διαφορετικοί ανακλαστήρες, πραγματοποιείται χαρτογράφηση αυτών, εύρεση του βάθους των γεωλογικών στρωμάτων με βάση τον χρόνο της κάθε ανάκλασης, αναγνώριση αποθεμάτων στους σχηματισμούς και τέλος ποσοτικοποίηση των σεισμικών χαρακτηριστικών της περιοχής. Όλα αυτά οδηγούν τελικώς στον εντοπισμό των γεωλογικών δομών που ενδέχεται να περιέχουν υδρογονάνθρακες.

Παρά την χρησιμότητα των γεωφυσικών μετρήσεων υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί. Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις συνήθως περιορίζονται στην επιφάνεια της Γης και δεν δίνουν δεδομένα σε πολύ μεγάλα βάθη. Τα γεωφυσικά σήματα που καταγράφονται είναι κατά κύριο λόγο χαμηλής συχνότητας με αποτέλεσμα να γίνονται δύσχρηστα στην ερμηνεία τους και τέλος, το απλουστευμένο μοντέλο της Γης, το οποίο χρησιμοποιούν οι συσκευές σεισμικών μετρήσεων για τον υπολογισμό των σημάτων διαφέρει πολύ από την πραγματικότητα (Shell Learning Centre, 2001).

1.2.2 Οι Ερευνητικές Γεωτρήσεις

Για να αυξηθούν οι πιθανότητες εύρεσης οικονομικώς απολήψιμων υδρογονανθράκων καθίσταται απαραίτητο να πραγματοποιηθεί μια σειρά από γεωτρήσεις, που θα προσφέρουν πληθώρα πληροφοριών προς ανάλυση. Οι πληροφορίες αυτές θα αφορούν στα επιφανειακά και υπεδάφια σεισμικά δεδομένα, τους γεωλογικούς σχηματισμούς, τις ιδιότητες των ταμιευτήρων, την πρόβλεψη της παραγωγικότητας αυτών και την εκτίμηση του κόστους και της αποδοτικότητας του κοιτάσματος. Εάν τα παραπάνω αξιολογηθούν και προκύψει ότι το απόθεμα είναι οικονομικά ανακτήσιμο και ανταποκρίνεται στις τεχνικές, οικονομικές και γενικές απαιτήσεις της εκάστοτε εταιρείας εκμετάλλευσης, τότε θα πραγματοποιηθούν

επιπλέον γεωτρήσεις, δοκιμές και μελέτες σε κάθε κοίτασμα που έχει εντοπιστεί (Shell Learning Centre, 2001).

Οι δειγματοληπτικές δοκιμές αποτελούν το πιο σημαντικό κομμάτι των ερευνητικών γεωτρήσεων. Μία τεχνική δειγματοληπτικής δοκιμής αποτελεί η δοκιμή παραγωγής γεώτρησης ή αλλιώς Drill Stem Testing (DST). Με τη μέθοδο DST γίνονται γνωστά τα χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα, όπως η διαπερατότητα, η πίεση, οι φραγμοί που συναντώνται, τα ρευστά, η ακτίνα διεύρυνσης του ταμιευτήρα και η παραγωγική ικανότητα των σχηματισμών του (Drill Stem Testing). Η διαδικασία που ακολουθείται για τη δοκιμή DST είναι απλή. Αφαιρείται ο γεωτρητικός πολφός και το στέλεχος του τρυπανιού από την στήλη και τοποθετείται το εργαλείο DST. Στη συνέχεια ανοίγει μία βαλβίδα μειώνοντας την πίεση στο στέλεχος που τοποθετήθηκε στην επιφανειακή πίεση, ωθώντας το ρευστό να ανέβει στην επιφάνεια (Wikipedia). Με τη δειγματοληψία των ρευστών της γεώτρησης αποκτούνται πολύτιμες πληροφορίες που αφορούν τις ιδιότητες του ταμιευτήρα, την κατανομή των ρευστών μέσα σε αυτόν και την πίεση. Ωστόσο, στη δοκιμή αυτή υπάρχει το εξής μειονέκτημα: δεν πραγματοποιείται αεροστεγώς η διαδικασία με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος διαφυγής αερίου. Άλλες μέθοδοι αποτελούν το "Wireline Test", που είναι η πιο γρήγορη και ανέξοδη δοκιμή, και το "Production Test", που είναι πολυέξοδη δοκιμή και προσφέρει τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Κατά τη διάρκεια των ερευνητικών γεωτρήσεων λαμβάνουν χώρα πολλαπλές πυρηνοληψίες, οι οποίες βοηθούν στις μετρήσεις του πορώδους και της διαπερατότητας του κάθε σχηματισμού, της συνεκτικότητας των κόκκων, της πίεσης, του συντελεστή πήξης και του εκθέτη κορεσμού. Οι δύο τελευταίες μετρήσεις καθορίζουν την ηλεκτρική αντίσταση του γεωλογικού σχηματισμού. Η πυρηνοληψία σε μία γεώτρηση είναι ιδιαίτερα δαπανηρή. Γι' αυτό το λόγο υπάρχει φθηνότερη τεχνική η οποία προσφέρει πληροφορίες για τη λιθολογία και τον τύπο των ρευστών (εύκολη διαφοροποίηση πετρελαίου - φυσικού αερίου) και ονομάζεται Sidewall Sampling (=πλευρική πυρηνοληψία). Η πλευρική πυρηνοληψία έχει τον περιορισμό ότι λόγω της μηχανικής καταστροφής του δείγματος, αυτό δε θα είναι κατάλληλο για τις ποσοτικές μετρήσεις των ιδιοτήτων των πετρωμάτων.

Άλλη δοκιμή που πραγματοποιείται μετά τη διάτρηση είναι οι ηλεκτρικές διαγραφίες ή αλλιώς Wireline Logging. Σύμφωνα με αυτήν, κατεβαίνει ένας φωρατής (logging tool) συνδεδεμένο με καλώδιο στη γεώτρηση και μετρά ορισμένες ιδιότητες του σχηματισμού. Τα μετρούμενα σήματα που εκπέμπονται από τον/τους φωρατές επεξεργάζονται από έναν υπολογιστή που βρίσκεται στην επιφάνεια. Οι μετρήσεις που προκύπτουν αφορούν στο πάχος του ταμιευτήρα, το πορώδες, τον κορεσμό των υδρογονανθράκων και μετά από υπολογισμούς μετριέται και η διαπερατότητα του σχηματισμού. Ένας εναλλακτικός τρόπος για την παραπάνω διαδικασία αποτελεί η μέτρηση κατά τη διάτρηση ή αλλιώς Measurement While Drilling (MWD). Η μέτρηση των ιδιοτήτων του σχηματισμού, αυτή τη φορά, πραγματοποιείται με αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι πάνω στο στέλεχος του τρυπανιού και οι πληροφορίες που προκύπτουν μεταδίδονται στην επιφάνεια υπό μορφή παλμών

πίεσης που μετακινούνται προς τα πάνω μέσω της διατρητικής στήλης. Ειδάλλως τα δεδομένα καταγράφονται κάτω και ανακτώνται με τη χρήση καλωδίου (Shell Learning Centre, 2001).

Εκτός από τις ηλεκτρικές διαγραφίες που αναλύθηκαν παραπάνω, υπάρχουν και οι διαγραφίες γεωτρητικού πολφού. Η δειγματοληπτική αυτή δοκιμή ονομάζεται Mud Logging και αφορά στην ανάλυση των θρυμμάτων των γεωλογικών σχηματισμών, τα οποία συμπαρασύρονται στην επιφάνεια από την κυκλοφορία του πολφού στη γεώτρηση. Συγκεκριμένα, ο γεωτρητικός πολφός περνά μέσω του σωλήνα διάτρησης, διέρχεται από το κοπτικό άκρο και ανεβαίνει μέσω της γεώτρησης. Εκτός από τη βοήθεια στην περιγραφή των πετρωμάτων που συναντά το διατρητικό στέλεχος, ο πολφός έχει και άλλους ρόλους. Αυτοί είναι: ο καθαρισμός και η ψύξη του κοπτικού άκρου που ανεβάσει υψηλές θερμοκρασίες λόγω της τριβής, η λίπανση της διατρητικής στήλης αλλά και του κοπτικού άκρου για τη σωστή λειτουργία του και τέλος, η αποφυγή διαρροών αερίου και πετρελαίου, η οποία επιτυγχάνεται με τη σωστή σύσταση και το κατάλληλο βάρος του πολφού ούτως ώστε να επιτευχθεί ισορροπία με την πίεση της γεώτρησης και να μην προκληθεί έκρηξη (Devold, 2015).

1.3 ΓΕΩΤΡΥΠΑΝΑ ΚΑΙ ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Με τα γεωτρύπανα πραγματοποιούνται οι γεωτρήσεις για διάφορους σκοπούς είτε στην ξηρά είτε στη θάλασσα. Χρησιμοποιούν στην εύρεση και την έρευνα των γεωλογικών ταμιευτήρων διανοίγοντας ερευνητικές γεωτρήσεις, καθώς επίσης στην δημιουργία παραγωγικών γεωτρήσεων. Τα γεωτρύπανα είναι είτε κινητά σχετικά μικρού μεγέθους είτε σταθερά μεγάλων διαστάσεων (Kassinis, 2015). Παρακάτω θα αναφερθούν μόνο τα υπεράκτια γεωτρητικά συστήματα και θα γίνει σαφής η διαφορά μεταξύ των Offshore Drilling Rigs (κινητές εξέδρες υπεράκτιων γεωτρήσεων, οι οποίες μετακινούνται με τη βοήθεια φορτηγίδων/Barges και ασφαλίζονται προσωρινά σε κάθε επιθυμητή θέση) και των Production Platforms (μόνιμες κατασκευές, οι οποίες βρίσκονται στερεωμένες στον πυθμένα της θάλασσας).

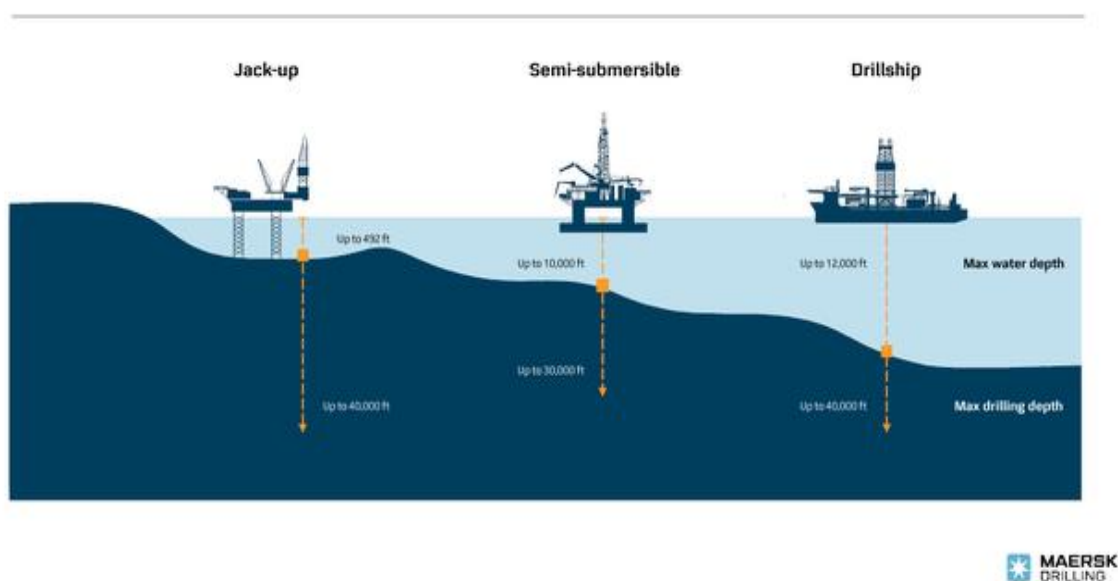
1.3.1 Drilling Rigs

Οι εξέδρες γεώτρησης αποτελούν κινητές κατασκευές οι οποίες είτε στερεώνονται στον πυθμένα της θάλασσας είτε επιπλέουν. Η πιο δημοφιλής εξέδρα διάτρησης είναι η πλατφόρμα "τύπου Jack Up", η οποία διαθέτει ψηλές βάσεις στήριξης - "πόδια", οι οποίες ανεβοκατεβαίνουν έτσι ώστε όταν μεταφέρεται η πλατφόρμα να έχει χαμηλά "πόδια" και όταν είναι να τοποθετηθεί στην επιθυμητή θέση, να κατεβαίνουν τα "πόδια" και να στερεοποιούνται δημιουργώντας μια προσωρινά σταθερή πλατφόρμα (What is the difference between an oil rig and an oil platform?: Theshippinglawblog, 2020).

Όλες οι κατηγορίες των Drilling Rigs είναι:

- Η σταθερή πλατφόρμα ή αλλιώς "τύπου Jack Up", η οποία στερεώνεται στον βυθό της θάλασσας και αναφέρθηκε παραπάνω,
- Η ημιβυθιζόμενη εξέδρα ή αλλιώς Semi-submersible, και
- Το γεωτρητικό σκάφος ή αλλιώς Drill Ship.

Τα δύο τελευταία Drilling Rigs επιπλέον στην επιφάνεια της θάλασσας (Λουκογεωργάκη, 2018).



Εικόνα 1 - Κατηγορίες Drilling Rigs [πηγή: <https://inbestia.com/>]

1.3.2 Production Platforms

Οι πλατφόρμες παραγωγής αποτελούν σταθερές κατασκευές, οι οποίες στερεώνονται σε μόνιμη θέση στο βυθό, και αφορούν στην άντληση και την παραγωγή των υδρογονανθράκων. Περιλαμβάνουν όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό για την επεξεργασία και την αποθήκευση των υδρογονανθράκων καθώς επίσης κάποιες φορές και τη μεταφορά των εμπορεύσιμων προϊόντων μέσω αγωγών ή τάνκερ. Εκτός του εξοπλισμού, οι πλατφόρμες αυτές περιλαμβάνουν χώρους που φιλοξενούν όλο το πλήρωμα και έτσι οι όποιες απαραίτητες εργασίες γίνονται σε λιγότερο χρόνο. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, οι πλατφόρμες είναι εξοπλισμένες και με γεωτρύπανο ούτως ώστε να πραγματοποιηθούν νέες γεωτρήσεις, εάν αυτό κριθεί απαραίτητο (Kassinis, 2015).

Οι πλατφόρμες για άντληση και παραγωγή υδρογονανθράκων και όχι για την όρυξη γεωτρήσεων είναι:

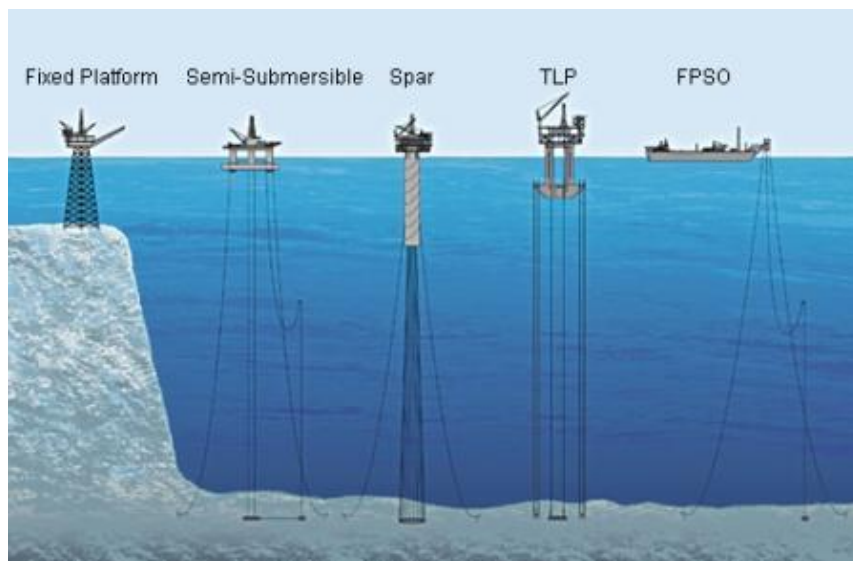
- Οι πλατφόρμες σταθερά στερεωμένες στον πυθμένα της θάλασσας και συγκεκριμένα οι εξής:

1. πλατφόρμες "τύπου δικτυώματος" ή αλλιώς Jacket Platforms
2. πλατφόρμες βαρύτητας ή αλλιώς Gravity Based Platforms
3. συμβατοί - εύκαμπτοι πύργοι ή αλλιώς Compliant Towers
4. Guyed Towers

Και,

- Οι πλωτές πλατφόρμες, οι οποίες περιλαμβάνουν σύστημα πρόσδεσης στον πυθμένα της θάλασσας και είναι οι εξής:
 1. Ημιβυθιζόμενες εξέδρες ή αλλιώς "τύπου Semi-submersible"
 2. πλατφόρμες με τεταμένους τένοντες ή αλλιώς "τύπου Tension Leg Platform" (TLP)
 3. πλατφόρμες επί ιστών ή αλλιώς "τύπου SPAR"
 4. σχήματος πλοίου (ship-shaped platforms) και συγκεκριμένα τα FPSOs (υπεράκτιες πλατφόρμες παραγωγής, αποθήκευσης και εκφόρτωσης)

(Λουκογεωργάκη, 2018)



Εικόνα 2 - Bottom Supported Platform και Floating Production Platforms [πηγή: <http://seacrane.us/>]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ

2.1 ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

Αρχικά, για τη δημιουργία μιας γεώτρησης απαιτείται η εγκατάσταση της σωλήνωσης οδηγού και η διάνοιξη της επιφανειακής γεώτρησης. Για τη διάνοιξη αυτή, είναι απαραίτητη η συναρμολόγηση της διατρητικής στήλης, η οποία θα τοποθετηθεί στο σημείο διάτρησης με τη βοήθεια του οδηγού γεώτρησης. Η διατρητική στήλη αποτελείται από το τρυπάνι (Drill Bit), τα αντίβαρα (Drill Collars), τα διατρητικά στελέχη (Drill Pipe) και το στέλεχος "Kelly" (Kassinis, 2015). Τα Drill Collars κρατούν ίσιο το τρυπάνι με το βάρος τους, βοηθούν ώστε η διάτρηση να πραγματοποιείται στην ευθεία και είναι άκαμπτα ώστε να μην προκαλείται κάποια ανεπιθύμητη κλίση στη γεώτρηση. Για την ενίσχυση του σκοπού των Drill Collars, αυτά σταθεροποιούνται ακόμη περισσότερο με τη βοήθεια του "Stabilizer", ενός κυλινδρικού στύλου με σταθεροποιητικές λεπίδες (Shell Learning Centre, 2001).

Με την περιστροφή των διατρητικών στελεχών πραγματοποιείται και η κυκλοφορία του διατρητικού πολφού. Ο πολφός αντλείται από δεξαμενές και μετά τον καθαρισμό του από τα θρύμματα των πετρωμάτων της γεώτρησης, ανακυκλώνεται και ανακυκλοφορεί στη διατρητική στήλη. Η σύνθεση του ημίρρευστου αυτού πολφού είναι: κονιοποιημένοι άργιλοι (μπετονίτης), πετρέλαιο ή νερό και διάφορα χημικά πρόσθετα όπως η καυστική σόδα, ο βορίτης, ο λιγνίτης και πολυμερή. Τα συστατικά του διατρητικού πολφού εξαρτώνται από τα είδη των πετρωμάτων της γεώτρησης και τις ανάγκες που εμφανίζονται σε κάθε στάδιο της διαδικασίας της διάτρησης (Devold, 2015).

Στο κατώτερο μέρος της διατρητικής στήλης βρίσκεται το κοπτικό άκρο, το οποίο διατρύπα τα πετρώματα. Υπάρχουν τέσσερα είδη κοπτικών άκρων: τα "Drag Bits", τα οποία χρησιμεύουν στη διάτρηση χαλαρών σχηματισμών, τα "Roller Cutter Bits", τα οποία αποτελούνται από τρεις κώνους και χρησιμοποιούνται στη διάτρηση πετρωμάτων, τα "Diamond Bits", τα οποία αποτελούνται από συμπαγή πολυκρυσταλλικά διαμάντια PDC συνδεδεμένα με καρβίδιο του βολφραμίου (χάλυβας υψηλής αντοχής) και είναι κατάλληλα για τη διάτρηση σκληρών σχηματισμών και, τέλος, τα "Special Bits", τα οποία προορίζονται για ειδικούς σκοπούς όπως η διάνοιξη οπών (Shell Learning Centre, 2001).

Επόμενο βήμα στην όρυξη μιας γεώτρησης, αποτελεί η σωλήνωση της επιφανειακής γεώτρησης και η τσιμεντώση αυτής. Στην κορυφή αυτής της επιφανειακής σωλήνωσης, εγκαθίσταται ένας αποτροπέας εκρήξεων BOP (Blow-Out Preventer). Η συσκευή αυτή αποτελείται από υδραυλικές βαλβίδες που σφραγίζουν αποτελεσματικά τη γεώτρηση. Σε υπεράκτιες γεωτρήσεις, τοποθετείται στον πυθμένα της θάλασσας και εμποδίζει την διαρροή αερίων από τη γεώτρηση. Η διαρροή αυτή θα οδηγούσε σε επικίνδυνη έκρηξη.

Στη συνέχεια ακολουθεί η διάτρηση και η σωλήνωση της υπόλοιπης γεώτρησης (Well Casing), η οποία συμβάλλει στη στερεοποίηση των τοιχωμάτων της γεώτρησης, την αποφυγή τυχόν διαρροών των υδρογονανθράκων στην επιφάνεια και την στεγανοποίηση της γεώτρησης. Η διάμετρος της σωλήνωσης μειώνεται με το βάθος. Ωστόσο, το πολύ μεγάλο μέγεθος των σωληνώσεων προς τα πάνω έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ταχύτητας της ροής όταν θα επέλθει το παραγωγικό μέρος της διαδικασίας. Κάθε φορά που σωληνώνεται ένα τμήμα της γεώτρησης (από πάνω προς τα κάτω), τσιμεντώνεται (Well Cementing), ούτως ώστε να επέλθει μεγαλύτερη στήριξη στη γεωτρητική οπή, να απομονωθεί η γεώτρηση και να μην υπάρξει κάποια διαρροή ή εισροή. (Devold, 2015) Αφού ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία, για να παραχθεί πετρέλαιο ή φυσικό αέριο, είναι απαραίτητο να αποκατασταθεί η επικοινωνία μεταξύ του ταμιευτήρα και της γεώτρησης. Για να συμβεί αυτό, δημιουργούνται οπές στους σωλήνες (διάτρηση Perforating). Οι οπές αυτές φτάνουν μέχρι το τσιμέντο ούτως ώστε να μετακινηθούν οι υδρογονάνθρακες από τον γεωλογικό σχηματισμό στην επιφάνεια της γεώτρησης (Beccari & Romano, 2005).

Η διαδικασία κατά την οποία η γεώτρηση έχει τη δυνατότητα να παράξει με ασφάλεια πετρέλαιο ή φυσικό αέριο ονομάζεται Completion (=ολοκλήρωση). Οι στόχοι της ολοκλήρωσης αφορούν τη βέλτιστη ροή των υδρογονανθράκων, την προστασία όλης της σωλήνωσης κατά μήκος της γεώτρησης, την απομόνωση των ζωνών παραγωγής και, αν χρειαστεί, την έκτακτη απομόνωση τμήματος ή και ολόκληρης της γεώτρησης. Η ολοκλήρωση μιας γεώτρησης ως παραγωγική περιλαμβάνει τις εξής εργασίες: τη διάτρηση (Perforating) που αναφέρθηκε παραπάνω, την εγκατάσταση σωλήνωσης και εξοπλισμού παραγωγής μαζί με την παραγωγική στήλη, την τοποθέτηση παραγωγικού εξοπλισμού επιφανείας "Wellhead" και την τσιμεντώση του τελικού βάθους της γεώτρησης (Kassinis, 2015). Υπάρχουν τέσσερα είδη Completion:

- Open Hole
- Slotted Liner
- Perforated Casing
- Multiple Zone

Open Hole Completion

Στη διαδικασία αυτή, είναι ανοιχτή ολόκληρη η ζώνη εξαλείφοντας έτσι τις δαπάνες για την πραγματοποίηση της διάτρησης. Η γεώτρηση, με αυτόν τον τρόπο,

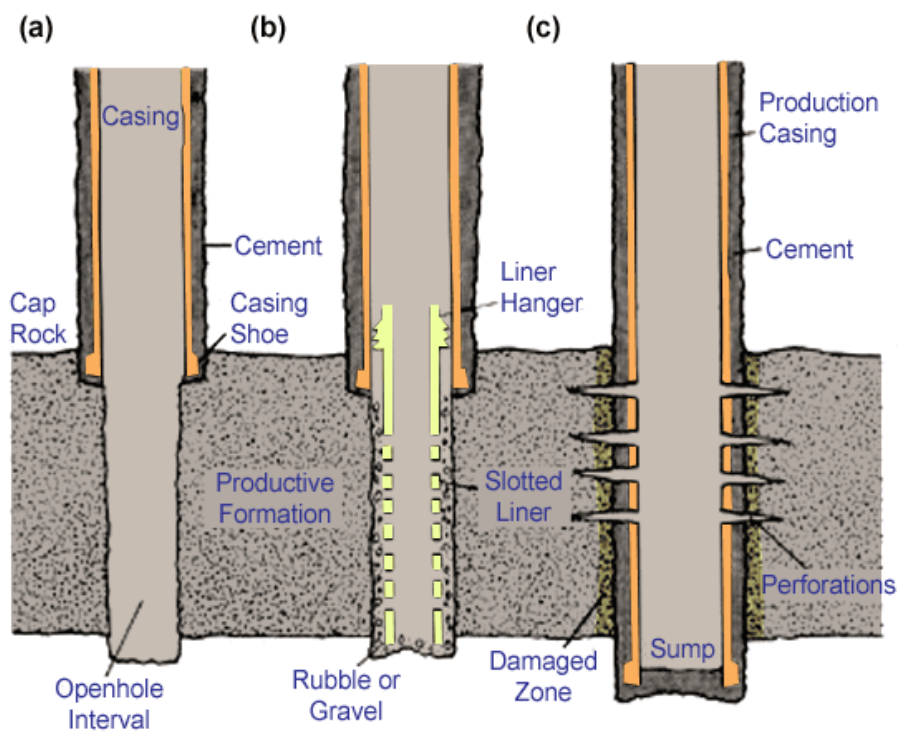
μπορεί να βαθύνει εύκολα και δεν απαιτείται η ερμηνεία των δεδομένων. Δεν προκαλείται καμία ζημιά στον γεωλογικό σχηματισμό, λόγω της απουσίας τσιμέντωσης. Ωστόσο, μπορεί να παραχθεί υπερβολική ποσότητα αερίου ή νερού καθώς δεν μπορεί να καταστεί ελεγχόμενη η γεώτρηση. Επίσης, δεν είναι δυνατή η απομόνωση των ζωνών παραγωγής και απαιτείται συνεχής καθαρισμός της γεώτρησης εάν οι σχηματισμοί είναι χαλαροί και θρυμματίζονται.

Slotted Liner Completion

Η διαδικασία αυτή είναι ιδανική για οριζόντια γεώτρηση κατά μήκος ενός μόνο στρώματος ενός γεωλογικού σχηματισμού.

Perforated Casing Completion

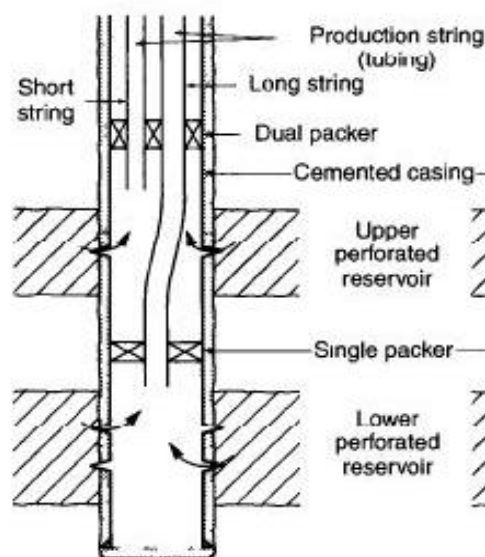
Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα αυτής της διαδικασίας είναι ότι καθίσταται δυνατός ο έλεγχος της παραγωγής του νερού ή των αερίων. Έτσι, οι λειτουργίες που λαμβάνουν χώρα είναι πιο ασφαλείς και πραγματοποιούνται επιλεκτικά σε κάθε τμήμα του γεωλογικού σχηματισμού. Ωστόσο, η διάμετρος που μπορεί να φτάσει η διάτρηση είναι περιορισμένη και κρίνεται απαραίτητη η σωστή ερμηνεία των δεδομένων. Τέλος, προστίθεται ότι η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ιδιαίτερα δαπανηρή.



Εικόνα 3 - Open Hole, Slotted Liner και Perforated Completions [πηγή: <http://hmf.enseeiht.fr/>]

Multiple Zone Completion

Η διαδικασία πραγματοποιείται ταυτόχρονα σε δύο διαφορετικούς σχηματισμούς -δύο στρώματα- και έχει μειωμένο κόστος.



Εικόνα 4 - Multiple Zone Completion (παραγωγή υδρογονανθράκων ταυτόχρονα από δύο ζώνες σχηματισμών)
[πηγή: <https://knowledgeproficiency.wordpress.com/>]

Specialized Completions

- Deep Water Completions
- High Pressure / High Temperature Completions
- Intelligent Completions

(Production Operations - Production Engineering "Completions")

2.1.1 Εξοπλισμός "Wellhead"

Ο εξοπλισμός επιφανείας Wellhead εγκαθίσταται στο άνοιγμα της γεώτρησης και ο ρόλος του περιλαμβάνει τη ρύθμιση και την παρακολούθηση της εξαγωγής των υδρογονανθράκων από τον γεωλογικό σχηματισμό καθώς και τον έλεγχο των πιέσεων στο εσωτερικό της γεώτρησης. Επίσης, έχει την ικανότητα να εμποδίζει τυχόν διαρροές έξω από τη γεώτρηση και να αποτρέπει τις εκρήξεις που θα απειλούσαν όλο το έργο και τον θαλάσσιο κόσμο.

Το σύνολο του παραγωγικού αυτού εξοπλισμού περιλαμβάνει τα εξής: το "Casing Head", το "Tubing Head", δηλαδή ο σωλήνας της παραγωγικής διαδικασίας, το "Tubing Hanger", το οποίο χρησιμοποιείται για να κρατά τη σωλήνωση σταθερά στη σωστή θέση και το "Christmas Tree". Το τελευταίο αφορά την κεφαλή του επιφανειακού εξοπλισμού και αποτελείται από πολλές βαλβίδες, οι οποίες ελέγχουν την παραγωγή των υδρογονανθράκων με το κλείσιμο και το άνοιγμά τους (Devold, 2015).

Ο εξοπλισμός Christmas Tree χωρίζεται σε δύο κατηγορίες: το "Dry Tree", το οποίο βρίσκεται τοποθετημένο σε εξοπλισμό επιφανείας εκτός νερού (Surface Wellhead) και το "Wet Tree", το οποίο βρίσκεται στον εξοπλισμό επιφανείας στον πυθμένα της θάλασσας (Subsea Wellhead). Τα συστήματα επιφανείας εκτός νερού

βρίσκονται πάνω στις πλατφόρμες παραγωγής ή επιπλέον σε μικρές εξέδρες κοντά σε αυτές, ενώ τα υποθαλάσσια συστήματα επιφανείας τοποθετούνται στον πυθμένα του βυθού της θάλασσας. Σε βαθιά ύδατα, το σύστημα του Wet Tree εγκαθίσταται από μακριά μέσω εργαλείου εγκατάστασης και συμβάλλει αποτελεσματικά στην παραγωγική ολοκλήρωση της γεώτρησης, ενώ σε ρηχά νερά, δύτες βοηθούν τόσο στην εγκατάσταση όσο και στη λειτουργία του συστήματος ελέγχου της παραγωγικής διαδικασίας. Ωστόσο, σε αντίθεση με τα συστήματα Wet Tree, τα Dry Tree έχουν αρκετούς περιορισμούς ως προς το βάθος που μπορούν να καλύψουν και ως προς την ανάπτυξή τους για τον έλεγχο της παραγωγής και της προσαρμογής των ανυψωτικών συστημάτων (Riser Systems). Τα συστήματα αυτά έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν τους υδρογονάνθρακες στην επιφάνεια (Wet Tree and Dry Tree Systems).



Εικόνα 5 - Dry Christmas Tree πάνω σε υπεράκτια πλατφόρμα παραγωγής υδρογονανθράκων [πηγή: <https://www.alamy.com/>]



Εικόνα 6 - Εξοπλισμός επιφανείας Wellhead σε υπεράκτια παραγωγή φυσικού αερίου [<https://www.exprogroup.com/>]



Εικόνα 7 - Υποθαλάσσιος εξοπλισμός Wellhead στον πυθμένα της θάλασσας [πηγή: <https://www.akersolutions.com/>]

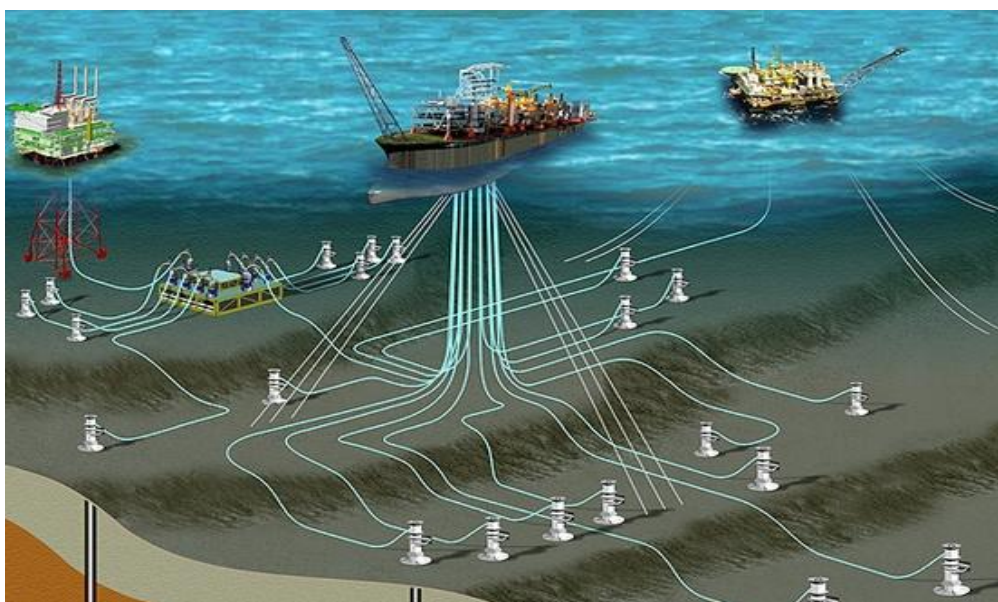
2.1.2 Συστήματα Ελέγχου

Τα συστήματα ελέγχου σε κάθε γεωτρητικό έργο αφορούν τη διασφάλιση της σωστής λειτουργίας των συστημάτων παραγωγής και επεξεργασίας των υδρογονανθράκων. Το κάθε λογισμικό επεξεργάζεται τα απαραίτητα δεδομένα και παρακολουθούνται όλες οι διεργασίες από οθόνες στο δωμάτιο ελέγχου. Τα συστήματα ελέγχου χωρίζονται σε κατηγορίες. Αυτές είναι:

- ❖ Το σύστημα ασφαλείας των λειτουργιών, το οποίο εντοπίζει τα σφάλματα των χειριστών και τις βλάβες των μηχανημάτων, ανιχνεύει τις μεταβολές του περιβάλλοντος όπως είναι οι πυρκαγιές και απομονώνει το σύστημα παραγωγής αν υπάρξει κάποια διαρροή υδρογονανθράκων.
- ❖ Το σύστημα τερματισμού έκτακτης ανάγκης, το οποίο σταματά όλες τις διαδικασίες που είναι σε εξέλιξη σε περίπτωση που εμφανιστεί οποιοδήποτε πρόβλημα που απειλεί την ασφάλεια.
- ❖ Το σύστημα ανίχνευσης φωτιάς και αερίου και το σύστημα πυρόσβεσης.
- ❖ Το σύστημα ελέγχου ακρίβειας των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα. Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται μέσα από διαγράμματα των λειτουργιών των οργάνων και του εξοπλισμού της παραγωγής, της επεξεργασίας και της μεταφοράς των υδρογονανθράκων.
- ❖ Το σύστημα τηλεμετρίας μέσω του οποίου γίνεται η συλλογή και ο έλεγχος των δεδομένων, καθώς επίσης, πραγματοποιείται η επικοινωνία ευρείας περιοχής σε περίπτωση που είναι μεγάλος ο χώρος παραγωγής.
- ❖ Το σύστημα SCADA, το οποίο διαχειρίζεται τους αγωγούς μεταφοράς των υδρογονανθράκων. Συγκεκριμένα, συλλέγει δεδομένα και ελέγχει την πίεση, τη θερμοκρασία και τη ροή μέσα στους αγωγούς. Αν υπάρξουν αποκλίσεις από τις κατάλληλες τιμές για κάθε μέτρηση, τότε έχουν γίνει διαρροές και ανιχνεύεται το μέγεθος και η ακριβής θέση αυτών (Devold, 2015).

2.1.3 Εγκατάσταση Ανυψωτικού Εξοπλισμού

Μόλις ξεκινήσει η παραγωγή των υδρογονανθράκων, σε περίπτωση που η ολοκλήρωση της γεώτρησης είναι υποθαλάσσια, δηλαδή με τον επιφανειακό εξοπλισμό Wellhead τοποθετημένο στον πυθμένα της θάλασσας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο μεταφέρονται μέσω υποβρύχιων αγωγών από την κεφαλή του επιφανειακού συστήματος "Wet Christmas Tree" στους σωλήνες ανύψωσης "Risers". Οι υποβρύχιες γραμμές ροής ονομάζονται Flow lines, συνδέουν τις γεωτρήσεις με τους σταθμούς συλλογής των πλατφορμών παραγωγής και η συνέχεια αυτών είναι οι αγωγοί ανύψωσης, οι οποίοι μεταφέρουν τους υδρογονάνθρακες από το υποθαλάσσιο σύστημα στην επιφάνεια. Οι αγωγοί (Risers) αυτοί αποτελούν ιδιαίτερα εύκαμπτους σωλήνες για να καθίστανται ασφαλείς οι παραγωγικές διαδικασίες και να μην καταστραφούν οι αγωγοί από τις μετακινήσεις που υφίστανται από τα κύματα και τα θαλάσσια ρεύματα, καθώς επίσης και τον αέρα (Kassinis, 2015).



Εικόνα 8 - Υποθαλάσσιες γραμμές ροής Flow lines και ανυψωτικοί αγωγοί Risers [πηγή: <https://tnpetroleo.com.br/>]

2.2 ΥΠΕΡΑΚΤΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Αναλυτικά οι βασικές υπεράκτιες κατασκευές είναι:

- i. Το "Shallow Water Complex", το οποίο συντελείται από πολλές ανεξάρτητες πλατφόρμες που συνδέονται μεταξύ τους με γέφυρες δημιουργώντας ένα θαλάσσιο συγκρότημα, το οποίο περιλαμβάνει τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, τις πλατφόρμες επεξεργασίας των υδρογονανθράκων, τον επιφανειακό εξοπλισμό Wellhead και τον ανυψωτικό εξοπλισμό Riser. Οι πλατφόρμες αυτές είναι κατάλληλες για την παραγωγή σε ρηχά νερά.



Εικόνα 9 - Shallow Water Complex (Σύστημα πλατφορμών στο South Bassein περίπου 80 χιλιόμετρα δυτικά-βορειοδυτικά της Βομβάης της Ινδίας) [πηγή: <http://www.upcem.com/>]

- ii. Το "Gravity Base", που αφορά μία τεράστια σταθερή κατασκευή από σκυρόδεμα η οποία είναι τοποθετημένη στον πυθμένα του βυθού της θάλασσας και περιλαμβάνει υποθαλάσσιους χώρους αποθήκευσης πετρελαίου. Επίσης, το μεγάλο κατάστρωμα που διαθέτει έχει τις εγκαταστάσεις για όλες τις απαραίτητες διαδικασίες παραγωγής.



Εικόνα 10 - Gravity Base Structure (Πλατφόρμα παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου στη Βόρεια Θάλασσα, Νορβηγία) [πηγή: <https://structurae.net/>]

- iii. Το "Compliant Tower", που αποτελεί έναν στενό, εύκαμπτο πύργο που μπορεί να ανταπεξέλθει στις αντίζοες συνθήκες των κυμάτων και του ανέμου. Ενδείκνυται για βαθιά νερά (500-1000m βάθος) καθώς η κατασκευή απορροφά τις πιέσεις του νερού και του αέρα.



Εικόνα 11 - Compliant Tower (Ο πρώτος συμβατός πύργος στην Αφρική, ανοιχτά της Αγκόλα / υπεράκτια πλατφόρμα γεώτρησης και παραγωγής) [πηγή: <https://www.kbr.com/>]

- iv. Το πλοίο FPSO, το οποίο αποτελεί αυτόνομη κατασκευή και δεν χρειάζεται στήριξη. Έχει τη δυνατότητα παραγωγής 10.000-200.000 βαρέλια/μέρα. Συντελείται από έναν κεντρικό πυργίσκο στον οποίο βρίσκονται οι εξοπλισμοί παραγωγής, ο εξοπλισμός επιφανείας Wellhead και ο ανυψωτικός εξοπλισμός του πυθμένα Riser. Καθώς οι εξοπλισμοί βρίσκονται επάνω στο πλοίο, γίνεται πιο ασφαλής η παραγωγή και το πλοίο μπορεί να μετακινείται από τα κύματα της θάλασσας και τον άνεμο χωρίς να υπάρχει κίνδυνος. Στο κατάστρωμα υπάρχει η μονάδα επεξεργασίας και η δεξαμενή αποθήκευσης των υδρογονανθράκων, οι οποίοι θα εκφορτωθούν στη συνέχεια σε δεξαμενόπλοια μεταφοράς ή σε ειδικούς αγωγούς μεταφοράς "Pipelines".



Εικόνα 12 - FPSO Ship (Νορβηγία) [πηγή: <https://www.eagleburgmann.com/>]

- v. Η "Tension Leg Platform (TLP)", η οποία είναι μία σταθερή κατασκευή που συγκρατείται με κάθετους τένοντες και στερεώνεται στον πυθμένα της θάλασσας με πασσάλους. Η κατασκευή έχει περιορισμένη κατακόρυφη κίνηση που σημαίνει ότι μπορεί να ανταπεξέλθει σε βάθος μέχρι 2000m.



Εικόνα 13 - Tension Leg Platform (Πλατφόρμα παραγωγής φυσικού αερίου στη θάλασσα της Νότιας Κίνας / Σύμφωνα με το Βιβλίο Guinness αποτελεί την ψηλότερη κατασκευή στον κόσμο) [πηγή: <https://www.fircroft.com/>]

- vi. Η "Semi-Submersible Platform", η οποία έχει δυνατότητα μεγαλύτερης κατακόρυφης αλλά και πλευρικής κίνησης με αποτέλεσμα να μπορεί να εγκατασταθεί σε βαθύτερα νερά σε σχέση με την πλατφόρμα TLP. Η παραγωγή των υδρογονανθράκων σε αυτήν την πλατφόρμα πραγματοποιείται με υποθαλάσσιες γεωτρήσεις και ο ανυψωτικός εξοπλισμός περιλαμβάνει εύκαμπτα (flexible) Risers.



Εικόνα 14 - Semi-Submersible Platform (Ημιβυθιζόμενη πλατφόρμα στη Βόρεια Θάλασσα) [πηγή: <https://www.wikiwand.com/>]

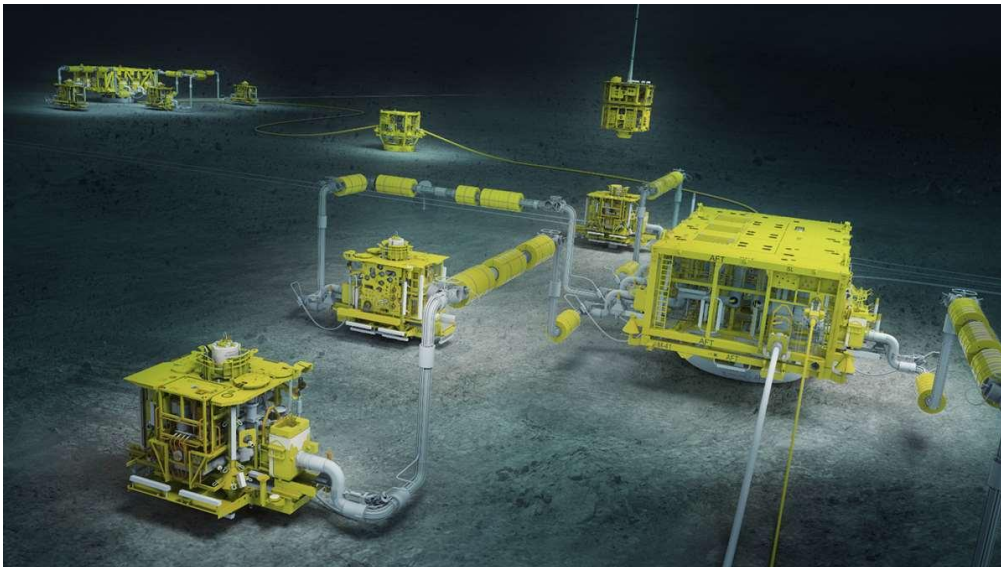
- vii. Το "SPAR", το οποίο αποτελεί κυλινδρικό δεξαμενόπλοιο με σταθερό κατάστρωμα. Συνδέεται στον πυθμένα της θάλασσας με σύστημα αγκύρωσης και η κυλινδρική του κατασκευή προσφέρει δυνατότητα κινήσεων έχοντας ως αποτέλεσμα την απορρόφηση της δύναμης πιθανών θαλάσσιων τυφώνων. Οι κατασκευές αυτές μπορούν να τοποθετηθούν σε βάθη νερού 300-3000m.



Εικόνα 15 - SPAR (Υπεράκτια πλατφόρμα στον Κόλπο του Μεξικού) [πηγή: <https://www.wikiwand.com/>]

Υποθαλάσσια Συστήματα Παραγωγής

Το υποθαλάσσιο σύστημα παραγωγής αποτελείται από πολλαπλές γεωτρήσεις στον πυθμένα της θάλασσας. Μέσω των γεωτρήσεων αυτών εξορύσσεται πετρέλαιο ή φυσικό αέριο και αυτά στη συνέχεια δεσμεύονται από πλατφόρμες παραγωγής (offshore) ή χερσαίες κατασκευές (onshore). Οι διατρήσεις γίνονται από κινητές πλωτές μονάδες γεωτρήσεων ενώ οι παραγόμενοι υδρογονάνθρακες μεταφέρονται μέσω αγωγών σε μονάδες επεξεργασίας. Το σύστημα των υποθαλάσσιων Risers επιτρέπουν την ανύψωση των υδρογονανθράκων στην επιφάνεια, στις δομές δέσμευσης (Devold, 2015).

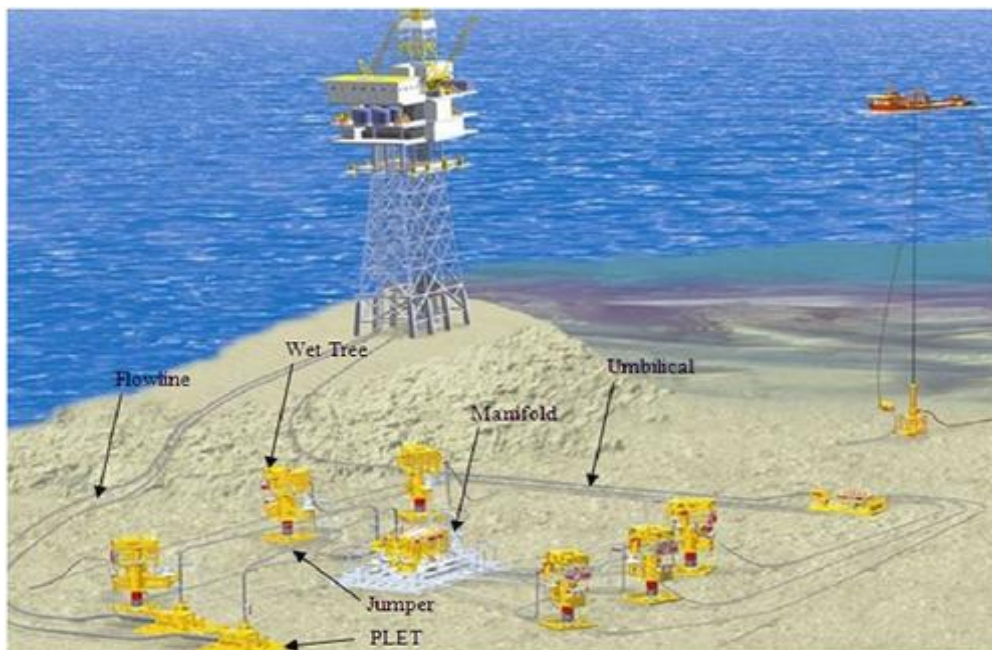


Εικόνα 16 - Υποθαλάσσιο Σύστημα Παραγωγής [πηγή: <https://www.akersolutions.com/>]

Η μέθοδος του υποθαλάσσιου συστήματος μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση χρημάτων καθώς υπάρχουν πολλές γεωτρήσεις που συνδέονται σε ένα σύστημα ελέγχου και κατ' επέκταση σε μία γραμμή ροής (Flow line). Η γραμμή ροής οδηγεί σε κάποια πλατφόρμα ή σε έναν αγωγό εκφόρτωσης (Pipeline), ο οποίος

φτάνει μέχρι τις μονάδες επεξεργασίας. Το υποθαλάσσιο σύστημα αποτελείται συγκεκριμένα από:

- + τον υποθαλάσσιο εξοπλισμό επιφανείας (Subsea Wellhead), ο οποίος είναι τοποθετημένος στον πυθμένα της θάλασσας και στον οποίο στερεώνεται το Wet Christmas Tree,
- + το υποθαλάσσιο Umbilical System, το οποίο αποτελεί μία δέσμη καλωδίων και αγωγών που μεταφέρουν ηλεκτρική και υδραυλική ισχύ εντός του παραγωγικού πεδίου,
- + το σύστημα ανύψωσης (Risers) των παραγόμενων υδρογονανθράκων,
- + το Manifold System, που λειτουργεί ως υποθαλάσσιος δρομολογητής ροής της παραγωγής μειώνοντας έτσι τον ανυψωτικό εξοπλισμό που απαιτείται,
- + το Jumper System, το οποίο βοηθά στη σύνδεση μεταξύ δύο συστημάτων έτσι ώστε να γίνει η μεταφορά των προϊόντων της γεώτρησης από το ένα σύστημα στο άλλο,
- + τα Flow lines, που είναι οι γραμμές ροής που συνδέουν το Manifold System με την εγκατάσταση επιφανείας και, τέλος,
- + το σύστημα ελέγχου, το οποίο ρυθμίζει όλες τις υποθαλάσσιες διαδικασίες και όλα τα συστήματα που αναφέρθηκαν, προσφέροντας ασφάλεια στην παραγωγή του πετρελαίου και του φυσικού αερίου (Lake, 2007).



Εικόνα 17 - Ο εξοπλισμός του υποθαλάσσιου συστήματος παραγωγής (Υποσημείωση: Το PLET σημαίνει Pipeline End Termination και αφορά τον τερματισμό του αγωγού μεταφοράς των υδρογονανθράκων) [πηγή: <http://www.oilfieldwiki.com/>]

2.2.1 Συστήματα Αγκύρωσης Θαλάσσιων Κατασκευών

Τα συστήματα αγκύρωσης των πλωτών κατασκευών χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη αφορά την στερέωση μιας πλατφόρμας σε σχήμα πλοίου με ένα σύστημα μονής καλωδίωσης από την πλώρη (Single Point Mooring System). Η

δεύτερη αφορά πάλι μία πλατφόρμα σε σχήμα πλοίου, η οποία στερεώνεται μέσω πολλών καλωδιώσεων αγκύρωσης στον πυθμένα της θάλασσας (Turret Mooring System). Και τέλος, η τρίτη αφορά τις υπόλοιπες πλατφόρμες, οι οποίες είτε στερεώνονται με καλωδιώσεις από τα άκρα των κατασκευών είτε από αρκετά σημεία περιμετρικά των πλωτών κατασκευών (Spread Mooring System). Οι αγκυρώσεις πραγματοποιούνται με αλυσίδες, συνθετικά σχοινιά από ίνες ή συρματόσχοινα και σκοπός τους είναι να κρατούν στη θέση τους είτε προσωρινά είτε μόνιμα τις πλατφόρμες που δεν εδράζονται στον πυθμένα. Οι αγκυρώσεις στον πυθμένα υλοποιούνται με άγκυρες, άγκυρες τύπου πασσάλου αναρρόφησης ή με τον συνδυασμό των παραπάνω (Λουκογεωργάκη, 2018).



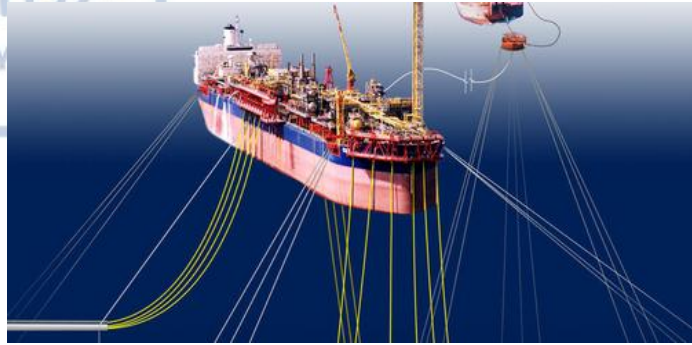
Εικόνα 18 - Single Point Mooring System [πηγή: <http://www.resinextrad.com/>]



Εικόνα 19 - Turret Mooring System (εσωτερικό) [πηγή: <https://2b1stconsulting.com/>]



Εικόνα 20 - Turret Mooring System (εξωτερικό) [πηγή: <http://d3739333.u52.houstonwebhost.net/>]



Εικόνα 21 - Spread Mooring System [πηγή: <http://fukymarintech.weebly.com/>]

2.2.2 Διορθωτικές διαδικασίες κατά την παραγωγή

Όταν μία γεώτρηση βρίσκεται σε λειτουργία για καιρό, μειώνεται η παραγωγικότητά της και αυξάνεται η ανάγκη για τη συντήρησή της. Η συντήρηση αφορά την ανέλκυση και αντικατάσταση του σωλήνα παραγωγής και του εξοπλισμού της γεώτρησης, τον καθαρισμό της γεωτρητικής οπής, την απομάκρυνση των ρευστών που δεν αποτελούν πετρέλαιο, την αύξηση της παραγωγικότητάς των υδρογονανθράκων, την εξάλειψη της υπερβολικής παραγωγής νερού ή αερίου, την επισκευή μηχανικών βλαβών και τον έλεγχο της άμμου που εισέρχεται στη γεώτρηση. Αφού ολοκληρωθούν τα παραπάνω και συνεχιστεί η παραγωγή μέχρι το οικονομικό όριο της εκάστοτε εταιρίας, εγκαταλείπεται η γεώτρηση. Στην εγκατάλειψη χρησιμοποιούνται προσωρινές βαλβίδες (temporary plugs), οι οποίες τοποθετούνται σε κάθε επίπεδο τσιμέντωσης. Σε περίπτωση που ανέβουν οι τιμές πώλησης του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, οι γεωτρήσεις μπορούν να κατασταθούν και πάλι εκμεταλλεύσιμες ("Workovers & Interventions, Production Engineering And Well Performance", M.SC Hydrocarbon Exploration And Exploitation Auth, 2016).

Κατά την ολοκλήρωση μιας γεώτρησης, η διαπερατότητα του σχηματισμού του ταμιευτήρα παρουσιάζεται αλλοιωμένη. Οι παράγοντες που οδηγούν σε αυτή την αλλοίωση είναι η εισροή των διατρητικών ρευστών, η παρουσία του διατρητικού πολφού και του τσιμέντου και ο κορεσμός σε αέριο. Η βελτίωση της διαπερατότητας οδηγεί σε αποκατάσταση της επιτυχημένης ροής της παραγωγής. Η ροή που εμφανίζεται στη γεώτρηση είναι συνήθως πολλαπλών φάσεων, πετρελαίου, νερού και αερίου. Η μέση πίεση του ταμιευτήρα ελέγχει αυτή τη φασική ροή και θεωρείται ότι παραμένει σταθερή. Αν αλλάξει η πίεση αυτή, αλλάζει και η απόδοση της παραγωγικής γεώτρησης (Schlumberger, 1998).

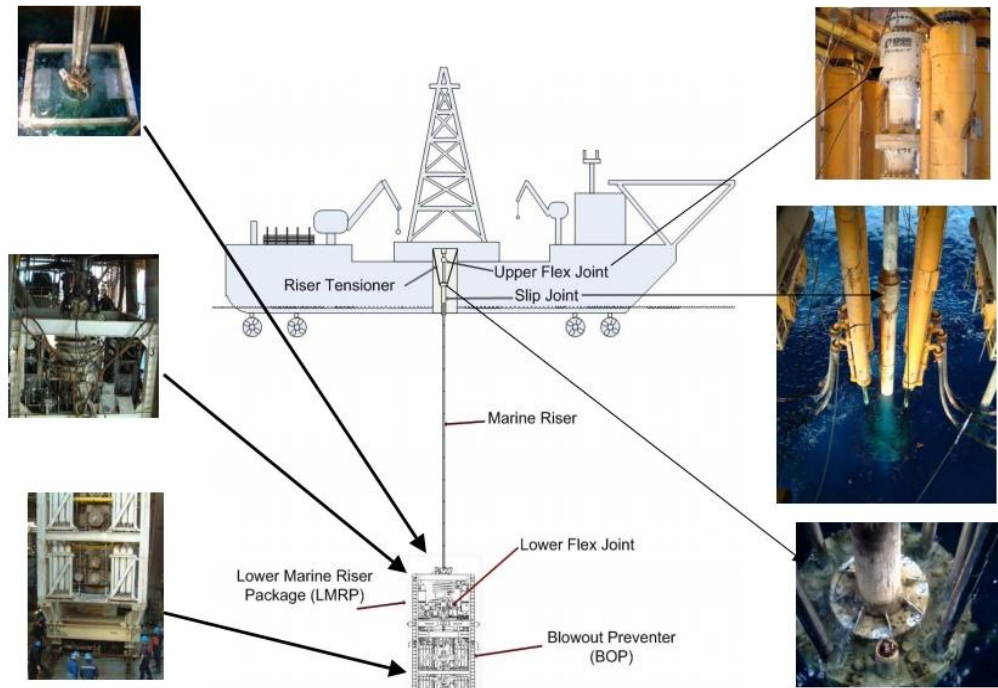
Προβληματικές Γεωτρήσεις

Υπάρχουν κάποιες αστοχίες, οι οποίες μπορούν να προκληθούν κατά τη διάτρηση μιας γεώτρησης και χρήζουν ιδιαίτερη προσοχή. Είναι πιθανό ο σωλήνας της διάτρησης να έρθει σε επαφή με περατό σχηματισμό πετρώματος και να απορροφηθεί το στέλεχος λόγω της διαφοράς στην πίεση του σχηματισμού και της διατρητικής στήλης. Επίσης, υπάρχει κίνδυνος να προκληθεί κάποια ανεπιθύμητη οπή

στα τοιχώματα της γεώτρησης λόγω στρέβλωσης του διατρητικού εξοπλισμού. Άλλη δυσκολία που πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι ότι κολλούν τα τρίμματα των σχηματισμών στις κοιλότητες της γεώτρησης εμποδίζοντας τη λειτουργία του τρυπανιού. Η ανικανότητα του πολφού να συγκρατήσει αυτά τα τρίμματα όταν σταματά η κυκλοφορία και η συσσώρευση του διατρητικού πολφού στα τοιχώματα της γεώτρησης μπορούν να οδηγήσουν στο σπάσιμο του τρυπανιού. Τέλος, αν κάποιο εξάρτημα καταστεί μη λειτουργικό πρέπει να αφαιρεθεί και να αντικατασταθεί άμεσα, ώστε να μπορέσει να συνεχιστεί ομαλά η γεώτρηση.

2.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΑ ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ

Τα γεωτρητικά έργα σε υπεράκτια περιβάλλοντα έχουν κάποιες παραπάνω δυσκολίες, οι οποίες θα πρέπει να αντιμετωπιστούν για να κυλήσει ομαλά η διατρητική διαδικασία. Συγκεκριμένα, είναι απαραίτητο να διατηρηθεί η θέση της γεωτρητικής εξέδρας ή της πλατφόρμας στην ακριβή τοποθεσία της γεώτρησης και να μην μεταβληθεί λόγω της δύναμης των κυμάτων, του αέρα ή των θαλάσσιων ρευμάτων. Εκτός από τη θέση, πρέπει να διατηρηθεί και η σωστή κλίση της γεώτρησης. Υπάρχουν κάποια συστήματα που βοηθούν στην αντιμετώπιση των προβλημάτων του βάθους και της κατακόρυφης διεύθυνσης της γεώτρησης. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν τον υποθαλάσσιο αποτροπέα εκρήξεων (BOP), τον σύνδεσμο "flex-joint" που ρυθμίζει την γωνιακή απόκλιση του BOP και του αγωγού Riser μέχρι 7°, τον αγωγό Marine Riser ο οποίος λειτουργεί ως οδηγός για τη γεώτρηση αλλά χρησιμεύει και ως αγωγός κυκλοφορίας του πολφού, ο σύνδεσμος "slip-joint" που επιτρέπει την κατακόρυφη κίνηση του πλωτήρα, το Riser Tensioner το οποίο εμποδίζει τη χαλάρωση του ανυψωτικού αγωγού και οι εύκαμπτες γραμμές ελέγχου (flexible control lines) οι οποίες ρυθμίζουν τις πιέσεις του αποτροπέα εκρήξεων από την επιφάνεια. Επιβάλλεται για τον έλεγχο της γεώτρησης να γίνει σωστά η σύνδεση του αποτροπέα εκρήξεων BOP (Blow-Out Preventer) ώστε να μην υπάρξει κίνδυνος διαρροής και πρόκλησης έκρηξης. Για τη σωστή εγκατάσταση του BOP στον πυθμένα της θάλασσας απαιτείται η τοποθέτηση στρώματος των ειδικών βαλβίδων σε μία ειδική βάση. Επίσης, είναι απαραίτητη η προετοιμασία όλου του προσωπικού και του εξοπλισμού σε περίπτωση επιδείνωσης καιρού και αναταράξεων της θάλασσας. Σε περιπτώσεις άσχημου καιρού, δυσχεραίνεται η μεταφορά προσωπικού και προμηθειών προς τις εγκαταστάσεις, καθώς επίσης τίθενται θέματα ασφάλειας όλου του έργου αλλά και του θαλάσσιου περιβάλλοντος (Shell Learning Centre, 2001).



Εικόνα 22 - Συστήματα αντιμετώπισης των προβλημάτων του βάθους της θάλασσας και της κατακόρυφης κίνησης
[πηγή: <https://dynamic-positioning.com/>]

2.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Πριν την αποθήκευση και τη διανομή των υδρογονανθράκων είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί η διύλιση του πετρελαίου και η επεξεργασία του φυσικού αερίου, ώστε να προκύψουν τα τελικά εμπορεύσιμα προϊόντα με τις καθορισμένες προδιαγραφές.

Αφού ολοκληρωθεί η απόληψη των υδρογονανθράκων από τις γεωτρήσεις λαμβάνει χώρα ο διαχωρισμός των πτητικών συστατικών των υδρογονανθράκων. Συγκεκριμένα, στο πρώτο στάδιο διαχωρισμού μειώνεται η ποσότητα του νερού κάτω από 5% σε συνθήκες υψηλής πίεσης. Ταυτόχρονα, απομακρύνεται το φυσικό αέριο. Αν η θερμοκρασία του συστήματος είναι χαμηλή, πραγματοποιείται θέρμανση αυτού, προτού ακολουθήσει το δεύτερο στάδιο του διαχωρισμού. Σε αυτό το στάδιο η πίεση βρίσκεται στις 10atm και η θερμοκρασία κάτω από τους 100°C. Με τις συνθήκες αυτές η ποσότητα του νερού μειώνεται κι άλλο, με αποτέλεσμα η περιεκτικότητα σε νερό να είναι μικρότερη από 2%. Αν μετά το πρώτο και δεύτερο στάδιο εντοπιστούν άλατα από το νερό στο πετρέλαιο, τότε πραγματοποιείται αφαλάτωση του πετρελαίου "Electrostatic Desalter". Εν συνεχεία, ολοκληρώνεται και ο τελευταίος διαχωρισμός δύο φάσεων κατά τον οποίο μειώνεται η πίεση του συστήματος. Μετά τα στάδια διαχωρισμού, το νερό βρίσκεται σε επίπεδα μικρότερα από 0,1%. Το νερό που προκύπτει με το πέρας της διαδικασίας, συλλέγεται και αφού καθαριστεί, διοχετεύεται στη θάλασσα.

Το ακατέργαστο φυσικό αέριο που συλλέγεται από τις παραπάνω διεργασίες διαχωρισμού αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και δευτερευόντως από μικρότερα κλάσματα βαρύτερων υδρογονανθράκων και ποικίλα συστατικά. Συνεπώς καθίσταται απαραίτητος ο διαχωρισμός του φυσικού αερίου σε κλάσματα εμπορικών προδιαγραφών. Για να συμβεί αυτό, το φυσικό αέριο διοχετεύεται σε συστήματα συλλογής μέσω των γραμμών ροής (Flow lines) και μεταφέρεται στις κεντρικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας του (Devold, 2015).

Πετροχημικά

Τα πετροχημικά προϊόντα αποτελούν τα πρωτογενή υλικά, τα χημικά τα οποία βρίσκονται στο πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Τα πετροχημικά χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, τις ολεφίνες (Olefins), οι οποίες είναι πετροχημικά παράγωγα του φυσικού αερίου και του αργού πετρελαίου, τα αρωματικά πετροχημικά (Aromatic Petrochemicals), τα οποία προέρχονται κυρίως από το αργό πετρέλαιο και δευτερευόντως από τον άνθρακα και το αέριο σύνθεσης (SynGas), το οποίο δημιουργείται μετά από αντίδραση του άνθρακα ή του μεθανίου με ατμό σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι ολεφίνες αποτελούνται από το αιθυλένιο και το προπυλένιο, τα οποία χρησιμοποιούνται ως βιομηχανικά χημικά και στην κατασκευή πλαστικών, καθώς επίσης και το βουταδιένιο, το οποίο συντελεί στην κατασκευή καουτσούκ. Τα αρωματικά πετροχημικά αναφέρονται στο βενζόλιο, το τολουόλιο και το ξυλόλιο. Το βενζόλιο χρησιμοποιείται στις βαφές και τα απορρυπαντικά, το τολουόλιο συντελεί στην κατασκευή εκρηκτικών και το ξυλόλιο βρίσκεται κυρίως στα πλαστικά και τις συνθετικές ίνες. Τέλος, το αέριο σύνθεσης αποτελεί μείγμα μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και υδρογόνου (H₂) και χρησιμοποιείται για την παραγωγή συνθετικών καυσίμων όπως είναι το πετρέλαιο κίνησης και η βενζίνη και για να κατασκευαστεί η αμμωνία και η μεθανόλη. Η χρήση της αμμωνίας είναι ευρεία στα λιπάσματα και τα εκρηκτικά ενώ η μεθανόλη χρησιμοποιείται ως συστατικό άλλων χημικών (Devold, 2015).



Εικόνα 23 - Δωλιστήριο πετροχημικών προϊόντων [πηγή: <https://lcdc-invirex.com/>]

2.4.1 Επεξεργασία φυσικού αερίου

Τα προϊόντα του ακατέργαστου φυσικού αερίου (Raw Gas) όπως προκύπτουν από τις διεργασίες επεξεργασίας είναι:

- το φυσικό αέριο με περιεκτικότητα μεθανίου CH_4 περίπου 90%,
- τα ρευστά φυσικού αερίου (Natural Gas Liquids - NGLs), τα οποία περιλαμβάνουν κυρίως αλκάνια και αλκένια,
- το υγροποιημένο αέριο πετρελαίου (Liquefied Petroleum Gas - LPG), το οποίο αποτελείται από προπάνιο και βουτάνιο,
- το υγροποιημένο φυσικό αέριο (Liquefied Natural Gas - LNG), το οποίο συντελείται από ποσοστό 66% βενζίνης, και τέλος,
- το συμπιεσμένο φυσικό αέριο (Compressed Natural Gas - CNG) το οποίο αποτελείται από μεθάνιο σε συνδυασμό με ποσοστό 25% βενζίνης.

Υπάρχουν πολλοί χαρακτηρισμοί για το φυσικό αέριο και εξαρτώνται από την υπαρξη και την περιεκτικότητα σε συγκεκριμένα συστατικά. Οι κατηγορίες που δημιουργούνται είναι οι εξής:

- το "υγρό" αέριο (Wet Gas), το οποίο αποτελεί ακατέργαστο φυσικό αέριο με περιεκτικότητα σε μεθάνιο CH_4 μικρότερη από 85%,
- το "ξηρό" αέριο (Dry Gas), το οποίο είναι ακατέργαστο αέριο αποτελούμενο από λιγότερα από δεκαπέντε λίτρα συμπυκνώματος,
- το "ξινό" αέριο (Sour Gas), το οποίο είναι ακατέργαστο αέριο με περιεκτικότητα σε υδρόθειο H_2S πάνω από 5,7mg και ποσοστό διοξειδίου του άνθρακα CO_2 20-40%,
- το "όξινο" αέριο (Acid Gas), το οποίο περιλαμβάνει όξινα αέρια, όπως το διοξείδιο του άνθρακα που βρίσκεται σε ποσοστό 90%, και τέλος,
- τα συμπυκνώματα (Condensates), τα οποία αποτελούν μίγματα υδρογονανθράκων και λοιπών στοιχείων.

(Devold, 2015)

Τα υδρογονανθρακικά αέρια του φυσικού αερίου είναι κυρίως το μεθάνιο, το αιθάνιο, το προπάνιο, το βουτάνιο, το πεντάνιο, καθώς επίσης και βαρύτερα αέρια. Προκειμένου να είναι εμπορεύσιμο το φυσικό αέριο είναι αναγκαίο να απομακρυνθούν από αυτό το διοξείδιο του άνθρακα, το υδρόθειο, το άζωτο, οι υδρατμοί και οι βαρύτεροι υδρογονάνθρακες. Ωστόσο, σε περίπτωση που το φυσικό αέριο είναι μεγάλης καθαρότητας, δεν χρειάζονται όλες οι διαδικασίες που θα αναλυθούν παρακάτω, παρά μόνο η διαδικασία της αφυδάτωσης πριν αυτό τοποθετηθεί στο σωλήνα μεταφοράς.

Όσον αφορά την απομάκρυνση των όξινων αερίων, δηλαδή του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και του υδρόθειου (H_2S), καθίσταται απαραίτητη, καθώς τα αέρια αυτά μπορούν να σχηματίσουν οξέα και όξινα διαλύματα με την παρουσία νερού. Ενώ το υδρόθειο είναι πάντοτε ανεπιθύμητο, δεν απαιτείται σε κάθε περίπτωση η

απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα. Ωστόσο, το διοξείδιο του άνθρακα σε συνδυασμό με το νερό γίνεται διαβρωτικό και δεν έχει θερμική αξία, ώστε να είναι χρήσιμο ως μέρος του φυσικού αερίου. Από την άλλη πλευρά, το υδρόθειο είναι ιδιαίτερα τοξικό και δηλητηριώδες αέριο, κάτι που το καθιστά απαγορευτικό στα οικιακά καύσιμα. Επίσης, σε συνδυασμό με το νερό μπορεί να γίνει κι αυτό διαβρωτικό και να προκαλέσει μεγάλες ζημιές στον εξοπλισμό μεταφοράς (οι αγωγοί έχουν όριο αντοχής στο υδρόθειο 4ppm H₂S) και όχι μόνο.

Το φυσικό αέριο ανάλογα με την ποσότητα υδρόθειου που διαθέτει χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, το "Sour Gas" και το "Sweet Gas". Το "Sour Gas" διαθέτει παραπάνω ποσότητα υδρόθειου σε σχέση με το επιτρεπτό βιομηχανικό όριο ενώ το "Sweet Gas" είτε δε διαθέτει καθόλου υδρόθειο είτε αυτό έχει απομακρυνθεί με την αντίστοιχη διαδικασία που ονομάζεται "Sweetening". Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι της παραπάνω διαδικασίας όπως η μέθοδος απορρόφησης (Absorption), η κρυογονική διεργασία (Cryogenic), η μέθοδος της προσρόφησης και η μέθοδος των μεμβρανών (Membranes). Η μέθοδος των μεμβρανών λειτουργεί παγιδεύοντας τους υδρογονάνθρακες σε μεμβράνες και απελευθερώνοντας τα όξινα αέρια.

Όσον αφορά την απομάκρυνση των υδρατμών από το φυσικό αέριο είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς η παρουσία τους μπορεί να προκαλέσει αρκετά προβλήματα στη μεταφορά του αλλά και στη χρήση αυτού ως τελικό προϊόν. Συγκεκριμένα, το νερό σε συνδυασμό με το φυσικό αέριο μπορεί να σχηματίσει ενυδατωμένα στερεά τα οποία λειτουργούν ως φραγμός στους αγωγούς μεταφοράς και μειώνουν κατά αυτόν τον τρόπο τη ροή του αερίου. Ακόμη, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, υπάρχει κίνδυνος να διαβρωθεί ο εξοπλισμός ή ακόμη και να δημιουργηθούν συμπυκνώματα υδρατμών που θα εμποδίζουν την γρήγορη ροή του φυσικού αερίου. Τέλος, οι υδρατμοί προκαλούν αύξηση του όγκου και κατά συνέπεια μειώνεται σημαντικά η θερμική αξία του φυσικού αερίου.

Η αφυδάτωση του φυσικού αερίου πραγματοποιείται με τρεις πιθανούς τρόπους. Ο πρώτος τρόπος αφορά την αφυδάτωση με ψύξη. Με τη διαδικασία αυτή μειώνεται η περιεκτικότητα του φυσικού αερίου σε υδρατμούς, καθώς σε συγκεκριμένη τιμή πίεσης μειώνεται η θερμοκρασία. Ο δεύτερος τρόπος χρησιμοποιεί στερεά ξηραντικά και αφορά την προσρόφηση των υδρατμών, κατά την οποία τα ξηραντικά έχουν την ικανότητα να κατακρατούν τα υγρά στην επιφάνεια. Σύμφωνα με αυτή τη διαδικασία, οι υδρατμοί του φυσικού αερίου αιχμαλωτίζονται και κρατούνται στην επιφάνεια των κατάλληλων ξηραντικών. Εν συνεχεία, ο τρίτος τρόπος αποτελεί παρακλάδι του δεύτερου και πραγματοποιείται με ρευστά ξηραντικά. Συγκεκριμένα, οι υδρατμοί έρχονται σε επαφή με κάποιο υγροσκοπικό ξηραντικό (συνήθως γλυκόλη, "glycol") και απομακρύνονται αποτελεσματικά από το φυσικό αέριο.

Άλλες διαδικασίες επεξεργασίας του φυσικού αερίου αφορούν: την απομάκρυνση του αζώτου, όταν αυτό βρίσκεται σε υπερβολικές ποσότητες, με τη μέθοδο της κρυογονικής απόσταξης είτε με τη μέθοδο της απορρόφησης με τη χρήση

ειδικού διαλύτη, την απομάκρυνση του υδραργύρου, το οποίο περιέχεται στο φυσικό αέριο είτε με τη μορφή ατμών είτε με τη μορφή αερολύματος, με κατάλληλα μοριακά κόσκινα και τέλος, τον χωρισμό του φυσικού αερίου (συγκεκριμένα αφορά την πρώτη ύλη του ακατέργαστου φυσικού αερίου που αποτελείται από αλκάνια και αλκένια, "NGL: natural gas liquids") σε κλάσματα, μέσω της διεργασίας των αποστακτικών στηλών. Με το πέρας της διεργασίας αυτής, απομακρύνονται και τα δύσσοσμα οργανικά αέρια που συνυπάρχουν με το επιθυμητό τελικό προϊόν (Ikoku, 1992).

Παραγωγή των ξεχωριστών NGLs

Η απομάκρυνση των ρευστών του φυσικού αερίου (βαρύτεροι υδρογονάνθρακες) πραγματοποιείται για δύο λόγους. Ο πρώτος είναι ότι μειώνουν την ποιότητα του εμπορεύσιμου φυσικού αερίου και ο δεύτερος ότι μπορούν να αποκτήσουν αξία στην αγορά μετά την επεξεργασία τους. Η απομάκρυνση των NGLs πραγματοποιείται συνήθως με μία διαδικασία στην οποία λαμβάνουν χώρα στρόβιλοι ακτινικής εισαγωγής. Οι στρόβιλοι αυτοί ονομάζονται στροβιλοεκτονωτές ή αλλιώς "Turbo-Expanders" και έχουν την ικανότητα να ανακτούν τα ρευστά του φυσικού αερίου αλλά και να ελέγχουν το σημείο δρόσου του υδρογονάνθρακα. Το σημείο δρόσου αποτελεί μία συνάρτηση της εσωτερικής θερμοκρασίας, της εξωτερικής θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας που υπάρχει στο χώρο. Όσο μεγαλύτερη είναι η σχετική υγρασία τόσο πιο πολύ παρατηρείται το φαινόμενο της συμπύκνωσης των υδρατμών. Συνεπώς, καθίσταται απαραίτητο να απομακρυνθούν τα ρευστά προκειμένου να μην υπάρξει υγροποίηση του φυσικού αερίου σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες από 0 έως -120°C.

Μία άλλη μέθοδος για την ανάκτηση των ρευστών του φυσικού αερίου αποτελεί η ψύξη με τη χρήση του προπανίου. Το προπάνιο λειτουργεί ως ψυκτικό μέσο και συντελεί στη συμπύκνωση των ρευστών και την απελευθέρωσή τους από το φυσικό αέριο.

Εν συνεχεία, μετά την ανάκτηση των NGLs, αυτά επεξεργάζονται με τη διαδικασία της κλασματικής απόσταξης. Συγκεκριμένα, διαχωρίζονται σε προϊόντα τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν και να διατεθούν στην αγορά. Η διαδικασία της κλασματικής απόσταξης πραγματοποιείται με βάση τα διαφορετικά σημεία βρασμού των υδρογονανθράκων των NGLs, όπως συμβαίνει και στη διύλιση του πετρελαίου που θα αναλυθεί παρακάτω (Kassinis, 2015).

Προς την εξαγωγή του φυσικού αερίου

Για να εξαχθεί το φυσικό αέριο μέσω αγωγών είναι απαραίτητο να συμπιεστεί και να μετρηθεί. Μετά την επεξεργασία του, αφού προηγηθεί η διαδικασία απομάκρυνσης των ρευστών και των συμπυκνωμάτων, το φυσικό αέριο οδηγείται στο τμήμα συμπίεσης. Στο τμήμα συμπίεσης, συμπιέζεται στην κατάλληλη πίεση και στη συνέχεια ψύχεται σε συγκεκριμένη πίεση και θερμοκρασία. Υπάρχουν τρεις τύποι συστημάτων συμπίεσης. Το πρώτο σύστημα περιλαμβάνει τους "Jet Compressors", το

δεύτερο τους "Rotary Compressors" και το τρίτο και πιο συχνά χρησιμοποιούμενο περιλαμβάνει τους "Reciprocating Compressors".



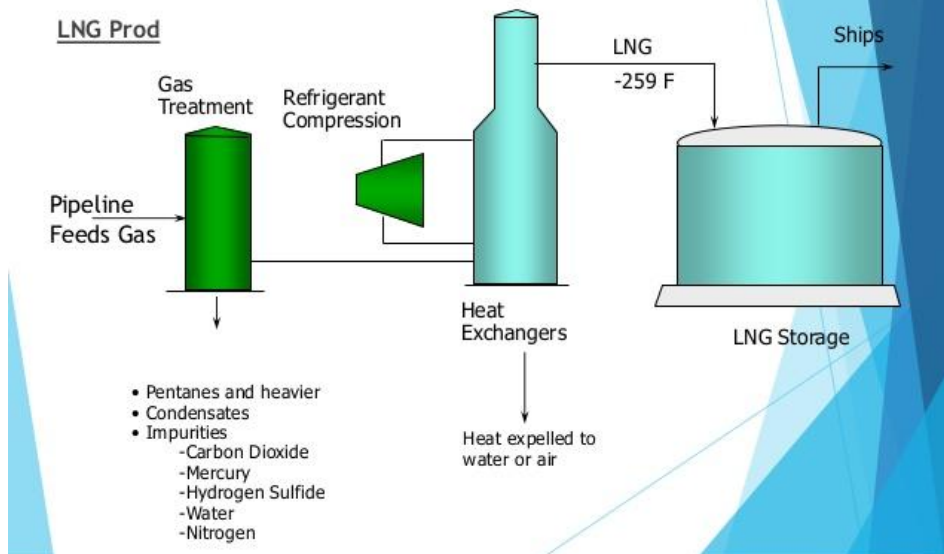
Εικόνα 24 - Σύστημα συμπίεσης φυσικού αερίου [πηγή: <https://www.gea.com/>]

Οι μετρήσεις του φυσικού αερίου αφορούν τη μέτρηση του όγκου του αερίου με τη βοήθεια της πίεσης και της θερμοκρασίας (volumetric measurement), τη μέτρηση του όγκου αλλά με πιο ακριβή μέθοδο, με τη βοήθεια ειδικού οργάνου (displacement metering) και τη μέτρηση της πίεσης και της ροής του αερίου (differential pressure methods) (Ikoku, 1992).

Υγροποίηση φυσικού αερίου

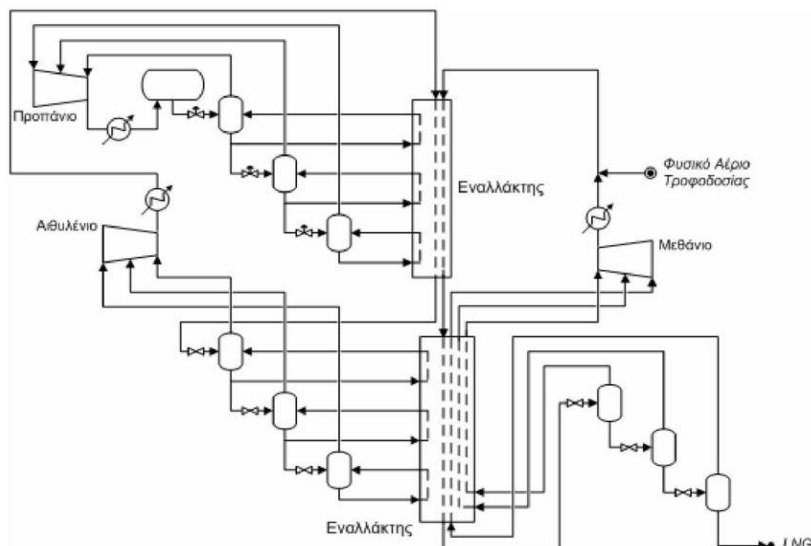
Το φυσικό αέριο, προκειμένου να μεταφερθεί και στη συνέχεια να αποθηκευτεί πιο εύκολα, υγροποιείται (παραγωγή LNG) περνώντας από κάποια στάδια ψύξης σε θερμοκρασία -162°C . Στην ουσία ο όγκος του αερίου μειώνεται κατά 600 φορές ώστε να μπορέσει να υγροποιηθεί. Η υγροποίηση αυτή επιλέγεται να πραγματοποιηθεί με τη μέθοδο της ψύξης και όχι της συμπίεσης καθώς το μεθάνιο, το οποίο αποτελεί το κυριότερο συστατικό του φυσικού αερίου, έχει υψηλή κρίσιμη πίεση. Πριν πραγματοποιηθεί η διαδικασία αυτή, αφαιρούνται όλα τα συστατικά του φυσικού αερίου που είτε θα πάγωναν είτε θα δημιουργούσαν ρύπους κατά την μετέπειτα καύση τους.

LNG - Production Process

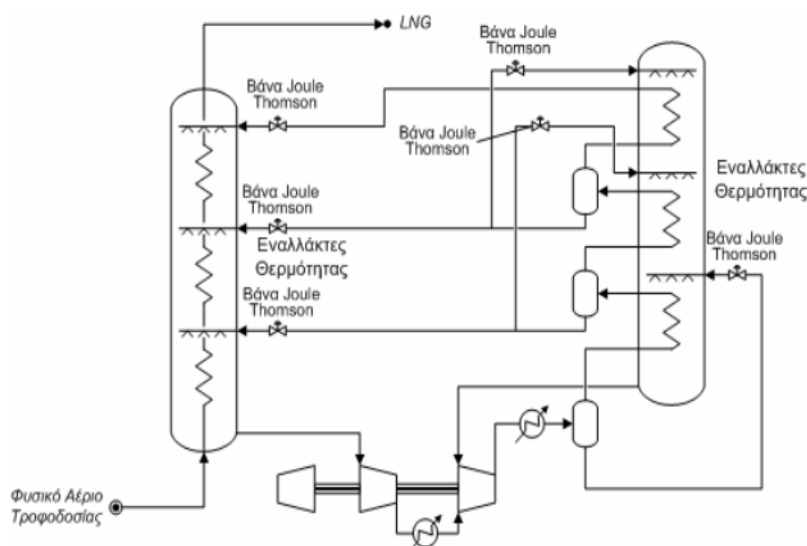


Εικόνα 25 - Διαδικασία παραγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου LNG (απομάκρυνση των ανεπιθύμητων ενώσεων και προσμειξεων - ψύξη του "καθαρού" φυσικού αερίου - συμπίκνωση του φυσικού αερίου σε υγρό)
[πηγή: <https://www.slideshare.net/>]

Υπάρχουν τρεις διαδικασίες που μπορούν να ακολουθηθούν για την υγροποίηση του φυσικού αερίου. Η πρώτη αφορά τις διεργασίες ψύξης σε σειρά. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, υπάρχουν τρία ψυκτικά τα οποία δημιουργούν μία ακολουθία που αποτελείται από εννιά βαθμίδες. Καθώς ελαττώνεται η πίεση του συστήματος αυτού, εξατμίζεται το ψυκτικό που έχει χρησιμοποιηθεί και αφαιρείται η θερμότητα από το φυσικό αέριο. Η θερμότητα αυτή αποβάλλεται είτε στον αέρα είτε στη θάλασσα. Η δεύτερη μέθοδος πραγματοποιείται με ένα μίγμα ψυκτικών και αφορά έναν πιο απλό σχεδιασμό και μια πιο οικονομική λύση. Ωστόσο, η διεργασία αυτή δεν αποδίδει αρκετά σε θερμοδυναμικό επίπεδο. Τέλος, η τρίτη διαδικασία συντελείται από διεργασίες με μίγμα ψυκτικών αλλά και προκαταρκτική ψύξη. Στην πραγματικότητα η μέθοδος αυτή αφορά δύο ξεχωριστά συστήματα ψύξης για την υγροποίηση του φυσικού αερίου.



Εικόνα 26 - Διεργασία ψύξης σε σειρά με ακολουθία 9 βαθμίδων [πηγή: <https://docplayer.gr/5553980-Kefalaio-4-ygropoiisi-fysikoy-aerioy.html>]



Εικόνα 27 - Διεργασία υγροποίησης φυσικού αερίου με μίγμα ψυκτικών [πηγή: <https://docplayer.gr/5553980-Kefalaio-4-ygropoiisi-fysikoy-aerioy.html>]

Η υγροποίηση του φυσικού αερίου συμβαίνει διότι συγκρίνοντας την διαχείριση και μεταχείριση του φυσικού αερίου ως αέριο και ως υγρό (Liquefied Natural Gas - LNG) για την αποθήκευση και τη μεταφορά του, βγαίνει το συμπέρασμα ότι το υγροποιημένο φυσικό αέριο συμπεριφέρεται πιο κατάλληλα. Συγκεκριμένα, το αέριο απαιτεί πολύ μεγάλους χώρους για την αποθήκευσή του ενώ το υγροποιημένο αέριο μπορεί να αποθηκευτεί κοντά σε αστικές περιοχές χωρίς να απαιτείται η κατασκευή επιπλέον δαπανηρών αγωγών. Ακόμη, ενώ η μεταφορά του αερίου πραγματοποιείται μόνο μέσω μεγάλων δικτύων αγωγών, η μεταφορά του LNG μπορεί να συμβεί σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις και ευκολότερα. Επί προσθέτως, το αέριο καθίσταται υπερβολικά ογκώδες όσον αφορά την ατμοσφαιρική πίεση με αποτέλεσμα να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο μεταφορών. Σε αντίθεση,

το υγροποιημένο φυσικό αέριο μπορεί να αξιοποιηθεί και ως πηγή ενέργειας αλλά και ως καύσιμο μεταφορών (Δ. Καρώνης).

Εξοπλισμός για την παραγωγή του υγροποιημένου φυσικού αερίου

Ο κυριότερος εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στη διαδικασία της υγροποίησης του φυσικού αερίου και στην παραγωγή του LNG είναι: οι αεροδυναμικοί βιομηχανικοί ανεμιστήρες ψύξης, η στήλη απομάκρυνσης των συμπυκνωμάτων που περιέχει το φυσικό αέριο, η μονάδα της υγροποίησης, οι εκτονωτές και οι δεξαμενές του υγροποιημένου φυσικού αερίου. Αρχικά, οι αεροδυναμικοί ανεμιστήρες, καθώς είναι παραταγμένοι παραλλήλως, ψύχουν το φυσικό αέριο που διαπερνά από αυτούς δημιουργώντας πολύ ψυχρά ρεύματα. Η ψύξη αυτή που υφίσταται το φυσικό αέριο είναι η πρώτη καθώς θα ακολουθήσει και η δεύτερη, όταν το αέριο θα εισέλθει στην κεντρική μονάδα υγροποίησής του. Πριν πραγματοποιηθεί η κύρια ψύξη και συμπύκνωση του αερίου αυτό τοποθετείται στη στήλη απομάκρυνσης των συμπυκνωμάτων, καθώς καθίσταται απαραίτητη η απομάκρυνση των συμπυκνωμένων υδρογονανθράκων από το φυσικό αέριο. Αυτοί οι συμπυκνωμένοι υδρογονάνθρακες μπορούν στη συνέχεια να συλλεχθούν και να διαχωριστούν. Επόμενο βήμα στη διαδικασία αποτελεί η εισαγωγή του "καθαρού" φυσικού αερίου στην κεντρική μονάδα υγροποίησης. Η μονάδα αυτή συντελείται από εναλλάκτες θερμότητας, οι οποίοι υγροποιούν το φυσικό αέριο και το φτάνουν στην τελική του μορφή ώστε να αποσυμπιεστεί στους θαλάμους εκτόνωσης και τέλος να αποθηκευτεί στις δεξαμενές LNG με τις οποίες θα εξαχθεί μέσω των ειδικών δεξαμενόπλοιων (Kassinis, 2015).



Εικόνα 28 - Εργοστάσιο παραγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου LNG [πηγή: <https://www.rigzone.com/>]

2.4.2 Επεξεργασία πετρελαίου

Η χημεία των υγρών υδρογονανθράκων

Τα συστατικά του αργού πετρελαίου συντελούνται από πληθώρα υδρογονανθράκων αλλά και λοιπών ενώσεων και στοιχείων. Οι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες του πετρελαίου (αλκάνια) εμφανίζουν χημική αδράνεια και σταθερότητα. Τα αλκάνια είναι: το μεθάνιο, το αιθάνιο, το προπάνιο και το βουτάνιο, τα οποία συναντώνται ως αέρια σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, οι υδρογονάνθρακες με εύρος ατόμων άνθρακα από 5 έως 17, οι οποίοι εμφανίζονται ως υγρά και οι υδρογονάνθρακες με αριθμό 18 ατόμων άνθρακα, οι οποίοι εμφανίζονται ως στερεά (κεριά). Οι κατηγορίες των αλκανίων είναι τρεις: τα κανονικά αλκάνια, τα ισο-αλκάνια και τα κυκλο-αλκάνια. Τα κυκλο-αλκάνια σχηματίζουν σταθερούς κλειστούς δακτυλίους ατόμων άνθρακα.

Όσον αφορά τους ακόρεστους υδρογονάνθρακες του πετρελαίου (αλκένια), δεν αποτελούν συστατικά του αργού πετρελαίου μετά την εξόρυξη και την συλλογή του, αλλά δημιουργούνται κατά τις διάφορες διαδικασίες επεξεργασίας του αργού πετρελαίου. Το ίδιο συμβαίνει και με τις αρωματικές ενώσεις, οι οποίες συντελούνται από τα παράγωγα του βενζολίου C_6H_6 .

Οι μη υδρογονανθρακικές ενώσεις του αργού πετρελαίου είναι οι θειούχες ενώσεις, οι αζωτούχες ενώσεις και οι οξυγονούχες ενώσεις.

Τα περισσότερα μη υδρογονανθρακικά συστατικά του πετρελαίου, όπως και τα πιθανά ίχνη μετάλλων τα οποία λειτουργούν ως ανασταλτικά στοιχεία κατά τη λειτουργία των καταλυτών, παρουσιάζονται ως ανεπιθύμητα και κρίνεται αναγκαία η απομάκρυνσή τους. Η απομάκρυνση αυτή πραγματοποιείται προκειμένου να μην δημιουργηθούν προβλήματα κατά την επεξεργασία του πετρελαίου και για την επίτευξη των υψηλότερων προδιαγραφών ποιότητας των προϊόντων του (Δ. Καρώνης).

Αξιολόγηση του αργού πετρελαίου πριν την επεξεργασία του

Το αργό πετρέλαιο που εξορύσσεται και συλλέγεται για την επεξεργασία του δεν εμφανίζεται ποτέ το ίδιο σε κάθε γεώτρηση. Γι' αυτό το λόγο, είναι πολύ σημαντική η αξιολόγηση της σύνθεσης και των πιθανών ιδιοτήτων που μπορεί να εμφανίζει το πετρέλαιο, πριν αυτό υποβληθεί σε διεργασίες επεξεργασίας. Η αξιολόγηση αυτή έχει ως στόχο την πρόβλεψη των πιθανών μεταβολών που μπορεί να υποστεί η σύνθεση του πετρελαίου με την πάροδο του χρόνου αλλά και κατά πόσο μετά την επεξεργασία του θα μπορέσει να προσφέρει τις απαραίτητες ποσότητες των προϊόντων με τις επιθυμητές υψηλές προδιαγραφές. Ακόμη, μέσω της διαδικασίας αυτής, προβλέπεται η σωστή σχεδίαση όλων των διεργασιών που θα ακολουθήσουν προκειμένου να πραγματοποιηθεί η κατάλληλη επεξεργασία του πετρελαίου. Τέλος, αξιολογείται το αργό πετρέλαιο με γνώμονα την παραγωγή πετρελαίου άλλων

εταιριών, ούτως ώστε να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στην δημιουργία προϊόντων μεγαλύτερης αξίας και οικονομικού οφέλους στο χώρο της αγοράς (Kassinis, 2015).

Η διύλιση του αργού πετρελαίου

Η επεξεργασία του αργού πετρελαίου πραγματοποιείται στα διυλιστήρια. Αρχικό στάδιο της επεξεργασίας αποτελεί η αποθείωση του αργού πετρελαίου. Εν συνεχεία, διοχετεύεται το αργό πετρέλαιο στην αποστακτική στήλη και ξεκινά η κλασματική απόσταξη. Η κλασματική απόσταξη του πετρελαίου αφορά τον διαχωρισμό των μορίων όλων των χημικών ενώσεων του αργού πετρελαίου. Η μέθοδος αυτή εκμεταλλεύεται τις διαφορετικές θερμοκρασιακές τιμές βρασμού των υδρογονανθράκων. Η διαδικασία της διύλισης έχει ως εξής: θερμαίνεται το πετρέλαιο σε υψηλές θερμοκρασίες μέχρις ότου να εξαερωθεί πλήρως και στη συνέχεια ψύχεται το αέριο μίγμα ούτως ώστε, στο εσωτερικό της αποστακτικής στήλης, οι υδρογονάνθρακες με τα πιο υψηλά σημεία βρασμού να υγροποιούνται πιο γρήγορα σε σχέση με τους υδρογονάνθρακες με τα πιο χαμηλά σημεία βρασμού. Ως αποτέλεσμα, παράγονται τα κλάσματα του πετρελαίου τα οποία είναι τα αέρια (προπάνιο / βουτάνιο), η βενζίνη, η κηροζίνη, το καύσιμο ντίζελ, το βαρύ πετρέλαιο εσωτερικής καύσης ή αλλιώς μαζούτ, το ορυκτέλαιο, οι παραφίνες και σαν ίζημα, η άσφαλτος (Molwave.chem.auth.gr).



Εικόνα 29 - Η κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου, τα προϊόντα της και οι χρήσεις των προϊόντων [πηγή: <http://molwave.chem.auth.gr/>]

Επόμενο στάδιο της επεξεργασίας αποτελεί ο μετασχηματισμός, ο οποίος πραγματοποιείται σε ορισμένα από τα προϊόντα της κλασματικής απόσταξης του αργού πετρελαίου. Τα προϊόντα αυτά είναι κυρίως η βενζίνη και τα υπόλοιπα καύσιμα των διαφόρων κινητήρων. Ο μετασχηματισμός περιλαμβάνει χημικές διεργασίες οι οποίες οδηγούν σε καύσιμα καλύτερης ποιότητας, δηλαδή σε καύσιμα υψηλών οκτανίων. Ωστόσο, εκτός από το γεγονός ότι τα προϊόντα πρέπει να έχουν υψηλές προδιαγραφές στην ποιότητά τους, είναι απαραίτητο να ακολουθούν

κάποιους περιβαλλοντικούς περιορισμούς ώστε να προκαλούν τη μικρότερη δυνατή επιβάρυνση στο περιβάλλον. Οι περιορισμοί που αφορούν την βενζίνη και το καύσιμο ντίζελ περιλαμβάνουν τα εξής:

- όσον αφορά την βενζίνη υπάρχει ανώτατο όριο του θείου, των αρωματικών, των χημικών ενώσεων όπως το βενζόλιο, των ολεφινών, της τάσεως των ατμών καθώς είναι ανάγκη να είναι πλήρως σταθεροποιημένη όταν θα διανεμηθεί και των οξυγονούχων ενώσεων για να μην υπάρξουν στη χρήση της βενζίνης μεγάλες ποσότητες εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα (CO).
- αναφορικά με το καύσιμο ντίζελ υπάρχουν όρια στις ποσότητες του θείου και των αρωματικών που μπορεί να διαθέτει ώστε να μην προκληθεί κάποια μόλυνση στο περιβάλλον.

(Αχιλιάς, Ελευθεριάδης, & Νικολαΐδης, 2015)

Ως τελική φάση της επεξεργασίας του πετρελαίου καλείται η ανάμειξη των προϊόντων με τα κατάλληλα πρόσθετα, ώστε να προκύψουν νέα βελτιωμένα προϊόντα που έχουν ζήτηση στην αγορά.



Εικόνα 30 - Παράδειγμα διυλιστηρίου αργού πετρελαίου [<https://www.marathonpetroleum.com/>]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

3.1 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

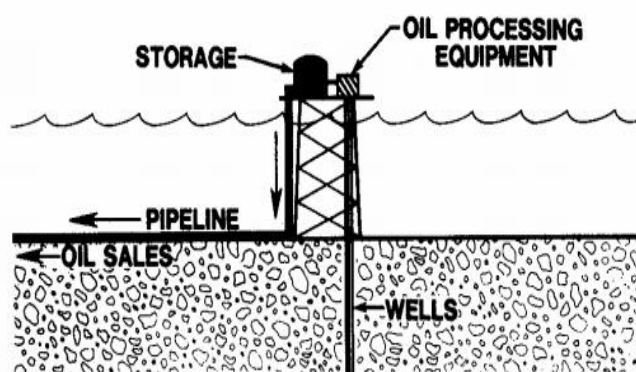
Η αποθήκευση των υδρογονανθράκων πραγματοποιείται είτε πριν είτε μετά την επεξεργασίας τους. Όταν θα συλλεχθούν από τη θάλασσα γεώτρηση είτε θα διοχετευτούν σε κέντρα επεξεργασίας εκτός των πλατφορμών είτε θα επεξεργαστούν σε μονάδες επεξεργασίας ενσωματωμένες στις πλατφόρμες παραγωγής και στα FPSO. Το πετρέλαιο αποθηκεύεται σε ειδικές δεξαμενές, οι οποίες είναι δυνατόν να βρίσκονται πάνω στην πλατφόρμα παραγωγής, στην επιφάνεια του πυθμένα της θάλασσας ακριβώς κάτω από την πλατφόρμα ή στα δεξαμενόπλοια. Ωστόσο, η αποθήκευση του φυσικού αερίου δεν είναι τόσο εύκολη. Αποθηκεύεται, αφού μεταφερθεί, σε υπόγεια ορυχεία, σε σπήλαια ή σε δόμους άλατος. Λόγω της δυσκολίας της αποθήκευσης του φυσικού αερίου είναι δυνατόν να αποθηκευτεί στις ενσωματωμένες εγκαταστάσεις αποθήκευσης στο εσωτερικό του συστήματος αγωγών της μεταφοράς του. Επίσης, αν το φυσικό αέριο υγροποιηθεί, χρησιμοποιούνται ειδικά σχεδιασμένες δεξαμενές για την αποθήκευσή του, οι δεξαμενές LNG (Devold, 2015).

3.1.1 Αποθήκευση πετρελαίου

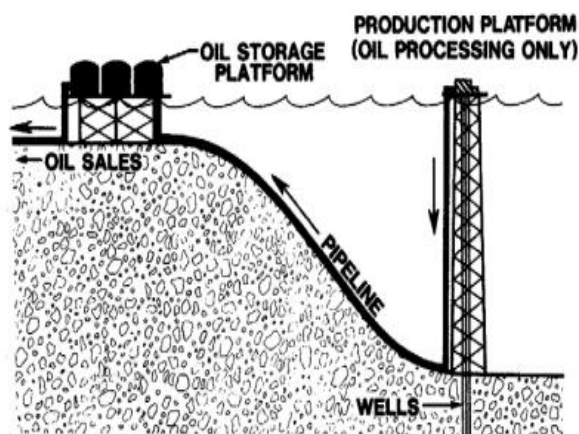
Αφού εξορυχτεί και εξαγνιστεί το πετρέλαιο αποθηκεύεται σε ειδικές δεξαμενές αποθήκευσης αργού πετρελαίου. Οι δεξαμενές αυτές είναι δυνατόν να είναι υπέργειες ή υπόγειες (onshore) ή να βρίσκονται πάνω στην πλατφόρμα παραγωγής ή στον πυθμένα της θάλασσας ενσωματωμένες στην πλατφόρμα παραγωγής (offshore). Το κύριο υλικό των δεξαμενών είναι ο χάλυβας και συνήθως η βάση των δεξαμενών κατασκευάζεται από σκυρόδεμα. Ωστόσο, οι υπόγειες και οι υποθαλάσσιες δεξαμενές θα πρέπει να πληρούν κάποιες παραπάνω προϋποθέσεις, καθώς είναι απαραίτητο να παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στις συνθήκες που επικρατούν στο υπέδαφος και στη θάλασσα, αντίστοιχα.

Όσον αφορά τις υπόγειες δεξαμενές, τις περισσότερες φορές τοποθετούνται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Οι υδροφόροι ορίζοντες αποτελούν σχηματισμούς πετρωμάτων με αυξημένη διαπερατότητα που επιτρέπουν τη διέλευση του νερού. Λόγω της διαπερατότητας αυτής αλλά και της ύπαρξης νερού, είναι απαραίτητο να διαφυλαχτεί ότι δε θα υπάρξει κάποια διαρροή και κατ' επέκταση κάποια περιβαλλοντική μόλυνση.

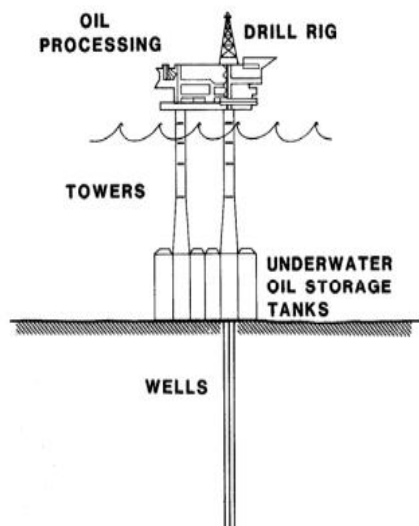
Αναφορικά με την αποθήκευση του πετρελαίου στις πλατφόρμες παραγωγής ισχύουν οι παρακάτω περιπτώσεις. Αν η πλατφόρμα παραγωγής εδράζεται σε αβαθή νερά, τότε οι αποθηκευτικές δεξαμενές βρίσκονται πάνω στην πλατφόρμα σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο. Αν η πλατφόρμα βρίσκεται σε περιοχή με μεγάλα βάθη, τότε το πετρέλαιο μεταφέρεται άμεσα μέσω υποθαλάσσιων αγωγών σε θαλάσσια εξέδρα αποθήκευσης του πετρελαίου (oil storage platform). Η εξέδρα αυτή είναι τοποθετημένη σε περιοχή με μικρά βάθη. Τέλος, παρατηρείται η περίπτωση να αποθηκεύεται το πετρέλαιο στον πυθμένα της θάλασσας, στη βάση της πλατφόρμας, η οποία βρίσκεται σε μεγάλα βάθη. Ωστόσο, η τελευταία περίπτωση αποτελεί μία πολυέξοδη επένδυση αποθήκευσης και δεν προτιμάται (Σταματάκη).



Εικόνα 31 - Αποθήκευση πετρελαίου σε δεξαμενές πάνω στην πλατφόρμα παραγωγής [πηγή: <http://ecourses.dbnet.ntua.gr/>]



Εικόνα 32 - Μεταφορά πετρελαίου μέσω υποθαλάσσιου αγωγού και αποθήκευσή του σε εξέδρα σε αβαθή νερά [πηγή: <http://ecourses.dbnet.ntua.gr/>]



Εικόνα 33 - Αποθήκευση πετρελαίου υποθαλάσσια, στη βάση της πλατφόρμας παραγωγής [πηγή: <http://ecourses.dbnet.ntua.gr/>]

3.1.2 Αποθήκευση φυσικού αερίου και LNG

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το φυσικό αέριο τις περισσότερες φορές αποθηκεύεται σε υπόγειες εγκαταστάσεις, όπως είναι τα ορυχεία, τα σπήλαια και οι δόμοι άλατος. Οι δόμοι άλατος μετατρέπονται σε χώρους αποθήκευσης φυσικού αερίου μέσω της εισπίεσης νερού που θα οδηγήσει στη διάλυση του ορυκτού άλατος. Οι δόμοι αυτοί έχουν συνήθως διάμετρο 1,6km και το αέριο αποθηκεύεται σε βάθος περίπου 1.000 - 1.500m από την επιφάνεια. Η εισαγωγή του φυσικού αερίου σε ένα τέτοιο "θάλαμο" πραγματοποιείται με το αέριο υπό πίεση 80 - 220bar. Τα τοιχώματα του χώρου που δημιουργείται είναι εξαιρετικά ανθεκτικά και καθιστούν τους δόμους άλατος μία πολύ αποτελεσματική λύση για την αποθήκευση του φυσικού αερίου. Ωστόσο, για να αποληφθεί το αέριο από έναν τέτοιο δόμο και να διατεθεί στην αγορά θα πρέπει να αφαιρεθεί η υγρασία του. Η υγρασία αυτή θα έχει σχηματιστεί εξαιτίας της παραμονής του φυσικού αερίου στον δόμο άλατος (Kimmerlin, 2012).

Η αποθήκευση του υγροποιημένου φυσικού αερίου γίνεται σε ειδικά σχεδιασμένες δεξαμενές, οι οποίες διατηρούν σταθερή την χαμηλή θερμοκρασία του LNG. Οι δεξαμενές LNG κατασκευάζονται από χάλυβα, ο οποίος περιέχει εννιά τοις εκατό νικέλιο (9% Ni), από ανοξείδωτο χάλυβα και από κράματα αργιλίου. Συγκεκριμένα, η κάθε δεξαμενή συντελείται από δύο στρώματα περιβλήματος, το εσωτερικό και το εξωτερικό. Το εξωτερικό περίβλημα κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα σε συνδυασμό με ανοξείδωτο χάλυβα. Τα δύο περιβλήματα χωρίζονται από μονωτικό υλικό, ώστε να διατηρείται σε άριστη κατάσταση το υγροποιημένο αέριο (Δ. Καρώνης). Εκτός από την ειδική κατασκευή των δεξαμενών αυτών, είναι απαραίτητο να εγκατασταθεί ένα σύστημα ασφαλείας για τον έλεγχο των αποθηκευτικών δεξαμενών. Συνεπώς, τοποθετούνται ηλεκτρονικά συστήματα ασφαλείας, σε περίπτωση που σημειωθεί κάποια διαρροή, πυρκαγιά ή ανιχνευθεί καπνός. Η διαρροή είναι πιθανό να αφορά κάποιο αέριο καθώς το υγροποιημένο

φυσικό αέριο είναι ένα εύφλεκτο υγρό χαμηλής θερμοκρασίας, το οποίο έχει την ικανότητα να δημιουργεί πυκνά νέφη αερίων που μπορούν να προκαλέσουν ασφυξία.

3.1.3 Αποθήκευση πετροχημικών και προϊόντων πετρελαίου

Τα πετροχημικά προϊόντα και τα προϊόντα διύλισης του πετρελαίου αποθηκεύονται σε ειδικά διαμορφωμένες δεξαμενές. Οι δεξαμενές αυτές είναι συνήθως χερσαίες και εδράζονται στις μονάδες επεξεργασίας των υδρογονανθράκων ή κοντά σε αυτές.



Εικόνα 34 - Εγκαταστάσεις αποθήκευσης πετροχημικών προϊόντων [πηγή: <https://ecosolution.gr/>]

3.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

Η μεταφορά των υδρογονανθράκων αφορά το τελευταίο στάδιο πριν κατασταθούν διαθέσιμοι στην παγκόσμια αγορά. Συνοπτικά, η μεταφορά του πετρελαίου πραγματοποιείται μέσω αγωγών μεταφοράς ή με δεξαμενόπλοια. Οι αγωγοί μεταφοράς ξεκινούν υποθαλάσσια και στην πορεία κινούνται χερσαία. Το φυσικό αέριο μεταφέρεται μόνο μέσω αγωγών ενώ το υγροποιημένο φυσικό αέριο μεταφέρεται μέσω θαλάσσης με ειδικά δεξαμενόπλοια. Τέλος, όσον αφορά τα πετροχημικά προϊόντα αλλά και τα προϊόντα διύλισης, μεταφέρονται μέσω ειδικά σχεδιασμένων σκαφών (Kassinis, 2015).

Πιο αναλυτικά, τα πετρελαιοφόρα τάνκερ μεταφέρουν το πετρέλαιο ως πλήρως σταθεροποιημένο ρευστό με τάση ατμών 1atm στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται η μεταφορά με τη μέγιστη ασφάλεια ώστε να μην υπάρξει κάποια επιπλοκή που θα οδηγούσε σε ανεπανόρθωτες περιβαλλοντικές καταστροφές. Το πετρέλαιο μεταφέρεται και με τους υποθαλάσσιους αγωγούς. Η μεταφορά αυτή είναι η πλέον οικονομική και αφορά μακρινές αποστάσεις στα διεθνή ύδατα (Βυθούλκας, 2016).



Εικόνα 35 - Πετρελαιοφόρο τάνκερ [πηγή: <http://www.shippipedia.com/>]

Το φυσικό αέριο μεταφέρεται επίσης με μεγάλης διαμέτρου αγωγούς μεταφοράς ενώ το υγροποιημένο φυσικό αέριο μεταφέρεται μέσω ειδικών δεξαμενόπλοιων, τα οποία διατηρούν την πολύ χαμηλή θερμοκρασία του LNG και ταυτόχρονα, με ειδικά θερμαντικά υλικά, αποτρέπουν την ψύξη του περιβάλλοντα χώρου. Τα δεξαμενόπλοια αυτά διαθέτουν τρία πιθανά συστήματα αποθήκευσης. Το πρώτο σύστημα περιλαμβάνει σφαιρικές δεξαμενές, οι οποίες δεν είναι σταθερές από μόνες τους αλλά υποστηρίζονται από ειδικά κυλινδρικά στηρίγματα. Το δεύτερο σύστημα αφορά τις δεξαμενές αποθήκευσης με μεμβράνες και το τρίτο σύστημα τις πρισματικές δεξαμενές. Σε όλους τους παραπάνω τύπους δεξαμενών παρατηρείται το φαινόμενο της αυτόματης ψύξης. Σύμφωνα με αυτό, η αέρια φάση που δημιουργείται λόγω εξάτμισης μέσα στην δεξαμενή βρίσκεται σε ισορροπία με την υγρή φάση. Λόγω της αέριας φάσης απαιτείται ο συνεχής έλεγχος της πίεσης, η οποία μπορεί να αυξηθεί απότομα. Γι' αυτό το λόγο, υπάρχουν συστήματα εξαερισμού στα δεξαμενόπλοια, ώστε να αποσυμπιέζονται οι δεξαμενές του LNG. Αν οι δεξαμενές αποθήκευσης είναι τοποθετημένες στην ξηρά, η περίσσεια του εξατμισμένου φυσικού αερίου είτε συμπιέζεται και διατίθεται στην αγορά ως φυσικό αέριο είτε υγροποιείται εκ νέου και αποθηκεύεται (Δ. Καρώνης). Το LNG στην υγρή του φάση δεν αποτελεί εκρηκτικό υλικό και κατά συνέπεια δεν εγκυμονεί κάποιο κίνδυνο έκρηξης. Για να προκληθεί κάποιο εκρηκτικό συμβάν σημαίνει ότι το εξατμισμένο LNG ήρθε σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα και με κάποια πιθανή πηγή ανάφλεξης. Αν πραγματοποιηθεί η ανάφλεξη μετά τη διαρροή, τότε προκαλείται μία φωτοβολίδα σε στιγμιαίο χρόνο. Επί προσθέτως, είναι δυνατόν να αυξηθεί το εξατμισμένο LNG αν μετά τις αναταράξεις των κυμάτων της θάλασσας προκληθεί η ανάδευση του υγρού. Η ανάδευση αυτή θα οδηγήσει σε δημιουργία δύο πυκνοτήτων του υγροποιημένου φυσικού αερίου και κατά συνέπεια σε αύξηση των εξατμίσεων. Τέλος, λόγω των προαναφερθέντων αναταράξεων, αν αυτοί είναι πολύ έντονοι, είναι πιθανό να ανατραπεί και ολόκληρο το δεξαμενόπλοιο. Κάτι τέτοιο ωστόσο θα είχε ανυπολόγιστες ζημιές και πιθανά θύματα (Kassinis, 2015).



Εικόνα 36 - Αγωγοί μεταφοράς από θαλάσσιες γεωτρήσεις [πηγή: <https://www.stockinvestor.com/>]



Εικόνα 37 - Δεξαμενόπλοιο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (όνομα πλοίου **PACIFIC BREEZE**) [πηγή: <http://el.marinelink.com/>]

Η διαδικασία φόρτωσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου στις αποθηκευτικές δεξαμενές των δεξαμενόπλοιων δεν αποτελεί απλή διαδικασία. Αντιθέτως, ακολουθείται μια σειρά από ενέργειες, οι οποίες αποσκοπούν στην διατήρηση της ασφάλειας. Αρχικά, λόγω της πολύ χαμηλής θερμοκρασίας του LNG απαιτείται πριν την τοποθέτηση αυτού να κατασταθεί η δεξαμενή αδρανής. Για να πετύχει η αδρανοποίηση της δεξαμενής χρησιμοποιείται διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το οποίο μειώνει τις ποσότητες του οξυγόνου στο εσωτερικό της δεξαμενής μέχρι να φτάσουν κάτω από 4%. Στη συνέχεια, πριν γίνει η φόρτωση του υγροποιημένου φυσικού αερίου, χρησιμοποιείται αεριοποιημένο LNG, το οποίο καλύπτει όλη την δεξαμενή μέχρις ότου να απελευθερωθεί το διοξείδιο του άνθρακα που έλαβε μέρος στην προηγούμενη φάση της διαδικασίας, μέσω του συστήματος εξαερισμού. Συνεπώς, σε αυτή τη φάση της διαδικασίας, οι δεξαμενές βρίσκονται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, γεγονός που είναι ανάγκη να διορθωθεί, καθώς αν τοποθετηθεί τώρα το υγρό, ψυχρό LNG, θα προκληθούν ζημιές λόγω της απότομης

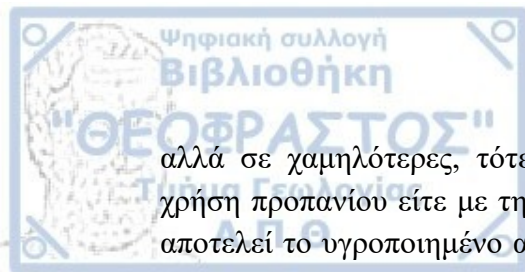
μεταβολής της θερμοκρασίας. Για αυτό το λόγο, εισχωρεί υγρό LNG στις δεξαμενές και ψύχει σταδιακά τα τοιχώματα καθώς εξατμίζεται. Οι εξατμίσεις αποβάλλονται από το σύστημα, όπως συνέβη και με το διοξείδιο του άνθρακα, μέσω του εξαερισμού. Όταν η θερμοκρασία των δεξαμενών αγγίζει τους -140°C μπορεί να ξεκινήσει η φόρτωση του υγροποιημένου φυσικού αερίου, χωρίς να υπάρξουν κίνδυνοι πρόκλησης εκρήξεων (Kassinis, 2015).

Αφού τοποθετηθεί το υγροποιημένο φυσικό αέριο στα δεξαμενόπλοια, αποστέλλεται στις εγκαταστάσεις παραλαβής LNG. Οι εγκαταστάσεις αυτές συνήθως βρίσκονται σε μεγάλα λιμάνια και περιλαμβάνουν τους αποθηκευτικούς χώρους του LNG, τον εξοπλισμό επαναεριοποίησης και συμπίεσης του φυσικού αερίου και τις σωληνώσεις μεταφοράς αυτού, είτε σε έναν κεντρικό αγωγό είτε στους καταναλωτές. Η επαναεριοποίηση αφορά την επιστροφή του υγροποιημένου φυσικού αερίου στην αρχική του αέρια κατάσταση. Η μεταβίβαση του φυσικού αερίου μέχρι τον καταναλωτή χωρίζεται σε τέσσερις μονάδες συστημάτων: το "gathering system", το "compression system", τη "main trunk line" και τις "distribution lines". Το "gathering system" αφορά το σύστημα συλλογής του φυσικού αερίου μετά την εξάτμιση του LNG. Το "compression system" περιλαμβάνει τη μονάδα συμπίεσης του φυσικού αερίου, ώστε αυτό να μεταφερθεί με μεγαλύτερη ευκολία στον τελικό καταναλωτή. Η "main trunk line" αποτελεί τον κεντρικό αγωγό από τον οποίο αποστέλλεται το φυσικό αέριο είτε στους αγοραστές είτε στις μικρότερες γραμμές διανομής αερίου "distribution lines" (Ikoku, 1992).



Εικόνα 38 - Μεταφορά LNG σε τερματικό σταθμό [πηγή: <https://www.geodifhs.com/>]

Οι εμπορικές προδιαγραφές του υγροποιημένου φυσικού αερίου αλλά και του φυσικού αερίου ακολουθούν πολύ αυστηρούς κανόνες, οι οποίοι αφορούν κυρίως την περιεκτικότητα αυτών σε θείο (S) και υδράργυρο (Hg) αλλά και τη θερμογόνο δύναμη. Η θερμογόνο δύναμη αποτελεί την ικανότητα των υδρογονανθράκων να παράγουν θερμική ενέργεια με την καύση τους. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμογόνο δύναμη τόσο πιο αποδοτικό είναι το καύσιμο που χρησιμοποιείται. Αν, ωστόσο, η θερμογόνο δύναμη του φυσικού αερίου δεν βρίσκεται σε τιμές που απαιτεί η αγορά



αλλά σε χαμηλότερες, τότε πρέπει να πραγματοποιηθεί εμπλουτισμός είτε με τη χρήση προπανίου είτε με τη χρήση μίγματος προπανίου - βουτανίου. Το μίγμα αυτό αποτελεί το υγροποιημένο αέριο πετρελαίου (Liquefied Petroleum Gas - LPG). Στον αντίποδα, αν η θερμογόνος δύναμη ανέρχεται σε πολύ υψηλές τιμές και χρειάζεται να μειωθεί, τότε χρησιμοποιούνται αδρανή αέρια, όπως είναι το άζωτο, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η αραίωση του φυσικού αερίου (Σταματάκη).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να αναφερθούν όλες οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε μια υπεράκτια γεώτρηση παραγωγής υδρογονανθράκων. Δόθηκε κυρίως έμφαση στο πώς εξορύσσονται, αποθηκεύονται και εν συνεχεία μεταφέρονται και διατίθενται οι υδρογονάνθρακες στη διεθνή αγορά.

Στο εισαγωγικό μέρος αναφέρθηκαν εν συντομία οι φυσικές διεργασίες που οδηγούν στον σχηματισμό των υδρογονανθράκων, καθώς και οι διαδικασίες οι οποίες ακολουθούνται προκειμένου να εντοπιστούν τα κοιτάσματα και να αξιολογηθούν ως οικονομικά απολήψιμα ή μη. Η εξερεύνηση των κοιτασμάτων στηρίζεται κυρίως στη γεωφυσική έρευνα και πραγματοποιείται με τρεις κύριες μεθόδους. Αυτές είναι: η βαρυτική, η μαγνητική και η σεισμική μέθοδος. Μέσω αυτών γίνεται γνωστό ποιες γεωλογικές δομές περιέχουν υδρογονανθρακικά κοιτάσματα στην εκάστοτε περιοχή που μελετάται. Ωστόσο, τα δεδομένα που προκύπτουν από τη γεωφυσική έρευνα περιορίζονται στα μικρά βάθη με αποτέλεσμα να καθίστανται απαραίτητες οι γεωτρήσεις εξερεύνησης. Οι γεωτρήσεις αυτές δίνουν περισσότερες πληροφορίες για ένα πιθανό απόθεμα κυρίως με τις δειγματοληπτικές δοκιμές. Την πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη δοκιμή αποτελεί η DST (Drill Stem Testing). Η δοκιμή αυτή όμως μπορεί να αντιμετωπίσει ένα πρόβλημα: υπάρχει κίνδυνος διαφυγής αερίου κατά τη διαδικασία της δειγματοληψίας. Μία άλλη, ωστόσο, πιο οικονομική λύση αφορά την πυρηνοληψία Sidewall Sampling, η οποία όμως μπορεί να καταστρέψει και να διαβρώσει αρκετά το δείγμα. Συνεπώς, η δειγματοληπτική διαδικασία χρήζει ιδιαίτερης προσοχής για να είναι ακριβή τα δεδομένα που θα οδηγήσουν στον σχεδιασμό ενός μεγάλου και δαπανηρού έργου, αυτό της παραγωγής υδρογονανθράκων.

Αφού πραγματοποιηθεί η γεώτρηση εξερεύνησης λαμβάνουν χώρα περαιτέρω μετρήσεις μέσω των ηλεκτρικών διαγραφιών και των διαγραφιών γεωτρητικού πολφού. Οι ηλεκτρικές διαγραφίες (Wireline Logging) δίνουν πληροφορίες για τον ταμιευτήρα όπου εδράζονται οι υδρογονάνθρακες, ενώ οι διαγραφίες του γεωτρητικού πολφού (Mud Logging) αφορούν την περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών. Ο πολφός εκτός από τις πληροφορίες που παρέχει για τα πετρώματα μέσω των θραυσμάτων που ανεβαίνουν στην επιφάνεια, εξυπηρετεί στην διατήρηση της ασφαλούς και ακριβούς λειτουργίας όλου του εξοπλισμού για τη γεώτρηση.

Οι γεωτρητικές διαδικασίες σε ένα υπεράκτιο περιβάλλον πραγματοποιούνται με τις κινητές εξέδρες υπεράκτιων γεωτρήσεων (offshore Drilling Rigs). Η πιο συχνά εμφανιζόμενη εξέδρα είναι η "τύπου Jack Up", η οποία αποτελεί μία προσωρινά σταθερή πλατφόρμα διάτρησης. Ωστόσο, υπάρχουν άλλοι δύο τύποι εξεδρών

διάτρησης και αυτοί είναι η ημιβυθιζόμενη πλατφόρμα και το γεωτρητικό σκάφος. Για να μετατραπεί μία γεώτρηση έρευνας σε παραγωγική είναι υποχρεωτικό να τοποθετηθεί μία σταθερή κατασκευή παραγωγής υδρογονανθράκων. Η κατασκευή αυτή ονομάζεται πλατφόρμα παραγωγής (Production Platform) και υποστηρίζει όλες τις διαδικασίες μετά την αρχική διάτρηση. Οι διαδικασίες αυτές είναι η παραγωγή, η επεξεργασία, η αποθήκευση και ενίοτε η μεταφορά του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Συναντώνται δύο μεγάλες κατηγορίες των πλατφορμών παραγωγής και αυτές είναι οι σταθερά εδραζόμενες στον πυθμένα της θάλασσας και οι πλωτές. Μία από τις πλωτές κατασκευές, η οποία είναι σχεδιασμένη ώστε να καλύπτει όλες τις διαδικασίες παραγωγής, αποθήκευσης και διανομής των υδρογονανθράκων, είναι το FPSO (Floating Production, Storage and Offloading). Το FPSO αποτελεί πλατφόρμα σχήματος πλοίου και προσδένεται στον πυθμένα της θάλασσας.

Συνεχίζοντας στο κυρίως μέρος της εργασίας δόθηκε έμφαση κυρίως σε όλη τη γεωτρητική διαδικασία καθώς και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για να διεκπεραιωθεί. Ο εξοπλισμός αφορά τη γεωτρητική στήλη μαζί με τις λειτουργίες του γεωτρητικού πολφού, τα κοπτικά άκρα που τοποθετούνται αναλόγως το γεωλογικό πέτρωμα που απαντάται σε κάθε στρώμα της οπής, τις διαδικασίες της σωλήνωσης και της τσιμέντωσης μετά την διάνοιξη της γεώτρησης και την εγκατάσταση του αποτροπέα εκρήξεων BOP. Ο αποτροπέας εκρήξεων τοποθετείται στον πυθμένα της θάλασσας και αποτρέπει οποιαδήποτε διαρροή θα οδηγούσε σε έκρηξη με ανυπολόγιστες ζημιές τόσο στο έργο όσο και στο θαλάσσιο περιβάλλον. Ακόμη, αναλύθηκε το τελικό στάδιο παραγωγής των υδρογονανθράκων που αποτελεί την ολοκλήρωση της γεωτρητικής διαδικασίας. Η ολοκλήρωση (Completion) περιλαμβάνει τη διάτρηση Perforating και τον παραγωγικό εξοπλισμό που τοποθετείται για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία απόληψης του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Η διάτρηση Perforating αφορά τις οπές που γίνονται, ώστε να μπορέσουν οι υδρογονάνθρακες να φτάσουν μέσω της γεώτρησης από τον ταμιευτήρα μέχρι την επιφάνεια. Το πιο σημαντικό τμήμα του εξοπλισμού παραγωγής αποτελεί ο εξοπλισμός επιφανείας. Ο εξοπλισμός επιφανείας ή αλλιώς Wellhead είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο αλλά και την ασφάλεια της παραγωγικής διαδικασίας. Η κεφαλή του Wellhead ονομάζεται "Christmas Tree". Την πιο αποτελεσματική κεφαλή σε υπεράκτιες παραγωγικές γεωτρήσεις αποτελεί το Wet Tree, το οποίο τοποθετείται εντός του θαλάσσιου χώρου και ανταπεξέρχεται καλύτερα στα μεγάλα βάθη.

Όσον αφορά τα συστήματα ελέγχου, καθίστανται απαραίτητα καθώς αποτρέπουν κάθε πιθανό κίνδυνο και προάγουν την ασφάλεια όλου του γεωτρητικού και παραγωγικού έργου. Συγκεκριμένα, ελέγχονται όλες οι συνθήκες που επικρατούν τόσο στη γεώτρηση όσο και στα συστήματα αποθήκευσης και μεταφοράς. Επίσης, υπάρχουν περιπτώσεις συναγερμού όταν προκληθεί κάποια βλάβη ή κάποια αστοχία, η οποία αν δεν αντιμετωπιστεί άμεσα θα οδηγήσει σε καταστροφικό φαινόμενο. Αν υπάρξει κάποιο σφάλμα συνήθως υπάρχει η δυνατότητα απομόνωσης της ζώνης όπου παρατηρείται η προβληματική κατάσταση. Με αυτόν τον τρόπο δεν προκαλείται η επέκταση του προβλήματος και αντιμετωπίζεται πιο εύκολα. Πολύ σημαντικό

σύστημα ελέγχου είναι το σύστημα SCADA, το οποίο ελέγχει τη μεταφορά των υδρογονανθράκων από την γεώτρηση στην επιφάνεια της θάλασσας. Η μεταφορά αυτή πραγματοποιείται μέσω των υποβρύχιων αγωγών ροής (Flow lines) αλλά και των εύκαμπτων, ανυψωτικών αγωγών Risers.

Οι αγωγοί Risers οδηγούν τους υδρογονάνθρακες στις υπεράκτιες πλατφόρμες. Παρ' όλο που υπάρχει πληθώρα υπεράκτιων κατασκευών, γίνεται σαφές ότι το υποθαλάσσιο σύστημα παραγωγής υδρογονανθράκων μπορεί να εξοικονομήσει αρκετά χρήματα στις εταιρίες. Αυτό συμβαίνει καθώς το υποθαλάσσιο σύστημα αποτελείται από πολλαπλές γεωτρήσεις που εδράζονται στον πυθμένα και συνδέονται όλες με ένα σύστημα ελέγχου και μία γραμμή ροής. Μετά από ένα χρονικό διάστημα, κρίνεται απαραίτητο να πραγματοποιηθεί η συντήρηση των γεωτρήσεων προκειμένου να μπορέσει να συνεχιστεί η παραγωγή των υδρογονανθράκων. Αν η εκάστοτε εταιρία δεν μπορεί να ανταποκριθεί στα έξοδα που απαιτούνται και έχει φτάσει στο οικονομικό της όριο, υποχρεούται να εγκαταλείψει το έργο μέχρι να μπορέσει είτε η ίδια είτε κάποια άλλη εταιρία να προβεί στη συνέχιση του παραγωγικού έργου. Τα επιπλέον έξοδα είναι κάτι που αφορά και προβληματίζει όλες τις εταιρίες. Για να μην υπάρξουν αυτά δίνεται ιδιαίτερη προσοχή σε όλες τις διαδικασίες και διεργασίες μέχρι την διάθεση των τελικών προϊόντων στην παγκόσμια αγορά. Στα υπεράκτια έργα αντιμετωπίζονται περισσότερες προβληματικές καταστάσεις καθώς η θάλασσα λειτουργεί ως ανασταλτικός παράγοντας στα διατρητικά έργα και στην παραγωγή του πετρελαίου και του φυσικού αερίου.

Το πιο σημαντικό στάδιο αφού ολοκληρωθεί η παραγωγή των υδρογονανθράκων είναι η επεξεργασία αυτών. Πρώτη διαδικασία στην επεξεργασία αποτελεί ο διαχωρισμός των φάσεων, δηλαδή ο διαχωρισμός των πτητικών συστατικών. Αφού χωριστούν τα ρευστά από τα αέρια πραγματοποιείται η επεξεργασία του φυσικού αερίου. Η επεξεργασία αυτή περιλαμβάνει την αφυδάτωση του αερίου, την απομάκρυνση του υδρόθειου με τη διαδικασία του "Sweetening" και τον καθαρισμό από το άζωτο, τον υδράργυρο και όλα τα δύσσομα οργανικά αέρια. Η απομάκρυνση των βαρύτερων υδρογονανθράκων από το φυσικό αέριο στοχεύει όχι μόνο στον καθαρισμό του αλλά και στην περαιτέρω επεξεργασία των NGLs. Η επεξεργασία των υδρογονανθράκων αυτών πραγματοποιείται μέσω της κλασματικής απόσταξης και τα προϊόντα που προκύπτουν διατίθενται στην αγορά. Αφού εξυγениστεί το φυσικό αέριο πραγματοποιούνται οι απαραίτητες μετρήσεις, ώστε οι τιμές του να βρίσκονται εντός των εμπορικών προδιαγραφών. Στη συνέχεια, το αέριο είτε συμπιέζεται είτε υγροποιείται με ψύξη. Έχει αποδειχθεί ότι το υγροποιημένο φυσικό αέριο ανταπεξέρχεται καλύτερα και στην αποθήκευση αλλά και στη μεταφορά του εξοικονομώντας χρήματα. Η πιο οικονομική μέθοδος υγροποίησης του φυσικού αερίου είναι με μίγμα ψυκτικών, ωστόσο δεν αποδίδει όσο χρειάζεται σε θερμοδυναμικό επίπεδο. Η θερμογόνο δύναμη είναι αυτή που καθορίζει την απόδοση του φυσικού αερίου.

Όσον αφορά την επεξεργασία του πετρελαίου, είναι πολύ σημαντική η αφαίρεση των μη υδρογονανθρακικών συστατικών. Επίσης, κρίνεται αναγκαία, και

σε αυτήν την περίπτωση, η απομάκρυνση του θείου πριν πραγματοποιηθεί η διύλιση του αργού πετρελαίου. Αφού αξιολογηθεί το αργό πετρέλαιο και κριθεί ότι πληροί κάποιες προδιαγραφές οδηγείται στην κλασματική απόσταξη. Μέσω αυτής της διεργασίας προκύπτουν τα προϊόντα του αργού πετρελαίου από τα οποία κάποια είναι τα τελικά προϊόντα και διανέμονται στην αγορά, ενώ κάποια άλλα καύσιμα απαιτούν περαιτέρω επεξεργασία ώστε να μετασχηματιστούν στα επιθυμητά.

Η αποθήκευση και η μεταφορά του πετρελαίου, του φυσικού αερίου αλλά και όλων των παραπροϊόντων τους αναλύθηκε στο τελευταίο τμήμα της εργασίας. Η αποθήκευση του πετρελαίου μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε "onshore" είτε "offshore". Η υπεράκτια αποθήκευσή του είναι δυνατόν να γίνει σε αβαθή ύδατα. Σε άλλη περίπτωση, είναι δυνατόν το πετρέλαιο να αποθηκευτεί σε ειδικές δεξαμενές στον πυθμένα της θάλασσας. Ωστόσο, ο τρόπος αυτός είναι ιδιαίτερα πολυέξοδος και δεν προτιμάται. Από την άλλη μεριά, η αποθήκευση του φυσικού αερίου πραγματοποιείται κυρίως στην ξηρά και συγκεκριμένα σε γεωλογικούς σχηματισμούς, όπως είναι οι δόμοι άλατος, τα σπήλαια και τα ορυχεία. Όπως αναφέρθηκε, η αποθήκευση του υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι πιο εύκολη και πραγματοποιείται σε ειδικά σχεδιασμένες δεξαμενές. Οι δεξαμενές αυτές είναι ίδιες με τις δεξαμενές που περιέχονται στα ειδικά διαμορφωμένα πλοία LNG. Τα πλοία αυτά έχουν εξαιρετικά συστήματα εξαερισμού, ώστε να διαφεύγουν τυχόν εξατμίσεις του υγροποιημένου αερίου. Η φόρτωση και η εκφόρτωση του LNG αποτελεί μία ιδιαίτερη διαδικασία, η οποία περιλαμβάνει την αδρανοποίηση και την προετοιμασία των δεξαμενών να λάβουν με απόλυτη ασφάλεια το υγροποιημένο ψυχρό αέριο. Στον αντίποδα, η μεταφορά του συμπιεσμένου φυσικού αερίου πραγματοποιείται μέσω αγωγών όπως συμβαίνει και με το πετρέλαιο. Η μεταφορά μέσω υπεράκτιων αγωγών αποτελεί την πιο οικονομική λύση μεταφοράς υδρογονανθράκων. Ωστόσο, το πετρέλαιο μπορεί να μεταφερθεί και μέσω πετρελαιοφόρων τάνκερ. Για να πραγματοποιηθεί η φόρτωση του πετρελαίου σε αυτά απαιτείται η σταθεροποίηση αυτού, ώστε να μην υπάρξει κάποια αστοχία κατά τη μεταφορά. Όλα τα κύρια και τα δευτερεύοντα προϊόντα των υδρογονανθράκων πρέπει να ανταποκρίνονται στις διεθνείς εμπορικές προδιαγραφές, ώστε να μπορέσουν να είναι ανταγωνιστικά στην παγκόσμια αγορά.

Όλα τα παραπάνω αναλύθηκαν σε μεγάλο βαθμό στην εργασία, ώστε να γίνονται σαφείς όλες οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε ένα υπεράκτιο έργο διάτρησης, παραγωγής, αποθήκευσης και μεταφοράς των υδρογονανθράκων. Οι υδρογονάνθρακες ήταν και θα είναι στο επίκεντρο των ενεργειακών καυσίμων, καθώς υπάρχει τεράστια ζήτηση στην αγορά και προσφέρουν πολύ μεγάλα κέρδη στις εταιρίες εκμετάλλευσης.



(2016). *"Workovers & Interventions, Production Engineering And Well Performance"*, M.SC Hydrocarbon Exploration And Exploitation Auth. Θεσσαλονίκη.

Beccari, M., & Romano, U. (2005). *ENCYCLOPAEDIA OF HYDROCARBONS*. Ρώμη: ENI.

Devold, H. (2015). *OIL AND GAS PRODUCTION HANDBOOK*. LULU COM.

Drill Stem Testing.

Ikoku, C. U. (1992). *Natural Gas Production Engineering*. Malabar, Flor: R.E. Krieger.

Kassinis, S. (2015). *ABOUT OIL AND GAS*. Λευκωσία: KASSINIS INTERNATIONAL CONSULTING.

Kimmerlin, G. (2012). *Underground gas storage facilities operated by GDF*. Λονδίνο: Portland Press Ltd.

Lake, L. (2007). *PETROLEUM ENGINEERING HANDBOOK*. Richardson, TX: Society of Petroleum Engineers.

Molwave.chem.auth.gr. (n.d.). Ανάκτηση από
<http://molwave.chem.auth.gr/fabchem/?q=node/266>

OILFIELD WIKI. (n.d.). Ανάκτηση από
http://www.oilfieldwiki.com/wiki/Wet_Tree_and_Dry_Tree_Systems

Production Operations - Production Engineering "Completions".

Schlumberger. (1998). *Matrix Engineering Manual, Well Performance*. Dowell Confidential.

Shell Learning Centre. (2001). *EP00 - Introducing the E & P Business*. Shell International Exploration and Production B.V.

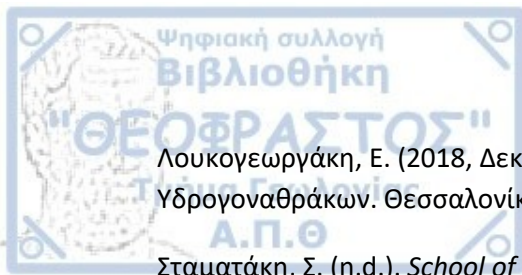
What is the difference between an oil rig and an oil platform?: Theshippinglawblog. (2020, Ιούνιος 13). Ανάκτηση Ιούνιος 13, 2020, από Theshippinglawblog.com:
<http://www.theshippinglawblog.com/2018/08/what-is-difference-between-oil-rig-and.html>

Wikipedia. (n.d.). Ανάκτηση από <https://en.wikipedia.org/>

Αχιλιάς, Δ., Ελευθεριάδης, Ι., & Νικολαΐδης, Ν. (2015). *Αποθετήριο Κάλλιπος: Βιομηχανική οργανική χημεία*. Ανάκτηση από Αποθετήριο Κάλλιπος:
<https://repository.kallipos.gr/handle/11419/1370>

Βυθούλκας, Β. (2016). *Πετρέλαιο - Εξόρυξη & Διύλιση*. Διπλωματική Εργασία, ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ - ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ, Τμήμα Μηχανολόγων - Μηχανικών, Πειραιάς.

Δ. Καρώνης, Ε. Λ. *Τεχνολογία Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου*.



Λουκογεωργάκη, Ε. (2018, Δεκέμβριος 13). Θαλάσσιες Κατασκευές για Εκμετάλλευση Υδρογοναθράκων. Θεσσαλονίκη, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα.

Σταματάκη, Σ. (n.d.). *School of Computer and Electrical Engineering*. Ανάκτηση από [ecourses.dbnet.ntua.gr: http://ecourses.dbnet.ntua.gr/Mhxanikh-Petrelaiwn.html](http://ecourses.dbnet.ntua.gr/Mhxanikh-Petrelaiwn.html)

Πηγές Εικόνων

- ο **Εικόνα 1:** <https://inbestia.com/analisis/analisis-de-los-segmentos-y-empresas-del-sector-offshore-drilling-parte-2-por-que-el-riesgo-de-invertir-hoy-es-excesivo>
- ο **Εικόνα 2:** http://seacrane.us/crane_base.html
- ο **Εικόνα 3:** <http://hmf.enseiht.fr/travaux/CD0910/bei/beiep/4/html/index.html>
- ο **Εικόνα 4:** <https://knowledgeproficiency.wordpress.com/2016/06/09/multiple-zone-completions/>
- ο **Εικόνα 5:** <https://www.alamy.com/stock-photo-well-head-area-of-offshore-oil-and-gas-production-marine-rig-off-coast-20213485.html>
- ο **Εικόνα 6:** <https://www.exprogrou.com/case-studies/wellhead-production-surveillance-on-offshore-gas-condensate-field>
- ο **Εικόνα 7:** <https://www.akersolutions.com/what-we-do/products-and-services/subsea-trees/>
- ο **Εικόνα 8:** <https://tnpetroleo.com.br/noticia/petrobras-lanca-programas-de-desenvolvimento-da-cadeia-de-oleo-e-gas/>
- ο **Εικόνα 9:** <http://www.upcem.com/bpa-bpb-process-complex-ongc-commissioningpgtr/>
- ο **Εικόνα 10:** <https://structurae.net/en/structures/off-shore-marine-structures/gravity-base-structures>
- ο **Εικόνα 11:** <https://www.kbr.com/en/experience/benguela-belize>
- ο **Εικόνα 12:** <https://www.eagleburgmann.com/en/industries/oil-and-gas-industry/fpso>
- ο **Εικόνα 13:** <https://www.fircroft.com/blogs/6-more-of-the-biggest-offshore-structures-in-the-world-83384103733>
- ο **Εικόνα 14:** https://www.wikiwand.com/en/Semi-submersible_platform
- ο **Εικόνα 15:** [https://www.wikiwand.com/en/Spar_\(platform\)](https://www.wikiwand.com/en/Spar_(platform))
- ο **Εικόνα 16:** <https://www.akersolutions.com/what-we-do/products-and-services/subsea-production-systems/>
- ο **Εικόνα 17:** http://www.oilfieldwiki.com/wiki/Subsea_Production_Systems
- ο **Εικόνα 18:** <http://www.resinextrad.com/en/single-point-mooring-ancillaries/>
- ο **Εικόνα 19:**
https://2b1stconsulting.com/turret/?doing_wp_cron=1412702590.5512509346008300781250
- ο **Εικόνα 20:**
<http://d3739333.u52.houstonwebhost.net/productItem.asp?intcategoryName=>

Mooring%20Systems&intsubCat=External%20Turret&intproductID=SuTuDe
n

- ο **Εικόνα 21:** <http://fukymarintech.weebly.com/permanent-mooring.html>
- ο **Εικόνα 22:** https://dynamic-positioning.com/proceedings/dp2006/op_procedures_weingarth_pp.pdf
- ο **Εικόνα 23:** <https://lcdc-invirex.com/industries-served/petrochemical-refining/>
- ο **Εικόνα 24:** <https://www.gea.com/en/solutions/gas-compression-expertise-oil-gas-power-applications.jsp>
- ο **Εικόνα 25:** <https://www.slideshare.net/SaurabhGirdhar2/liquefied-natural-gas-lng-88300233>
- ο **Εικόνα 26:** <https://docplayer.gr/5553980-Kefalaio-4-ygropoiisi-fysikoy-aerioy.html>
- ο **Εικόνα 27:** courses.chemeng.ntua.gr
- ο **Εικόνα 28 :** https://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=322&c_id=
- ο **Εικόνα 29:** <http://molwave.chem.auth.gr/fabchem/?q=node/266>
- ο **Εικόνα 30:** διυλιστήριο πετρελαίου. marathonpetroleum.com
(<https://www.naftikachronika.gr/2018/05/02/gennietai-o-neos-kolossos-ton-amerikanikon-diylistirion/>)
- ο **Εικόνα 31:** <http://ecourses.dbnet.ntua.gr/Mhxanikh-Petrelaiwn.html>
- ο **Εικόνα 32:** <http://ecourses.dbnet.ntua.gr/Mhxanikh-Petrelaiwn.html>
- ο **Εικόνα 33:** <http://ecourses.dbnet.ntua.gr/Mhxanikh-Petrelaiwn.html>
- ο **Εικόνα 34:** <https://ecosolution.gr/aposmisi/%CE%B1%CF%80%CE%BF%CF%83%CE%BC%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CF%80%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%BF%CF%87%CE%B7%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CF%89%CE%BD-%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%B5%CF%89%CE%BD/>
- ο **Εικόνα 35:** <http://www.shippipedia.com/ships/ship-types/tanker/>
- ο **Εικόνα 36:** <https://www.stockinvestor.com/20248/investing-oil-gas-pipelines/>
- ο **Εικόνα 37:** <http://el.marinelink.com/news/%CE%BC%CE%B5%CE%B3%CE%AC%CE%BB%CE%B1-%CF%80%CE%BB%CE%BF%CE%AF%CE%B1-2018-%CE%BC%CE%B5%CE%B3%CE%B1%CE%BB%CF%8D%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%82-%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%B1%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%AD%CE%B1%CF%82-lng-%CF%84%CF%8D%CF%80%CE%BF%CF%85-276591>
- ο **Εικόνα 38:** <https://www.geodifhs.com/gammaalphaiotaalpha/-lng>