



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ – ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ –
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΟΥΡΑΝΙΑ ΑΛΕΞΗ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΣΤΙΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΒΑΘΙΑΣ
ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2023





ΟΥΡΑΝΙΑ ΑΛΕΞΗ

Φοιτήτρια τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5792

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΣΤΙΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΒΑΘΙΑΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΚΑΤΑ
ΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Ορυκτολογίας – Πετρολογίας -
Κοιτασματολογίας,
Εργαστήριο Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων:

Καθηγητής Γεωργακόπουλος Ανδρέας



© Ουρανία Αλέξη, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας – Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας, 2023

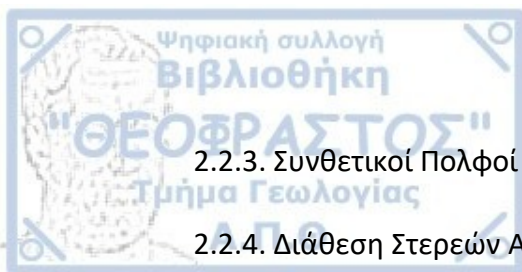
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΣΤΙΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΒΑΘΙΑΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ – *Διπλωματική Εργασία*

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 τη 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: Live Science



2.2.3. Συνθετικοί Πολφού (SBM).....	40
2.2.4. Διάθεση Στερεών Αποβλήτων.....	42
2.2.5. Διάθεση Υγρών Αποβλήτων.....	43
2.2.6. Επιπτώσεις στο Περιβάλλον.....	44
2.3. Ατμοσφαιρική Ρύπανση.....	45
2.4. Επιπτώσεις από τον εξοπλισμό.....	48
2.5. Διαρροές Πετρελαίου.....	50
2.5.1. Συμπεριφορά της Πετρελαιοκηλίδας.....	51
2.5.2. Επιπτώσεις.....	55
2.5.3. Αντιμετώπιση.....	56
2.5.3.1. Μηχανική Ανάκτηση.....	57
2.5.3.2. Χρήση χημικών Dispersants.....	61
2.5.3.3. Επιτόπια καύση του πετρελαίου.....	63
2.5.4. Το παραδείγματα του Κόλπου του Μεξικού.....	65
Συμπεράσματα.....	68
Βιβλιογραφία.....	70
Ιστοσελίδες.....	76



Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια οι ολοένα και αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες απαιτούν την εύρεση και εκμετάλλευση περισσότερων κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου. Κατά το ερευνητικό στάδιο πραγματοποιούνται αρχικά εργασίες γραφείου, στη συνέχεια υπαίθριες χαρτογραφήσεις, γεωφυσικές έρευνες και τηλεπισκόπηση και τελικό στάδιο αποτελούν οι ερευνητικές γεωτρήσεις εφόσον τα δεδομένα δείχνουν ικανοποιητική πιθανότητα ύπαρξης κοιτάσματος. Βασική προϋπόθεση για τη λειτουργία μια γεώτρησης είναι η βελτιστοποίηση των ρυπογόνων διαδικασιών και η μείωση των εκλυόμενων ρύπων. Διάφοροι παράγοντες όπως ο εξοπλισμός, οι πολφού, οι υδρογονάνθρακες μπορεί να επιφέρουν τραγικές επιπτώσεις στη θαλάσσια πανίδα και χλωρίδα και στην ατμόσφαιρα τόσο από τη χρήση τους όσο και από την διαφυγή τους. Η κατάλληλη επιλογή πολφού καθώς και των συστατικών του είναι εξαιρετικά σημαντική για την ομαλή λειτουργία μια γεώτρησης και την αποφυγή ατυχημάτων και διαρροών αλλά ταυτόχρονα η χρήση τους πρέπει να αφήνει το μικρότερο δυνατό περιβαλλοντικό αποτύπωμα και να συμφωνεί κάθε φορά με την νομοθεσία. Τέλος, και στην χειρότερη περίπτωση που υπάρξει κάποια διαρροή υδρογονανθράκων στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι απαραίτητη η ταχεία και αποτελεσματική αντιμετώπιση.



Over recent years, the ever-increasing energy needs require the exploration and exploitation of more oil and gas fields. During the research stage, the first thing to be carried out is office work, then geological mapping, geophysical surveys and remote sensing and the final stage includes drilling if the data show a satisfactory probability of the existence of a deposit. A basic condition for the operation of a well is the optimization of polluting processes and the reduction of released pollutants. Various factors such as equipment, mud, hydrocarbons can have serious effects on marine fauna and flora and the atmosphere from their use and possible leak. The suitable choice of mud as well as its components is extremely important for the smooth operation of a well and the avoidance of accidents and leaks, but at the same time their use must leave the smallest possible environmental footprint and always comply with the legislation. Finally, even in the worst case of a hydrocarbon leak in the marine environment, a rapid and effective response is necessary.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – Διαδικασίες Γεωτρήσεων

1.1. Περιστροφική Διάτρηση

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται κυρίως στις γεωτρήσεις για την εύρεση υδρογονανθράκων είναι η περιστροφική διάτρηση. Στην περιστροφική διάτρηση το κοπτικό άκρο είναι τοποθετημένο στο κάτω άκρο της διατρητικής στήλης που στηρίζεται με ένα σύστημα τροχαλιών σε ένα πύργο και γίνεται ταυτόχρονη κυκλοφορία πολφού μέσω ακροφύσιων του κοπτικού άκρου. Η διάτρηση πραγματοποιείται όταν η διατρητική στήλη και το κοπτικό άκρο περιστρέφονται ενώ το βάρος των αντίβαρων και του κοπτικού άκρου πέφτει στους σχηματισμούς.

Τα κοπτικά άκρα που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι:

1. Με περιστρεφόμενους κώνους (roller cone bit),
2. Αδαμαντοκορώνες (diamond bits),
3. Πολυκρυσταλλικά συμπαγή αδαμαντοτρύπανα (Polycrystalline Diamond Compact bits ή PDC)

Τα κοπτικά άκρα με περιστρεφόμενους κώνους έχουν δύο ή τρεις κοπτήρες σε σχήμα κώνου που περιστρέφονται καθώς περιστρέφεται το κοπτικό άκρο.¹ Τα δόντια που βρίσκονται στην επιφάνεια του κοπτικού άκρου τρυπούν τα πετρώματα καθώς η διατρητική στήλη κινείται προς τα κάτω. Καθώς ο κώνος κυλά, το κοπτικό άκρο ανασηκώνεται από το κάτω μέρος της οπής και ένας πίδακας πολφού χτυπά τα θραύσματα για να τα αφαιρέσει από το κάτω μέρος της οπής. Καθώς συμβαίνει αυτό, ένα άλλο δόντι έρχεται σε επαφή με το κάτω μέρος της οπής και δημιουργεί νέα θραύσματα, δηλαδή, η διαδικασία διάνοιξης και απομάκρυνσης των θραυσμάτων είναι συνεχής.²

¹ Swaco M. I. (1998). Drilling Fluid Engineering Manual. Drill Bits. pp 6-7.

² Roller cone bit. Energy Glossary. Schlumberger.
(https://glossary.slb.com/en/terms/r/roller_cone_bit)



Εικόνα 1: Τρίκωνο Κοπτικό Άκρο (Πηγή: <https://www.greatdrillbit.com/product/120-u-shaped-roller-bit.html>).

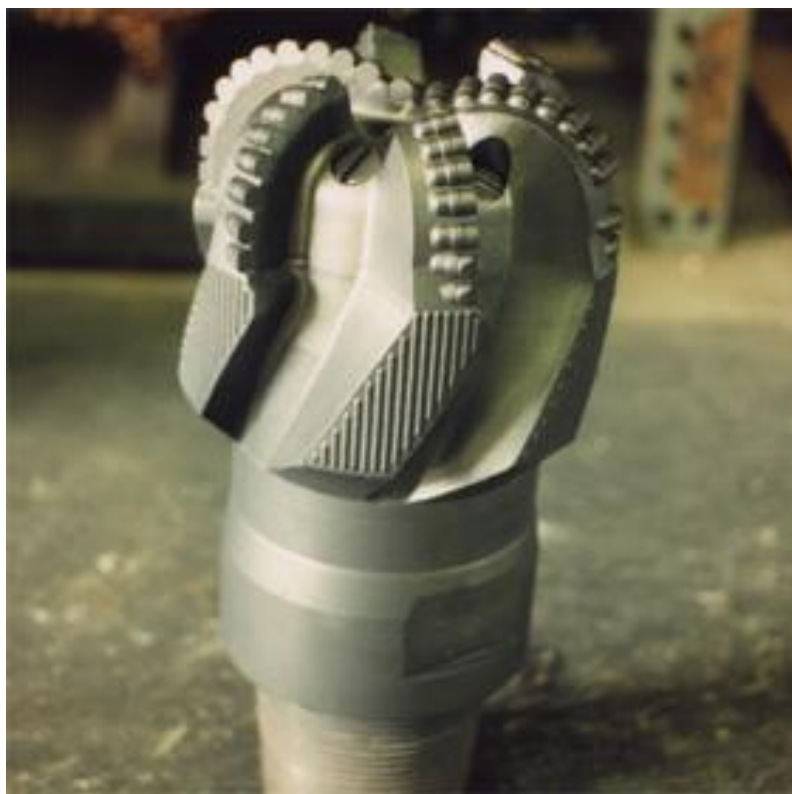
Οι αδαμαντοκορώνες αποτελούνται από διαμάντια ενσωματωμένα σε μια ενιαία μεταλλική δομή. Υπάρχουν απεριόριστοι συνδυασμοί για τον σχεδιασμό τους που συνδυάζουν το σχήμα των άκρων, την τοποθέτηση των υδραυλικών θυρών για την εκτόξευση του πολφού, την ποιότητα και το μέγεθος των διαμαντιών που χρησιμοποιούνται. Γενικά ένα ρομβικό κομμάτι δίνει μεγαλύτερους ρυθμούς διάτρησης όμως, έχει μικρότερη διάρκεια ζωής. Επιπλέον, ένα κοπτικό άκρο με μικρό αριθμό διαμαντιών (light-set) είναι πιο επιθετικό αλλά έχει μικρότερη διάρκεια ζωής από ένα άκρο με μεγάλο αριθμό διαμαντιών (heavy-set) που είναι ανθεκτικότερο.³



Εικόνα 2: Αδαμαντοκορώνες (Πηγή: <https://www.drillingcourse.com/2016/01/natural-diamonds-drilling-bits.html>).

³ Diamond Bit. Energy Glossary. Schlumberger. (https://glossary.slb.com/en/terms/d/diamond_bit)

Τα πολυκρυσταλλικά συμπαγή αδαμαντοτρύπανα έχουν τεράστια ανάπτυξη ως εργαλεία γεωτρήσεων πετρελαίου. Αποτελούνται από μια σταθερή κεφαλή που περιστρέφεται χωρίς να περιέχουν άλλα μέρη που κινούνται ξεχωριστά.⁴ Στις σταθερές κεφαλές προστίθεται κόπτες PDC που είναι δίσκοι συνθετικών διαμαντιών πάχους περίπου 1/8 ίντσας και διαμέτρου περίπου 1/2 έως 1 ίντσας.⁵



Εικόνα 3: Πολυκρυσταλλικό συμπαγές αδαμαντοτρύπανο (Πηγή: https://glossary.slb.com/en/terms/p/polycrystalline_diamond_compact_bit).

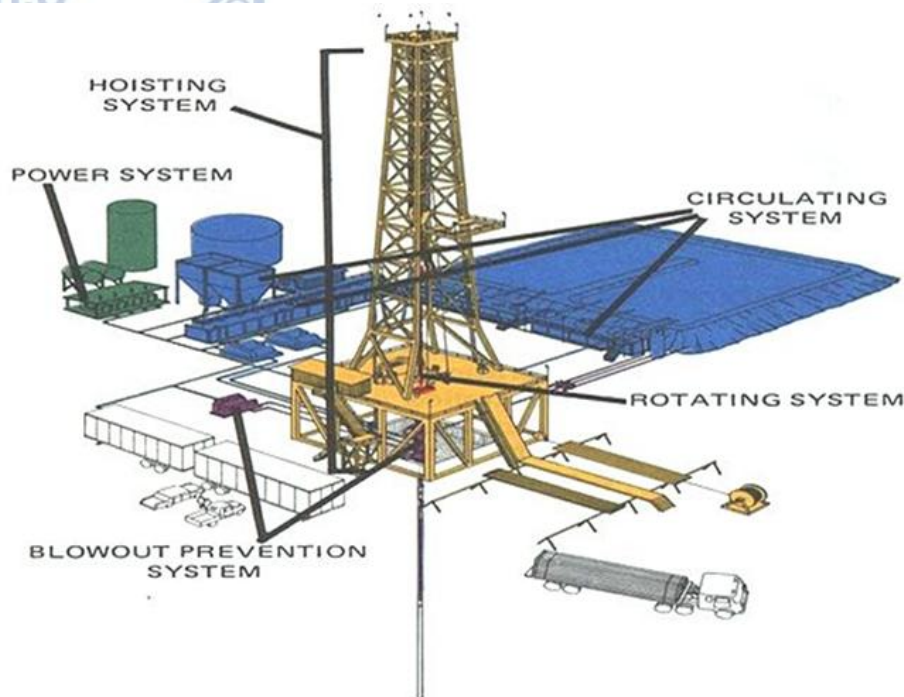
Σε κάθε γεωτρητικό σύστημα υπάρχουν πέντε 5 βασικά συστήματα, με μικρές διαφορές που μπορεί να παρουσιάζουν. Αυτά είναι:

1. Το σύστημα ενεργειακής τροφοδοσίας (power system)
2. Το σύστημα ανύψωσης της διατρητικής στήλης (hoisting system)
3. Το σύστημα περιστροφής (rotary system)
4. Το σύστημα κυκλοφορίας του πολφού (circulation system)
5. Το σύστημα BOP (blowout prevention system).⁶

⁴ PDC drill bits. PetroWiki. (https://petrowiki.spe.org/PDC_drill_bits).

⁵ Polycrystalline diamond compact (PDC) bit. Energy Glossary. Schlumberger. (https://glossary.slb.com/en/terms/p/polycrystalline_diamond_compact_bit).

⁶ Gregory King (2020). Major Systems on a Drilling Rig.



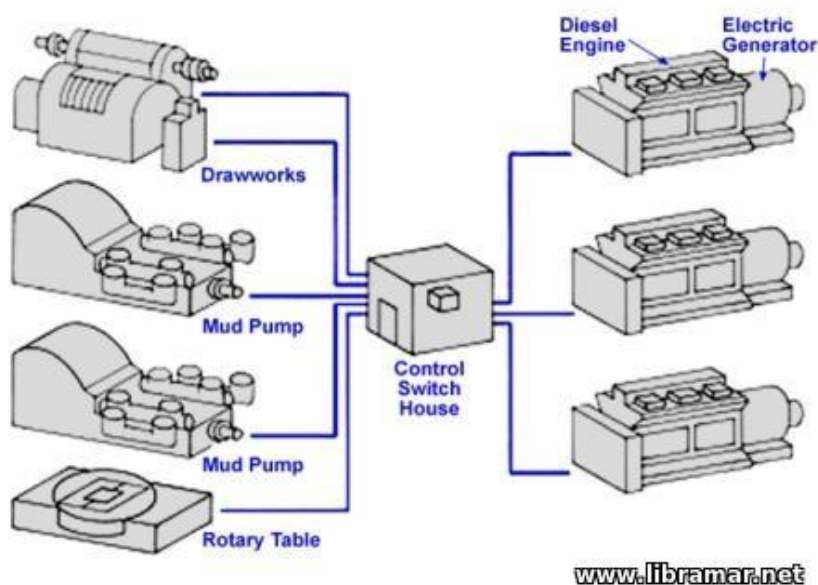
Εικόνα 4: Τα βασικά συστήματα της περιστροφικής διάτρησης (Πηγή: Serintel: Oil and Gas Portal Drilling Technologies)

1.1.1. Σύστημα Ενεργειακής Τροφοδοσίας

Το σύστημα ενεργειακής τροφοδοσίας έχει βασικό ρόλο σε μία γεώτρηση, καθώς είναι αυτό που τροφοδοτεί τα υπόλοιπα συστήματα (ανύψωσης, περιστροφής, κυκλοφορίας, BOP) με την κατάλληλη ηλεκτρική ενέργεια. Ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε γεώτρησης μπορεί να χρησιμοποιηθούν από δύο έως τέσσερα συστήματα κινητήρων τα οποία μετατρέπουν την ενέργεια των diesel κινητήρων σε ηλεκτρική.⁷ Οι ηλεκτρικοί κινητήρες diesel σε σχέση με παλαιότερες μεθόδους ενεργειακής τροφοδοσίας παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα με κύρια το μειωμένο κόστος, την εξοικονόμηση ενέργειας, την αποτελεσματικότητα, τον μικρότερο χρόνο συναρμολόγησης και τον μικρότερο χώρο που καταλαμβάνουν οι υποδομές που παίζει μεγάλο ρόλο στις γεωτρήσεις που πραγματοποιούνται στη θάλασσα.

⁷ Rotary Drilling Rig Power system. Rig Skills. (<https://rigskills.com/drilling-rig-power-system/>).

Οι κινητήρες είναι εσωτερικής καύσης, δηλαδή ένα μείγμα καυσίμων και αέρα καίγεται μέσα στη μηχανή. Αρχικά, από τους κινητήρες παράγεται μηχανική ενέργεια η οποία στη συνέχεια μέσω των ηλεκτρικών γεννητριών μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Πιο ειδικά, υπάρχουν SCRs ή πυριτικοί ανορθωτές που μετατρέπουν το AC σε DC που ρέει στους κινητήρες.⁸ Η ενέργεια που παράγεται από τις γεννήτριες μεταφέρεται μέσω βαρέως τύπου καλώδια στα διάφορα μέρη του γεωτρητικού εξοπλισμού που την χρειάζονται. Οι γεωτρηπανιστές ελέγχουν την μεταφορά ισχύος από το πάτωμα της εξέδρας με χειριστήρια και διακόπτες.⁹



Εικόνα 5: Η διαδρομή της παραγόμενης ενέργειας

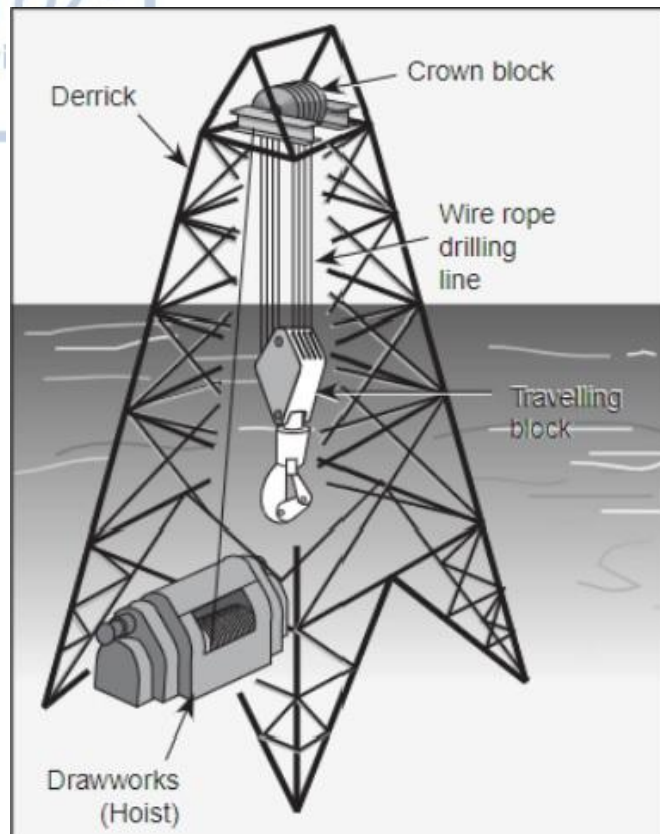
1.1.2. Σύστημα Ανύψωσης της Διατρητικής Στήλης

Ένα άλλο πολύ σημαντικό σύστημα είναι το σύστημα ανύψωσης το οποίο αποτελείται από ένα βαρούλκο (drawworks), έναν πύργο (derrick), ένα σταθερό σύστημα τροχαλιών (crown block), ένα κινητό σύστημα τροχαλιών (travelling block) και τα συρματόσχοινα (drilling line).¹⁰

⁸ Libramar – Maritime Downloads .(2018). Introduction to Offshore Rig Power από https://www.libramar.net/news/introduction_to_offshore_rig_power/2018-10-07-3847

⁹ Baker R. (2004). Oil and Natural Gas: Offshore operations, pp. 5-6. Petroleum Extension Service, University of Texas at Austin, Austin, TX.

¹⁰ Baker R. (2004). Oil and Natural Gas: Offshore operations, pp. 6. Petroleum Extension Service, University of Texas at Austin, Austin, TX.

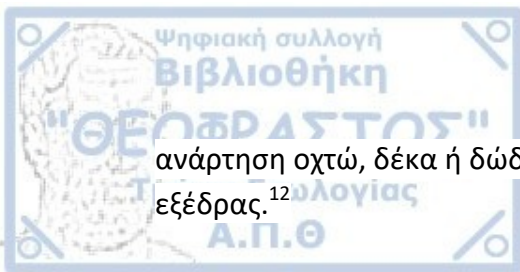


Εικόνα 6: Τα βασικά μέρη του συστήματος ανύψωσης της διατρητικής στήλης (Πηγή: Baker R. (2004). Oil and Natural Gas: Offshore operations).

Ο βασικός σκοπός του συστήματος ανύψωσης είναι να μετακινεί κατακόρυφα τη διατρητική στήλη. Το βαρούλκο περιλαμβάνει έναν κύλινδρο, γύρω από τον οποίο τυλίγεται ένα καλώδιο που συνδέεται με τα συρματόσχοινα του σταθερού και κινητού συστήματος τροχαλιών.¹¹ Με την περιστροφή του κυλίνδρου του βαρούλκου, η διατρητική στήλη κινείται είτε ανοδικά είτε καθοδικά. Κάθε βαρούλκο περιλαμβάνει τουλάχιστον δύο συστήματα φρένων, ένα μηχανικό και ένα υδραυλικό ή ηλεκτρικό. Το μηχανικό χρησιμοποιείται για τον πλήρη σταματημό της λειτουργίας του βαρούλκου, ενώ το υδραυλικό ή ηλεκτρικό φρένο χρησιμοποιείται για την ρύθμιση της ταχύτητας του κινητού συστήματος τροχαλιών.

Ο πύργος είναι μια μεταλλική δομή που στηρίζεται σε τέσσερα βοηθητικά πόδια και υποστηρίζει το βάρος του διατρητικού τρυπανιού σε όλη τη διαδικασία της γεώτρησης. Το σταθερό και το κινητό σύστημα τροχαλιών καθώς και τα συρματόσχοινα ενώνουν τον πύργο με τη διατρητική στήλη. Τα συρματόσχοινα μετακινούνται από το βαρούλκο στο σταθερό σύστημα τροχαλιών και από εκεί τυλίγεται μεταξύ αυτού και του κινητού συστήματος τροχαλιών, ώστε να δώσει μια

¹¹ Georgakopoulos A. (2020). HYDROCARBON EXPLORATION AND EXPLOITATION – Lecture Notes, pp 231-232, Aristotle University of Thessaloniki, School of Geology.



ανάρτηση οχτώ, δέκα ή δώδεκα γραμμών. Τελικά καταλήγει στο πάτωμα της εξέδρας.¹²

1.1.3. Σύστημα Περιστροφής

Το σύστημα περιστροφής περιλαμβάνει όλο τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για την περιστροφή του κοπτικού άκρου στο βάθος της γεώτρησης. Ο ρόλος του αφορά την παροχή της κατάλληλης δύναμης ώστε να γίνει η περιστροφή του κοπτικού άκρου, επιτρέπει ένα μέρος του βάρους του τρυπανιού να πιέζει το κοπτικό άκρο ώστε να γίνει η διάτρηση και τέλος παρέχει μία δίοδο για την αντλία που φέρει τον πολφό.¹³

Υπάρχουν δύο τρόποι περιστροφής, ο ένας των οποίων περιλαμβάνει Kelly και τον περιστρεπτό τροφοδότη (swivel), καθώς και την περιστροφική τράπεζα (rotary table). Το swivel εξυπηρετεί δύο βασικές λειτουργίες στην διαδικασία διάτρησης. Αποτελεί συνδετικό κρίκο του συστήματος περιστροφής και του συστήματος κυκλοφορίας του πολφού και παρέχει ένα ρευστό στρώμα επισφράγισης που απορροφά την τριβή από την περιστροφική κίνηση και διατηρεί την πίεση. Το πάνω μέρος του swivel συνδέεται με το κάτω μέρος του κινητού συστήματος τροχαλιών ενώ στο κάτω μέρος του είναι συνδεδεμένο το Kelly. Η εξωτερική δομή του Kelly είναι συνήθως εξαγωνική ενώ μπορεί να είναι και τετραγωνική ώστε να πραγματοποιείται με ευκολία η περιστροφή. Αποτελεί ένα ακριβό κομμάτι του γεωτρητικού εξοπλισμού καθώς κατασκευάζεται από υψηλής ποιότητας επεξεργασμένο χάλυβα.¹⁴ Ανάμεσα στο Kelly και στο ανώτερο τμήμα του διατρητικού στελέχους βρίσκεται ένα Kelly sub για την αποφυγή τη φθοράς του Kelly κάθε φορά που συνδέεται ένας καινούργιος σωλήνας κατά τις διαδικασίες της διάτρησης.¹⁵ Τέλος, σε κάθε άκρη του Kelly βρίσκονται τα Kelly cocks, δηλαδή βαλβίδες που όταν κλείσουν, περιορίζουν τις πιέσεις μέσα στη διατρητική στήλη.¹⁶

¹² Drilling Course (2015). Drilling Rig Systems (<https://www.drillingcourse.com/2015/12/drilling-rig-systems.html>).

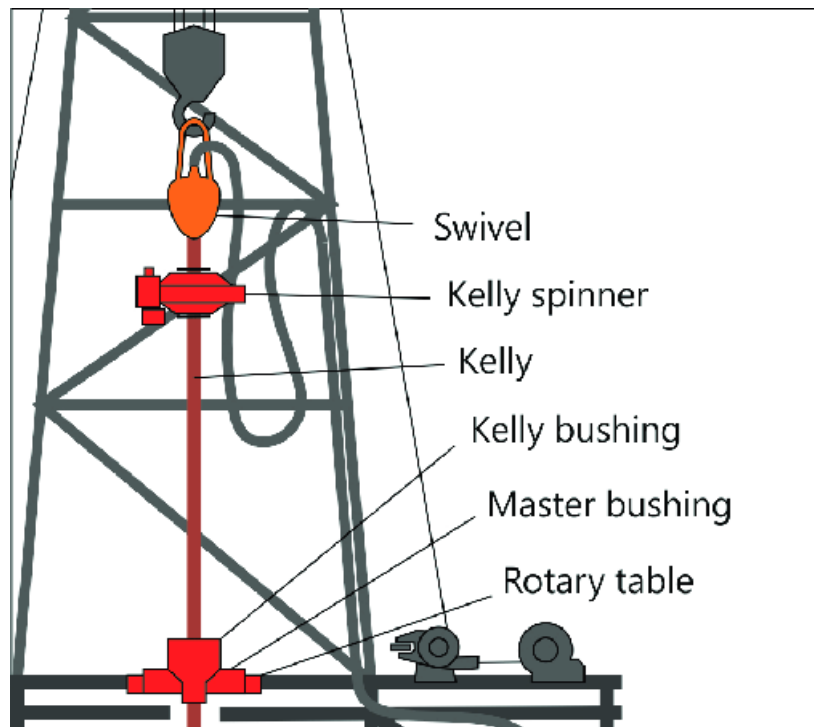
¹³ Petroleum Extension – The University of Texas at Austin. Rotary, Kelly, Swivel, tongs and Top Drive. First Edition pp 3.

¹⁴ Rotary drilling rig and circulation systems. PETROBLOGGER.COM (<http://www.ingenieriadepetroleo.com/rotary-drilling-rig-circulation-system/>).

¹⁵ Drilling Rig Rotary System (2017). Oil Field Team (<https://oilfieldteam.com/en/a/learning/Drilling-Rig-Rotary-System>).

¹⁶ Blowout Prevention Equipment Systems for Drilling Wells (2012). Upstream Segment, Fourth Edition.

Η περιστροφική τράπεζα τοποθετείται στο πάτωμα της εξέδρας και είναι υπεύθυνη για την περιστροφή της διατρητικής στήλης και του κοπτικού άκρου με δεξιόστροφη φορά.¹⁷ Η περιστροφή τους γίνεται μέσω του Kelly. Η περιστροφική τράπεζα έχει μία υποδοχή στο κέντρο της στο οποίο εισέρχεται και εφαρμόζει το Kelly και με την περιστροφή της τράπεζας περιστρέφεται το Kelly και η διατρητική στήλη. Το Kelly, που έχει μήκος περίπου 40 πόδια μπορεί να κινείται κατακόρυφα και προς τις δύο κατευθύνσεις, ώστε το κοπτικό άκρο να βρίσκεται στην επιθυμητή κάθε φορά θέση. Όταν το Kelly βρεθεί στο ίδιο επίπεδο με αυτό του δαπέδου της εξέδρας αποχωρίζεται από τη διατρητική στήλη ώσπου να προσδεθεί ένα καινούργιο στέλεχος και να ξαναρχίσουν οι διατρητικές διαδικασίες.¹⁸



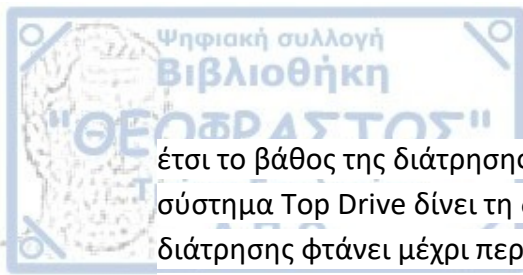
Εικόνα 7: Τα βασικά μέρη του συστήματος περιστροφής με Kelly (Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Rotating-equipment-of-the-drilling-rig_fig5_322987413)

Ο δεύτερος τρόπος περιστροφής περιλαμβάνει το σύστημα Top Drive. Η μέθοδος αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 80' και είναι αυτή που χρησιμοποιείται κυρίως στις γεωτρήσεις βαθιάς θάλασσας.¹⁹ Το Top Drive περιστρέφει την διατρητική στήλη χρησιμοποιώντας έναν υδραυλικό κινητήρα ο οποίος βρίσκεται τοποθετημένος στην κορυφή του πύργου (derrick). Σε αυτόν το τρόπο δεν χρησιμοποιούνται τα Kelly και

¹⁷ Rotaty Table. Schlumberger – Oil Field (https://glossary.oilfield.slb.com/en/terms/r/rotary_table).

¹⁸ Swaco M. I. (1998). Drilling Fluid Engineering Manual. Drill Bit Rotation. pp 9-10.

¹⁹ Science & Technology Management Department of China National Petroleum Corporation (2011). Top Drive Drilling System pp 3.



έτσι το βάθος της διάτρησης μπορεί να είναι μεγαλύτερο από ένα μόνο στέλεχος. Το σύστημα Top Drive δίνει τη δυνατότητα γεώτρησης με τρία στελέχη. Έτσι το βάθος διάτρησης φτάνει μέχρι περίπου τα 90 πόδια σε αντίθεση με τη μέθοδο των Kelly όπου έφτανε μέχρι τα 30 πόδια.

Το Top Drive επιτρέπει την περιστροφή και την κυκλοφορία του πολφού το διάστημα που η στήλη ανεβαίνει στην επιφάνεια κάτι που δεν συμβαίνει με τη μέθοδο των Kelly.²⁰ Με αυτόν τον τρόπο ο γεωτρυπανιστής μπορεί να αντικαταστήσει τα κομμάτια εύκολα και γρήγορα.²¹ Άλλα σημαντικά πλεονεκτήματα του Top Drive είναι η μεγάλη ασφάλεια που προσφέρει, ο μειωμένος χρόνος και το μειωμένο κόστος λειτουργίας, ο μικρός αριθμός ανθρώπινου δυναμικού που απαιτείται και η γενικότερη αποτελεσματικότητά του.²²

1.1.4. Σύστημα Κυκλοφορίας του Πολφού

Η κυκλοφορία πολφού ή αλλιώς λάσπης κατά τη διάννοιξη μιας γεώτρησης είναι εξαιρετικά σημαντική για τη σωστή λειτουργία της. Τα βασικά μέρη ενός συστήματος κυκλοφορίας πολφού είναι οι δεξαμενές πολφού και οι αντλίες πολφού.

Η συνεχής κυκλοφορία του πολφού έχει πολλά οφέλη. Οι 4 βασικές λειτουργίες του είναι:

1. Η ψύξη και η λίπανση της διατρητικής στήλης και του κοπτικού άκρου
2. Ο καθαρισμός της γεώτρησης από τα θραύσματα
3. Η άσκηση κατάλληλων υδροστατικών πιέσεων στα περιβάλλοντα πετρώματα για την αποφυγή εισροής ρευστών στην γεώτρηση και
4. Η σταθεροποίηση των πετρωμάτων.²³

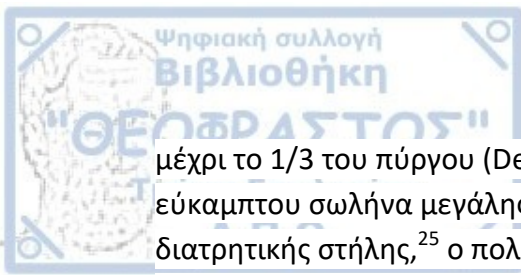
Οι αντλίες πολφού είναι έμβολα θετικής μετατόπισης που παράγουν μεγάλες πιέσεις και τροφοδοτούνται από ηλεκτροκινητήρες ή κινητήρες diesel. Για την παραγωγή της κατάλληλης κάθε φορά απαιτούμενης πίεσης και ταχύτητας ροής είναι σημαντική η επιλογή κατάλληλου μεγέθους εμβόλου και ακροφύσιου. Μετά την έξοδο του από την αντλία ο πολφός εισέρχεται στον Standpipe, έναν κάθετο άκαμπτο μεταλλικό σωλήνα που επιτρέπει στον πολφό υψηλής πίεσης να φτάσει

²⁰ What is the Top Drive System? (2016). DrillingFormulas.com
(<https://www.drillingformulas.com/what-is-top-drive-system/>)

²¹ Swaco M. I. (1998). Drilling Fluid Engineering Manual. Top Drive. pp 10.

²² Niharika Vyas (2019). Top Drive Drilling: Advantages and Market Analysis.

²³ Fall 14 H. AlamiNia Drilling Engineering 1 Course (3rd Ed.) pp 4



μέχρι το 1/3 του πύργου (Derrick).²⁴ Στη συνέχεια, μέσω του Kelly Hose, ενός εύκαμπτου σωλήνα μεγάλης διαμέτρου που επιτρέπει την κατακόρυφη κίνηση της διατρητικής στήλης,²⁵ ο πολφός μετακινείται στο swivel και μετά στο Kelly. Έπειτα, διασχίζει την διατρητική στήλη και φτάνει στο κοπτικό άκρο το οποίο διαθέτει δύο ή περισσότερα ακροφύσια που εξέρχεται ο πολφός με υψηλή ταχύτητα. Με αυτόν τον τρόπο, ο πολφός καθαρίζει τόσο το κοπτικό άκρο όσο και το πάτωμα του πετρώματος που θα κόψει το κοπτικό άκρο. Τα θραύσματα στη συνέχεια θα μεταφερθούν στην επιφάνεια μέσω του δακτυλιοειδούς διαστήματος (annulus), που είναι το διάστημα μεταξύ της διατρητικής στήλης και των τοιχωμάτων των περιβαλλόντων πετρωμάτων.

Ο πολφός, μαζί με τα θραύσματα, που έχουν φτάσει στην επιφάνεια διοχετεύονται μέσω ενός σωλήνα μεγάλης διαμέτρου (Return Line) σε δονούμενα κόσκινα (shale shaker). Με αυτόν τον τρόπο διαχωρίζονται, αφού ο πολφός διαπερνά το πλέγμα του κόσκινου ενώ τα θραύσματα παραμένουν πάνω σε αυτό. Ο πολφός μεταβιβάζεται στα mud pits, που είναι μεγάλες μεταλλικές δεξαμενές που συνδέονται μεταξύ τους με σωλήνες. Αρχικά, βρίσκεται ο λάκκος καθίζησης (Settling Pit) που δεν ανακατεύεται και έτσι μεγαλύτερα σωματίδια που δεν αποχωρίστηκαν από τα κόσκινα, καθιζάνουν.²⁶ Στη συνέχεια ο πολφός μεταφέρεται σε λάκκο που ανακατεύεται και καθαρίζεται. Μεταφέρεται, τέλος, στον λάκκο αναρρόφησης όπου αντλίες τον τραβούν για επαναχρησιμοποίηση. Ο λάκκος αναρρόφησης χρησιμοποιείται επίσης και για την χημική επεξεργασία και την προσθήκη πρόσθετων συστατικών του πολφού πριν την κυκλοφορία του.²⁷ Τα θραύσματα που παραμένουν στο κόσκινο είτε υπόκεινται σε επεξεργασία και απομακρύνονται είτε συλλέγονται σε διαφορετικό λάκκο (Waste Cutting Pit) όπου παραμένουν για επιπλέον επεξεργασία.²⁸

²⁴ Standpipe. Schlumberger – Energy Glossar (<https://glossary.slb.com/en/terms/s/standpipe>).

²⁵ Kelly Hose. Schlumberger – Energy Glossar (https://glossary.slb.com/en/terms/k/kelly_hose).

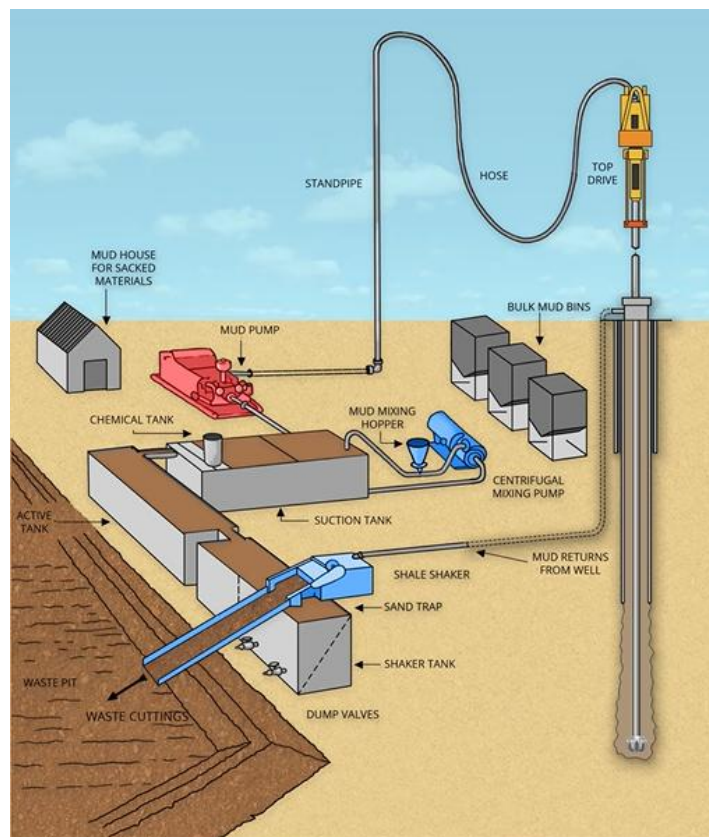
²⁶ Settling Pit. Explore Energy Glossar. (https://glossary.slb.com/en/terms/s/settling_pit0

²⁷ Swaco M. I. (1998). Drilling Fluid Engineering Manual. MUD CIRCULATION AND SOLIDS REMOVAL. pp 12-13.

²⁸ Sharif MDA, Nagalakshmi NVR, Reddy SS, Vasanth G, Uma Sankar K (2017) Drilling Waste Management and Control the Effects. J Adv Chem Eng 7: 166. doi: 10.4172/2090-4568.1000166. pp 1.



Εικόνα 8: Δονούμενα Κόσκινα (Πηγή: <http://oilfield.gnsolidscontrol.com/linear-motion-shale-shaker-vs-balanced-elliptical-motion-shaker/>)



Εικόνα 9: Βασικά μέρη συστήματος κυκλοφορίας πολφού (Πηγή: Norwell EDGE)

Η κυκλοφορία του πολφού κατάλληλης πυκνότητας στο δακτυλιοειδές διάστημα παρέχει τις κατάλληλες υδροστατικές πιέσεις που απαιτούνται για την συγκράτηση των ρευστών από τα πετρώματα. Παρόλα αυτά, τα ρευστά αυτά εισέρχονται στη γεώτρηση σε περιπτώσεις ακραίων πιέσεων όπως σε αυτή που το στρώμα που έγινε η διάτρηση περιέχει υδρογονάνθρακες. Σε τέτοιες περιπτώσεις και για την αποφυγή εκρήξεων ή φαινομένων "kick", δηλαδή μια ανεπιθύμητη ροή υδρογονανθράκων μέσα στη γεώτρηση,²⁹ που θα έχουν καταστροφικές συνέπειες για το εργατικό δυναμικό, τον εξοπλισμό καθώς και το περιβάλλον, χρησιμοποιείται το BOP.³⁰³¹

Το σύστημα BOP ενεργοποιείται όταν η εισροή ρευστών στη γεώτρηση γίνει ανεξέλεγκτη. Πρόκειται για ένα σύνολο εξειδικευμένων μηχανικών βαλβίδων συναρμολογημένων με τέτοιο τρόπο ώστε να σφραγίζουν τη γεώτρηση σε τέτοιες περιπτώσεις. Ανάλογα με το βάθος της γεώτρησης και άλλων παραγόντων, τοποθετείται ο κατάλληλος αριθμός BOP βιδωμένα μεταξύ τους. Τα κύρια μέρη σε ένα υποθαλάσσιο σύστημα είναι: ένα ή δύο Annular Preventers, τρία έως έξι προστατευτικά εμβόλου (ram preventers), συνδέσμους (connectors)(κεφαλή φρεατίου και LMRP³², τα οποία συνδέουν το BOP με την γεώτρηση και τα risers αντίστοιχα) και μια σειρά από βαλβίδες και σωλήνες choke and kill, τα οποία χρησιμοποιούν για τον χειρισμό των υπό πίεση ρευστών που αντλούνται από τη γεώτρηση.

Τα Risers είναι από τους πιο συχνά χρησιμοποιούμενους εξοπλισμούς για τις γεωτρήσεις βαθιάς θάλασσας. Συνδέονται στον BOP μέσω των LMRP και φτάνουν μέχρι την επιφάνεια της θάλασσας όπου βρίσκονται οι εξέδρες. Καθώς οι θαλάσσιες εξέδρες μπορεί να κινούνται κατά τη γεωτρητική διαδικασία, εξαιτίας των καιρικών συνθηκών που επικρατούν στην επιφάνεια ή των θαλάσσιων ρευμάτων, το σύνολο

²⁹ F. D. Maio, Baraldi P., Eslamian A., Zio E., Magno C., Jacinto C. (2022). A dynamic event tree for a blowout accident in an oil deep-water well equipped with a managed pressure drilling condition monitoring and operation system. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 79 (2022) 104834. pp 3.

³⁰ Swaco M. I. (1998). *Drilling Fluid Engineering Manual*. BLOWOUT PREVENTERS. pp 13.

³¹ Wang Li., Yang Tang, Yufa He. (2019). Simulation and experimental analysis of critical stress regions of deep-water annular blowout preventer. *Engineering Failure Analysis* 106 (2019) 104161. pp 1.

³² Tobi E., Mahmood S. (2020). Reliability analysis of subsea blowout preventers with condition-based maintenance using stochastic Petri nets. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 63 (2020) 104026. pp. 1-2.

των σωλήνων που αποτελούν τα Risers έχουν κάποια ευελιξία.³³ Κάτι τέτοιο είναι πολύ σημαντικό για μια ασφαλή γεώτρηση.³⁴

Το BOP έχει διατηρήσει την πολύ σημαντική αξία του στη λειτουργία μιας γεώτρησης από τότε που ανακαλύφθηκε, στις αρχές του 1900, έχοντας υποστεί ελάχιστες αλλαγές χάρη στη φύση και την πολυπλοκότητα του. Ωστόσο, καθώς οι γεωτρήσεις γίνονται όλο και πιο βαθιές είναι απαραίτητο να γίνονται συνεχείς βελτιώσεις και αξιολογήσεις για την αποφυγή ατυχημάτων.³⁵

1.2. Σωλήνωση - Τσιμέντωση

Από το 1890 που ξεκίνησε η χρήση της σωλήνωσης ταυτόχρονα με την διάτρηση σε πιθανούς σχηματισμούς που μπορεί να προκαλούσαν προβλήματα, όπως σχηματισμοί χαμηλής πίεσης που θα προκαλούσαν απώλεια στην κυκλοφορία πολφού, μέχρι σήμερα, η διαδικασία έχει εξελιχθεί σημαντικά. Η σωλήνωση είναι πολύ σημαντική καθώς διατηρεί σταθερά τα τοιχώματα του φρέατος σε όλη τη διάρκεια της ερευνητικής διαδικασίας και επιπλέον, διαχωρίζει τα τοιχώματα των γύρω σχηματισμών από τη γεώτρηση.³⁶

Τα τοιχώματα των σχηματισμών πρέπει να καλύπτονται και να προστατεύονται περιοδικά από ένα χαλύβδινο σωλήνα. Οι σωλήνες αυτοί ονομάζονται casings και liners. Ο όρος casing αναφέρεται στους σωλήνες που ξεκινούν από την επιφάνεια και φτάνουν μέχρι το κάτω μέρος της γεώτρησης ενώ ο όρος liner αναφέρεται στους σωλήνες στους οποίους το άνω άκρο δεν φτάνει μέχρι την επιφάνεια των σχηματισμών αλλά βρίσκεται μέσα στη γεώτρηση και επικαλύπτει το κάτω μέρος του τελευταίου casing ή liner.

Δύο, τρεις ή περισσότεροι σωλήνες casing μπορεί να τοποθετηθούν σε μια γεώτρηση. Αυτός με τη μεγαλύτερη διάμετρο τοποθετείται εξωτερικά και ο κάθε επιπλέον σωλήνας που τοποθετείται έχει μικρότερη διάμετρο από τον

³³ Huanhuan W., Jin Y., Svein S., Bernt J. L., Dongyufu Z., Zhiqiang H., Fei X., Wenxing W. (2021). Mechanical analysis of drilling riser based on pipe-in-pipe mode. Applied Ocean Research 116 (2021) 102853. pp 1-2.

³⁴ Qin K., Di Q., Zhou X., He Y., Wang W., Chen F., Zhang H. (2021). Nonlinear dynamic characteristics of the drill-string for deep-water and ultra-deep water drilling. Journal of Petroleum Science and Engineering 209 (2022) 109905. pp 1-2.

³⁵ Mahmood S., Tobi E., Evenye E. (2020). Subsea blowout preventer (BOP): Design, reliability, testing, deployment, and operation and maintenance challenges. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 66 (2020) 104170. pp 1-3.

³⁶ Shi L., Luo K., Wang J., Feng D., Zhang H., Cao X. (2020). Failure analysis of an offshore drilling casing under harsh working conditions. Engineering Failure Analysis 120 (2021) 105018. pp 1.

προηγούμενο. Αντίθετα ο σωλήνας που βρίσκεται πιο εσωτερικά και έχει τη μικρότερη διάμετρο από τους υπόλοιπους είναι αυτός με το μεγαλύτερο μήκος, δηλαδή, φτάνει σε μεγαλύτερο βάθος μέσα στη γεώτρηση. Το μήκος των casings μειώνεται προς τα έξω. Οι τύποι casing που χρησιμοποιούνται σε μια θαλάσσια ερευνητική γεώτρηση είναι οι εξής:

- Δομική σωλήνωση (Structural casing)
- Σωλήνωση επαφής (conductor casing)
- Επιφανειακή σωλήνωση (surface casing)
- Ενδιάμεση σωλήνωση (intermediate casing string)

Η δομική σωλήνωση είναι η πρώτη που τοποθετείται. Είναι σωλήνας μεγάλης διαμέτρου με βαρέα τοιχώματα που είναι σχεδιασμένος να προστατεύει τη σωλήνωση επαφής από την κάμψη των risers.³⁷ Η σωλήνωση επαφής βρίσκεται σε βάθος περίπου 50-100 μέτρα και σκοπός της είναι η σταθεροποίηση των μη συνεκτικών σχηματισμών και η προστασία των υδροφόρων οριζόντων από μολύνσεις εξαιτίας του πολφού. Η επιφανειακή σωλήνωση βρίσκεται σε βάθος 200-800 μέτρα και οι κύριες λειτουργίες της αφορούν την στεγανοποίηση και τη στήριξη της γεώτρησης καθώς και του εξοπλισμού BOP. Η ενδιάμεση σωλήνωση χρησιμοποιείται για την σφράγιση της γεώτρησης και την αποτροπή προβλημάτων (όταν η πυκνότητα του πολφού δεν είναι αρκετή για να αντέξει τη πίεση κάποιων σχηματισμών με ανώμαλα υψηλές πιέσεις) και παρέχει ασφάλεια για περαιτέρω διάτρηση.³⁸ Τέλος, μετά από την ενδιάμεση σωλήνωση μπορεί να προστεθεί κάποιος άλλος σωλήνας casing ή liner.

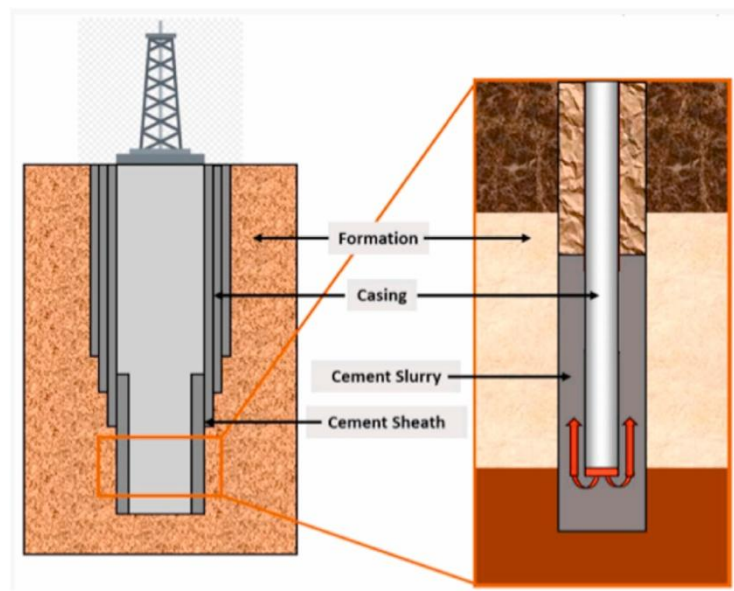
Η σωλήνωση πραγματοποιείται με τη χρήση ενός ειδικά διαμορφωμένου γεωτρύπανου ή με τη χρήση ενός συμβατικού που έχει υποστεί τροποποιήσεις. Κάτω από το Top Drive τοποθετείται το Casing Drive System (CDS) το οποίο προσφέρει σύνδεση, περιστροφή και κυκλοφορία της στήλης σωλήνωσης. Μία αυτοματοποιημένη υδραυλική πλατφόρμα που ονομάζεται V-Door μεταφέρει τους σωλήνες casings στο σημείο της γεώτρησης, οι οποίοι στη συνέχεια συλλέγονται από έναν υδραυλικό ανελκυστήρα μονής άρθρωσης, που είναι συνδεδεμένος με το CDS. Η μέθοδος της ταυτόχρονης σωλήνωσης και διάτρησης έχει σημαντικά πλεονεκτήματα μερικά εκ των οποίων είναι ο μικρότερος χρόνος, η μεγαλύτερη

³⁷ API RP 64, Recommended Practice for Diverter Systems Equipment and Operations, Second Edition, November 2001 (March 1, 2007).

³⁸ Khosravianian R., B. S. Aadnoy. (2016). Optimization of casing string placement in the presence of geological uncertainty in oil wells: Offshore oilfield case studies. Journal of Petroleum Science and Engineering 142 (2016) 141–151. pp 2.

ασφάλεια, η χρήση μικρότερων εξέδρων, οι μικρότερες απαιτήσεις σε ενέργεια και η μείωση των εκπομπών.³⁹

Αφού τοποθετηθεί η σωλήνωση στο εσωτερικό της γεώτρησης ένα μείγμα τσιμέντου αντλείται στο δακτυλιοειδές διάστημα (annulus). Η σωλήνωση περιστρέφεται παλινδρομικά κατά την τσιμέντωση.⁴⁰ Η πίεση ωθεί τον πολφό τσιμέντου στο διάστημα μεταξύ των τοιχωμάτων των γύρω σχηματισμών και της σωλήνωσης και όταν αυτός σταθεροποιηθεί, πραγματοποιούνται δοκιμές πίεσης για τον έλεγχο της ποσότητας πολφού που μπορεί να αντέξει μελλοντικά. Αν τα αποτελέσματα των δοκιμών δεν είναι θετικά μπορεί να απαιτηθεί μια επανορθωτική διεργασία (συμπίεση). Αν η δοκιμή είναι επιτυχής, οι γεωτρητικές διεργασίες συνεχίζονται. Για κάθε καινούρια σωλήνωση που προστίθεται ακολουθείται η ίδια διαδικασία.⁴¹



Εικόνα 10: Διαδικασία Τσιμέντωσης (Πηγή: Tao et al., 2019)

1.3. Κινητές Γεωτρητικές Μονάδες Ανοιχτής Θάλασσας

³⁹ Patel D., Thakar V., Pandian S., Shah M., Sircar A. (2018). A review on casing while drilling technology for oil and gas production with well control model and economical analysis. Petroleum 5 (2019) 1–12. pp 1-3.

⁴⁰ Tipton S. (2013). Oil and Gas Cementing. EPA Technical Workshop on Well cation/Operation and Subsurface Mod Research Triangle Park, NC.

⁴¹ Swaco M. I. (1998). Drilling Fluid Engineering Manual. pp 10.

Όλες οι διαδικασίες που πραγματοποιούνται κατά την όρυξη μιας ερευνητικής γεώτρησης γίνονται σε Κινητές Γεωτρητικές Μονάδες Ανοιχτής Θάλασσας (Offshore Mobile Drilling Units – OMDU). Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι OMDU:

- Οι ανυψωμένες εξέδρες ή Jack-up,
- Οι ημιβυθιζόμενες εξέδρες ή semi-submersibles και
- Τα γεωτρητικά πλοία ή Drillships⁴²

Οι εξέδρες jack-up χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα στην θαλάσσια βιομηχανία πετρελαίου τα τελευταία 50 χρόνια. Παρέχουν ένα πολύ σταθερό περιβάλλον εξαιτίας της κατασκευής τους με τρία ή τέσσερα πόδια που στηρίζονται στον πυθμένα και μπορούν να ανυψωθούν. Άλλα πλεονεκτήματα τους αφορούν το χαμηλό κόστος, τη λειτουργία σε πληθώρα περιβαλλοντικών συνθηκών και τον απαραίτητο χώρο για τη λειτουργία μιας γεώτρησης.⁴³ Όμως η χρήση τους δεν ενδείκνυται για γεωτρήσεις σε βαθιές θάλασσες αφού το μέγιστο βάθος της θάλασσας δεν πρέπει να ξεπερνά τα 400 πόδια.⁴⁴



Εικόνα 11: Εξέδρα Jack-Up (Πηγή: <https://www.oedigital.com/news/482207-jack-up-barge-solutions-target-offshore-efficiency>)

⁴² Offshore Rig Basics. Diamond Offshore (<https://www.diamondoffshore.com/offshore-drilling-basics/offshore-rig-basics>)

⁴³ Jiang J., Wu H., Liang J., Tang D. (2013). Microstructural characterization and impact toughness of a jackup rig rack steel treated by intercritical heat treatment. J. Jiang et al. / Materials Science & Engineering A 587 (2013) 359–364360. pp 1.

⁴⁴ Y. M. A. Welaya, Elhewy A., Hegaz M. Investigation of jack-up leg extension for deep water operations. Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng. (2015) 7:288~300. pp 1-2.

Σε αντίθεση με τις εξέδρες jack-up που είναι στερεωμένες στο κάτω μέρος του πυθμένα, τόσο οι semi-submersibles όσο και τα drillships είναι πλωτές, ευέλικτες μονάδες που μπορούν χρησιμοποιηθούν για γεωτρήσεις σε βάθη έως και 12.000 πόδια.

1.3.1. Ημιβυθιζόμενες Εξέδρες ή Semi-submersibles

Οι ημιβυθιζόμενες εξέδρες είναι ιδανικές για γεωτρήσεις σε βαθιές και πολύ βαθιές θάλασσες και πάνω τους βρίσκεται όλος ο γεωτρητικός εξοπλισμός.⁴⁵

Αποτελούνται από ένα κατάστρωμα που υποστηρίζεται από βυθισμένες οριζόντιες πλατφόρμες (pontoon) που συνδέονται με το κατάστρωμα με μεγάλες κατακόρυφες δομικές κολώνες. Οι οριζόντιες αυτές πλατφόρμες δίνουν τη δυνατότητα ανύψωσης ή βύθισης της κατασκευής με την μεταβολή της ποσότητας νερού που περιέχουν. Όσο χαμηλότερα βρίσκονται κάτω από την στάθμη της θάλασσας τόσο λιγότερο επηρεάζονται από τη δράση των κυμάτων και των θαλάσσιων ρευμάτων. Το κατάστρωμα ωστόσο, παραμένει πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας σε σημείο που δεν επηρεάζεται από τα κύματα.⁴⁶ Το κύριο πλεονέκτημα των ημιβυθιζόμενων εξέδρων είναι ότι παρουσιάζουν μεγάλη σταθερότητα σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες.⁴⁷



⁴⁵ Production Semi-submersible. MODEC. (<https://www.modec.com/business/floater/semisub/>)

⁴⁶ Semi-submersible Rigs. Monitor Systems. (https://www.monitor-systems-engineering.com/semi_submersible_rigs.html)

⁴⁷ M. J. Kaiser, Snyder B. (2012). The five offshore drilling rig markets. M.J. Kaiser, B. Snyder / Marine Policy 39 (2013) 201–214. pp 2.

Εικόνα 12: Ημιβυθιζόμενη Εξέδρα (Πηγή:

https://www.researchgate.net/publication/245363838_Response_Analysis_of_a_Truss-Pontoon_Semisubmersible_With_Heave-Plates)

Οι οριζόντιες πλατφόρμες είναι βυθισμένες κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας σε όλη τη γεωτρητική διαδικασία. Κατά τη μεταβίβαση όμως της εξέδρας στον επιθυμητό προορισμό, με κατάλληλες προσαρμογές στο φορτίο του νερού που φέρουν, οι πλατφόρμες επιπλέουν στην επιφάνεια κάνοντας την διαδικασία της μεταβίβασης πολύ εύκολη.

Εφόσον η εξέδρα έχει βρεθεί στο σημείο της γεώτρησης και για να παραμείνει σε αυτό χρησιμοποιείται ένα σύστημα αγκύρωσης (Mooring System). Αποτελείται από 6, 8 ή 12 συνήθως άγκυρες που τοποθετούνται σε συγκεκριμένα κάθε φορά μοτίβα. Η εξέδρα συνδέεται με τις άγκυρες με αλυσίδες ή ατσάλινα σχοινιά ή ακόμα και με συνδυασμό των δύο.⁴⁸ Ο διατρητικός εξοπλισμός παρουσιάζει ευελιξία σε ελαφρές κινήσεις αλλά είναι σημαντικό τα risers να μην λυγίζουν περισσότερο από το όριο τους.⁴⁹ Γι' αυτό το λόγο είναι πολύ σημαντική η σταθερότητα που προσφέρουν οι συγκεκριμένες εξέδρες.

1.3.2. Γεωτρητικά Πλοία ή Drillships

Το Drillship είναι ένα αυτοκινούμενο σκάφος σε σχήμα πλοίου που χρησιμοποιείται σε γεωτρήσεις βαθιάς θάλασσας. Σε σχέση με τις ημιβυθιζόμενες εξέδρες παρουσιάζουν σημαντική διαφορά στο κόστος κατασκευής.⁵⁰

Ο πύργος του συστήματος ανύψωσης της διατρητικής στήλης συναντάται στο κέντρο του σκάφους όπου μέσω ενός μεγάλου ανοίγματος γνωστό ως "moon pool",⁵¹ η διατρητική στήλη μπορεί να κινείται μέσα από την εσωτερική δομή του σκάφους και να φτάνει με αυτόν τον τρόπο στην γεώτρηση. Μέσω ενός συστήματος αγκύρων ή πιο συχνά του συστήματος dynamic positioning, το σκάφος παραμένει απευθείας πάνω από το στόχο παρά τη δράση ρευμάτων, κυμάτων ή άλλων εξωτερικών παραγόντων.⁵²

⁴⁸ Herianto. (2017). Analysis of Offshore Drilling's Vertical Load Using Semi-Submersible Rig. Published by International Society of Ocean, Mechanical and Aerospace Scientists and Engineers. ISSN: 2442-6415. pp 1-2.

⁴⁹ Mooring Patterns. Rig Zone. (https://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=338&c_id=)

⁵⁰ Drillships. Monitor System. (<https://www.monitor-systems-engineering.com/drillships.html>).

⁵¹ M. J. Kaiser, Snyder B. (2012). The five offshore drilling rig markets. M.J. Kaiser, B. Snyder / Marine Policy 39 (2013) 201–214. pp 2.

⁵² Drillships. Subsea Oil and Gas Directory. (<https://www.subsea.org/drilling-rigs/drillships/>).



Εικόνα 13: Γεωτρητικό Πλοίο (Πηγή: <https://www.kedglobal.com/shipping-shipbuilding/newsView/ked202106290012>)

Το σύστημα Dynamic Positioning είναι ένα αυτοματοποιημένο σύστημα συγκράτησης σε μια σχετικά σταθερή θέση ως προς τον πυθμένα του ωκεανού χωρίς τη χρήση άγκυρων. Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση της φθοράς του εξοπλισμού και η μείωση της κατανάλωσης καυσίμων. Ένα σύνολο συστημάτων (συστήματα αναφοράς θέσης, γυροσκοπική πυξίδα και κατακόρυφοι αισθητήρες αναφοράς) εντοπίζει τις πιθανές μετατοπίσεις και ειδικοί κινητήρες που είναι διαρκώς συνδεδεμένοι με υπολογιστή διορθώνουν τη θέση.⁵³

Τα Drillships έχουν μεγάλη αποθηκευτική ικανότητα δίνοντας τους έτσι το πλεονέκτημα για χρήση τους σε πολύ απομακρυσμένες περιοχές.⁵⁴ Παρουσιάζουν όμως μια μικρή αστάθεια, μεγαλύτερη σε σχέση με τις υποβυθιζόμενες εξέδρες.⁵⁵

⁵³ Holvik J. (1998). Basics of Dynamic Positioning. DYNAMIC POSITIONING CONFERENCE. pp 1-6.

⁵⁴ J. A. Dutton. Drillships. Introduction to Petroleum and Natural Gas Engineering. E-Education Institute. (<https://www.e-education.psu.edu/png301/node/910>).

⁵⁵ Rigzone. (https://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=306&c_id=).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Περιβαλλοντικά Θέματα

2.1. Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

Οι μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Environmental Impact Assessments ή ΕΙΑ) εισήχθησαν ως επίσημη διαδικασία το 1969 για τον περιορισμό των ρυπογόνων δραστηριοτήτων. Από τότε έχουν υποστεί σημαντικές τροποποιήσεις και σήμερα εκτός από μια καθαρά περιβαλλοντική διάσταση περιλαμβάνει την πρόληψη και τις κοινωνικές επιπτώσεις. Μια τέτοια μελέτη βοηθά στη λήψη αποφάσεων καθώς παρέχει πληροφορίες για όλες τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εκάστοτε δραστηριότητα και προσδιορίζει τις εναλλακτικές λύσεις. Βοηθά επιπλέον, στην εξισορρόπηση των συμφερόντων όλων των ενδιαφερόμενων φορέων, επενδυτών και κυβέρνησης, και της κοινωνίας.⁵⁶

Η ολοένα και αυξανόμενη περιβαλλοντική συνείδηση της κοινωνίας ασκεί πιέσεις στις κυβερνήσεις που αναγκάζονται να αυστηροποιήσουν τις διαδικασίες για την προστασία του περιβάλλοντος. Στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου, όπως και στις υπόλοιπες βιομηχανίες, έχουν μεταβληθεί οι απαιτήσεις τα τελευταία χρόνια. Τέτοια παραδείγματα είναι η σταδιακή κατάργηση του μολύβδου και η ζήτηση diesel με χαμηλές περιεκτικότητες σε θείο.

Η βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου χωρίζεται σε 2 μεγάλες κατηγορίες:

1. Upstream και
2. Downstream

Οι ερευνητικές γεωτρήσεις κατατάσσονται στην κατηγορία του upstream. Η διενέργεια τους μπορεί να έχει καταστροφικά αποτελέσματα για το περιβάλλον αν οι επιπτώσεις δεν αξιολογηθούν και δεν αντιμετωπιστούν επαρκώς. Οι κύριες περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι:

1. **Εκπομπή αερίων και σωματιδίων** όπως πτητικές οργανικές ενώσεις, υδρογονάνθρακες, υδρόθειο, οξείδια του θείου και του αζώτου, μονοξείδια του άνθρακα και διοξείδια του άνθρακα. Οι επιδράσεις ποικίλλουν από τοπικού χαρακτήρα έως συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Οι υδρογονάνθρακες επίσης αυξάνουν τον κίνδυνο πυρκαγιών και εκρήξεων λόγω της εύφλεκτης φύσης τους.

⁵⁶ Guilhon M., Singh P., Christiansen S., Turra A. (2022). Revisiting procedural requirements for the assessment of environmental impacts arising from the different stages of deep seabed mining: Current practices at the International Seabed Authority and recommendations for improvement. Environmental Impact Assessment Review 96 (2022) 106846. pp 1-2.

2. **Εκροή λυμάτων** χωρίς κατάλληλη επεξεργασία που περιέχουν υδρογονάνθρακες και πρόσθετα συστατικά και θα μολύνουν το θαλάσσιο περιβάλλον.
3. **Διαρροές πετρελαίου ή φυσικού αερίου** που μπορεί να οδηγήσουν σε μόλυνση όχι μόνο του θαλάσσιου περιβάλλοντος αλλά και της ατμόσφαιρας.⁵⁷

2.2. Πολφοί

Οι πολφοί αποτελούν πολύ σημαντικά μέρη της διατρητικής διαδικασίας και χάρη σε αυτούς η γεώτρηση παραμένει σταθερή. Η διαφυγή και διαρροή πολφού εκτός γεώτρησης μπορεί να επιφέρει μόλυνση του περιβάλλοντος λόγω των χημικών και τοξικών συστατικών που περιέχει. Κατάλληλοι πολφοί πρέπει να χρησιμοποιούνται κάθε φορά όπως αυτοί με βάση το νερό ή το πετρέλαιο ή συνθετικοί πολφοί. Αυτό, όμως, δεν σημαίνει ότι είναι πλήρως αποδεκτοί από περιβαλλοντικής άποψης λόγω των χημικών σωματιδίων που είναι επιβλαβείς για το οικοσύστημα.⁵⁸ Περίπου το 53% των χημικών συστατικών που χρησιμοποιούνται στους πολφούς απορρίπτονται ως απόβλητα και ρυπαίνουν το περιβάλλον.⁵⁹

Για την επιλογή του καταλληλότερου πολφού σε μια βαθιά θάλασσα λαμβάνονται υπόψη οι μοναδικές συνθήκες που απαιτούν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά πολφού. Αυτές οι συνθήκες περιλαμβάνουν:

1. τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας που παίρνουν τιμές από 32°F στον πυθμένα της θάλασσας μέχρι και 300°F σε μεγάλα βάθη.
2. τις μεγάλες πιέσεις των ρηχών άμμων που φέρουν νερό, των οποίων η ροή αν δεν τεθεί υπό έλεγχο είναι ικανή να υπονομεύσει τη δομική ακεραιότητα του φρέατος.
3. το στενά περιθώρια θραύσης των πόρων εξαιτίας της μεγάλης υδροστατικής πίεσης που ασκείται σε διάτρηση μεγάλου βάθους.

⁵⁷ L. Mohamed, A. A. Al-Thukair. (2008). Environmental Assessments in the Oil and Gas Industry. Water Air Soil Pollut: Focus (2009) 9:99–105. pp 1-8.

⁵⁸ Bagum M., J. M. Ahammad, Husain T., M. E. (2021). Hossain. An experimental study to develop an environmental friendly mud additive of drilling fluid using Aloe Vera. Journal of Petroleum Science and Engineering 211 (2022) 110135.

⁵⁹ Siddique S., Kwoffie L., Addae-Afoakwa K., Yates K., Njuguna J. (2017). Oil Based Drilling Fluid Waste: An Overview on Highly Reported But Less Explored Sink For Environmentally Persistent Pollutants. 3rd International Conference on Structural Nano Composites (NANOSTRUC2016). pp 5.

4. Το ενδεχόμενο σχηματισμού ένυδρων ενώσεων ή "dirty ice". Σχηματίζονται με δεσμούς υδρογόνου μεταξύ μορίων νερού και αερίου χαμηλού μοριακού βάρους.⁶⁰

2.2.1. Πολφοί με βάση το νερό (WBM)

Οι πολφοί με βάση το νερό (water-based muds ή WBM) θεωρούνται οι πιο οικονομικοί και φιλικόι προς το περιβάλλον και είναι οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι αφού χρησιμοποιούνται στο 80% των γεωτρήσεων.⁶¹ Παρόλο που στο παραλθόν έχουν χρησιμοποιηθεί πάνω από 1.000 διαφορετικά συστατικά, σε μια σύγχρονη γεώτρηση σπάνια χρησιμοποιούνται πάνω από 10. Οι πολφοί με βάση το νερό χωρίζονται σε 3 υποκατηγορίες ανάλογα με την επίδρασή τους στην διόγκωση της αργίλου (που προκαλεί μείωση της υδροπερατότητας) και οι οποίες είναι:

1. **Ανασταλτικοί (Inhibitive)**
2. **Μη ανασταλτικοί (Non inhibitive)**
3. **Πολυμερή (Polymer)**⁶²

Εξαιτίας των πολύ αυστηρών κανονισμών που αφορούν τη χρήση πολφών με βάση το νερό στις θαλάσσιες γεωτρήσεις, ο μηχανικός πολφού έχει να επιλέξει συστατικά που θα συνδυάζουν καλή απόδοση και μικρή τοξικότητα. Το βασικό συστατικό τους είναι το νερό το οποίο είναι είτε γλυκό είτε θαλασσινό ή πρόκειται για συμπυκνωμένη άλμη και η επιλογή βασίζεται στις συνθήκες που αναμένονται να επικρατούν κάθε φορά. Άλλα κύρια συστατικά που περιλαμβάνονται στους πολφούς είναι:

1. **Συστατικά για την ρύθμιση της πυκνότητας**, όπως ο βαρύτης με προσμίξεις πυριτικών, οξειδίου του σιδήρου, ασβεστόλιθου και δολομίτη και μέταλλα με τη μορφή σουλφιδίων. Ο βαρύτης βρίσκεται σε αφθονία και αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό σε πρόσθετα συστατικά κυρίως όταν η γεώτρηση φτάνει σε μεγάλο βάθος. Σύμφωνα με τη σύμβαση OSPAR (2004) ενθαρρύνεται η χρήση ιλμενίτη αντί του βαρύτη, που έχουν σχεδόν την ίδια πυκνότητα, καθώς ο ιλμενίτης περιέχει μικρότερες ποσότητες μετάλλων σε

⁶⁰ Deepwater Drilling. PetroWiki. (https://petrowiki.spe.org/Deepwater_drilling).

⁶¹ Water-based fluids. Drilling fluid types. (https://petrowiki.spe.org/Drilling_fluid_types).

⁶² ONOJAKE, M. C. AND CHIKWE, T. N. (2017). RHEOLOGICAL PROPERTIES OF SOME OIL BASED MUDS USED IN RESERVOIRS IN THE NIGER DELTA, NIGERIA. GLOBAL JOURNAL OF PURE AND APPLIED SCIENCES VOL. 25, 2019: 39-44. pp 2.

σχέση με τον βαρύτη και έτσι θεωρείται πιο φιλική επιλογή προς το περιβάλλον.

2. **Συστατικά για την ρύθμιση του ιξώδους**, όπως ο μπεντονίτης ή σπάνια ο ατταπουλγίτης. Ο μπεντονίτης είναι το δεύτερο σε αφθονία συστατικό του πολφού και προστίθεται σε αυτόν για τη διατήρηση της κατάλληλης αντοχής ώστε τα θραύσματα να φτάσουν στην επιφάνεια. Επιπλέον, εμποδίζει την καθίζηση τόσο των θραυσμάτων όσο και του βαρύτη όταν σταματήσει η διάτρηση. Το βασικό μειονέκτημα του μπεντονίτη είναι η αδυναμία χρήσης του σε συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Στις συνθήκες αυτές αλλοιώνεται εύκολα και διασπάται με αποτέλεσμα την αλλαγή του ιξώδους που μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια ρευστών. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με την προσθήκη συνθετικών πολυμερών μεγάλης αντοχής στις υψηλές θερμοκρασίες και στην αλατότητα⁶³ ή με την προσθήκη νανοσωματιδίων σεπιολίτη.⁶⁴
3. **Thinners και Dispersants**. Πρόκειται για ουσίες που διευκολύνουν τη ροή του πολφού μέσα στη γεώτρηση⁶⁵ και χημικές ουσίες που προκαλούν διάσπαση των υγρών και στερεών σε σωματίδια μεγέθους 44 – 74 microns αντίστοιχα. ⁶⁶Καθώς το βάθος αυξάνεται είναι απαραίτητο να προστεθούν στον πολφό της γεώτρησης περισσότεροι παράμετροι στάθμισης για την εξουδετέρωση της πίεσης κάτω από την οπή. Περισσότερες ποσότητες μπεντονίτη προστίθενται για να υποστηρίξουν το βάρος του πρόσθετου βαρύτη και να μπορέσουν να ανυψώσουν τα θραύσματα. Με την προσθήκη αυτών αυξάνεται το ιξώδες του πολφού και επακόλουθα η πίεση που απαιτείται για την άντληση του αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο τον κίνδυνο απώλειας ρευστών στη γεώτρηση. Πληθώρα thinners και dispersants προστίθενται με σκοπό τη μείωση του ιξώδους και τη βελτίωση της αντλησιμότητας. Τα thinners που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι τα χρωμιούχα λιγνοσουλφικά και είναι τα πιο τοξικά μέρη ενός πολφού. Σε περιπτώσεις που ο πολφός προορίζεται για απόθεση σε ωκεανό μετά τη χρήση του, τα χρωμιούχα λιγνοσουλφικά αντικαθίστανται από λιγνοσουλφικά σιδήρου και ασβεστίου.

Υπάρχουν και άλλα συστατικά που προστίθενται στους πολφούς με βάση το νερό και είναι συνήθως περισσότερα από αυτά που προστίθενται στους πολφούς με

⁶³ Zhou B., J. P. Ramirez, Shumway B., Deville J., Galindo K. (2017). Challenging HP/HT Limits Of Water-based Drilling Fluids.

⁶⁴ Needaa A., Peyman P., Hamoud A., Jamil A. (2015). Controlling bentonite-based drilling mud properties using sepiolite nanoparticles. AL-MALKI Needaa et al. / Petroleum Exploration and Development, 2016, 43(4): 717–723. pp 1-7.

⁶⁵ Thinners Mud Conditioning Agents. (2021). (<https://www.beyonddiscovery.org/drilling-fluids/thinners-mudconditioning-agents.html>)

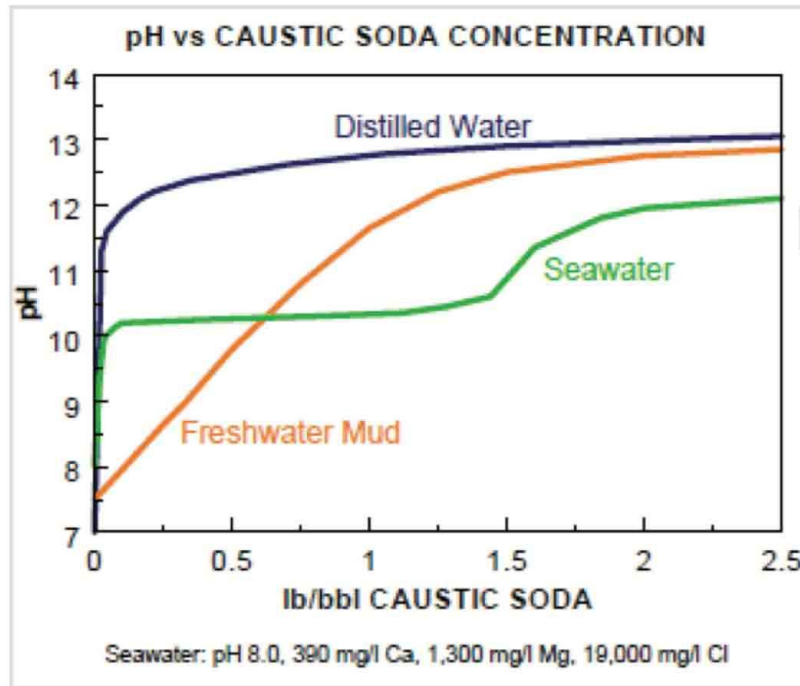
⁶⁶ Dispersant. Schlumberger. Energy Glossary. (<https://glossary.slb.com/en/terms/d/dispersant>)

βάση το πετρέλαιο ή στους συνθετικούς. Τα περισσότερα χρησιμοποιούνται σε μικρές ποσότητες και δεν θεωρούνται τοξικά. Σουλφιδικά άλατα ασφάλτου (από το υπολειμματικό κλάσμα της διύλισης αργού πετρελαίου) προστίθενται σε μικρές ποσότητες για τον έλεγχο απώλειας ρευστών σε διαπερατούς σχηματισμούς. Επίσης λιπαντικά συμπεριλαμβανομένου του καυσίμου diesel και φυτικών και ορυκτών ελαίων, χρησιμοποιούνται για την μείωση της ροπής και του κωλύματος της διατρητικής στήλης κατά τη διάρρηξη της γεώτρησης. Δεν χρησιμοποιούνται συνεχόμενα, διαχωρίζονται από τον πολφό μετά τη χρήση τους και αποτίθενται στη στεριά και όχι στον ωκεανό λόγω της μεγάλης τοξικότητας.⁶⁷ Το υδροξείδιο του νατρίου [NaOH] χρησιμοποιείται για την αύξηση και διατήρηση του pH και της αλκαλικότητας του πολφού. Το pH του πολφού με βάση το νερό πρέπει να έχει τιμή 8 – 10,5. Αλλιώς, αν το pH πάρει τιμή μικρότερη του 7 γίνεται όξινο και ρυπαίνει το περιβάλλον καθώς και διαβρώνει το εξοπλισμό. Άλλες χημικές ουσίες για τον ίδιο σκοπό είναι το ανθρακικό νάτριο [Na₂CO₃] και το υδροξείδιο του ασβεστίου [CaOH₂].⁶⁸

Στο σχήμα 8, φαίνεται η επίδραση ανάλογα με την προστιθέμενη ποσότητα του υδροξειδίου του νατρίου (caustic soda) στην τιμή του pH.

⁶⁷ Jerry M. Neff. (2005). COMPOSITION, ENVIRONMENTAL FATES, AND BIOLOGICAL EFFECTS OF WATER BASED DRILLING MUDS AND CUTTINGS DISCHARGED TO THE MARINE ENVIRONMENT: A Synthesis and Annotated Bibliography. Petroleum Environmental Research Forum (PERF) and American Petroleum Institute. pp 5-11

⁶⁸ Department of Petroleum and Gas Engineering, Delta State University, Abraka, P. M. B. 22, Oleh Campus, Nigeria. (2018). Plantain Peels Powder, Burnt Palm Head Powder and Commercial Sodium Hydroxide as Additives for Water Based Drilling Mud. J. Appl. Sci. Environ. Manage. Vol. 22 (7) 1009–1012 July 2018.



Σχήμα 1: Η τιμή του pH ανάλογα με την ποσότητα υδροξειδίου του νατρίου (Πηγή: <https://www.slb.com/drilling/drilling-fluids-and-well-cementing/drilling-fluids/drilling-fluid-additives/alkalinity-control/caustic-soda>)

Η θερμοκρασία σε βαθιές θάλασσες μπορεί να πάρει πληθώρα τιμών κάνοντας τη διαδικασία της γεώτρησης ιδιαίτερα απαιτητική καθώς η θερμοκρασία επηρεάζει σημαντικά τις ρεολογικές ιδιότητες των πολφών. Σε χαμηλές θερμοκρασίες το ιξώδες παίρνει μεγαλύτερες τιμές, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε διακοπή της κυκλοφορίας πολφού. Η χρήση νανοσωματιδίων και συγκεκριμένα του BN βοηθά τον πολφό να διατηρήσει σταθερές τις ρεολογικές ιδιότητές του και επιπλέον εμποδίζουν την διαφυγή υγρών. Σε περιοχές με χαμηλή θερμοκρασία και υψηλή πίεση που μπορεί να βρίσκεται ένυδρο φυσικό αέριο, απειλείται η ασφάλεια και η σωστή λειτουργία της γεώτρησης. Αν τα ρευστά του reservoir έρθουν σε επαφή με το νερό της γεώτρησης θα σχηματιστούν ένυδρες κρυσταλλικές ουσίες που μπορούν να καταστρέψουν τον εξοπλισμό.⁶⁹ Η διατήρηση κατάλληλων επιπέδων αλατότητας καταστέλλει το σχηματισμό τους. Σε ακραίες καταστάσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν γλυκερίνη, πολυγλυκερίνη, πολυγλυκόλη.⁷⁰

Επιπλέον, το συνθετικό πρόσθετο SP-101 χρησιμοποιείτε στους πολφούς με βάση τόσο το γλυκό όσο και το αλμυρό νερό για τη μείωση της απώλειας των ρευστών και

⁶⁹ Maiti M., A. K. Bhaumik, Mandal A. (2021). Performance of water-based drilling fluids for deepwater and hydrate reservoirs: Designing and modelling studies. *Petroleum Science* 18 (2021) 1709e1728. pp 1-18.

⁷⁰ Deepwater Drilling. PetroWiki. (https://petrowiki.spe.org/Deepwater_drilling).

τη σταθεροποίηση της ρεολογίας. Διαθέτει υψηλό όριο θερμοκρασίας και δεν υπόκειται σε βακτηριακή αποδόμηση.⁷¹

Ο πολφός εκτός των άλλων, περιέχει και μια σημαντική ποσότητα βαρέων μετάλλων επιβλαβή για το περιβάλλον όπως αρσενικό, κάδμιο, βάριο, χρώμιο, μόλυβδος, ψευδάργυρο, υδράργυρο, χαλκό και νικέλιο. Κάποια από τα μέταλλα αυτά προστίθενται εσκεμμένα ως μεταλλικά άλατα ή οργανομεταλλικές ενώσεις ενώ άλλα περιέχονται ως ίχνη σε κύρια συστατικά του πολφού όπως η άργιλος και ο βαρίτης. Τα μέταλλα που βρίσκονται σε έναν πολφό σε συγκεντρώσεις έως και 100 φορές μεγαλύτερες από τις συγκεντρώσεις στα εδάφη και στα ιζήματα είναι το βάριο, το χρώμιο, ο μόλυβδος και ο ψευδάργυρος. Στις ΗΠΑ η ΕΡΑ έχει θέσει αυστηρούς περιορισμούς στην μέγιστη ποσότητα υδραργύρου που θα περιέχει ο βαρύτης και έτσι απαιτείται η επεξεργασία του για να μειωθούν οι εκπομπές.⁷²

Το βάριο, που είναι το πιο άφθονο μέταλλο στους πολφούς με βάση το νερό, προέρχεται σχεδόν αποκλειστικά από τον βαρύτη. Καθώς το βάριο είναι αδιάλυτο στο νερό έχει μικρή βιοδιαθεσιμότητα και είναι τοξικό για τους θαλάσσιους οργανισμούς. Το χρώμιο των λιγνοσουλφικών προστίθεται σκόπιμα στον πολφό για τη ρύθμιση του ιξώδους. Μπορεί να υπάρχει ακόμη στο βαρύτη και τον μπεντονίτη. Το τρισθενές χρώμιο έχει μικρή διαλυτότητα και περιορισμένη κινητικότητα και η τοξικότητα του προς φυτά και ζώα είναι πολύ χαμηλή.⁷³ Μέταλλα όπως το βανάδιο και το κάδμιο δεν προστίθενται στο πολφό αλλά μπορεί να προκύψουν από τη διάτρηση των σχηματισμών ή από υλικά που χρησιμοποιούνται στη γεώτρηση όπως οι σωλήνες και είναι επικίνδυνα για τη ζωή των οργανισμών.⁷⁴

Μια μέθοδος για την επεξεργασία των λυμάτων περιλαμβάνει τη χρήση ζεολίθων καθώς αυτοί ευνοούν την ανταλλαγή ιόντων και την προσρόφηση ανιόντων σε ένα

⁷¹ SP – 101 Water-based-mud fluid loss control additive. Schlumberger. (<https://www.slb.com/drilling/drilling-fluids-and-well-cementing/drilling-fluids/drilling-fluid-additives/filtration-reducers/sp-101-wbm-fluid-loss-control-additive>).

⁷² M. J. Holmes, C. M. Nyberg, K. L. H. Brandt, K. E. Eylands, N. J. Fiala, G. E. Dunham. (2018). MERCURY REMOVAL FROM BARITE FOR THE OIL INDUSTRY. Prepared for AAD Document Control. pp 1-2.

⁷³ J. M. Neff. (2005). COMPOSITION, ENVIRONMENTAL FATES, AND BIOLOGICAL EFFECTS OF WATER BASED DRILLING MUDS AND CUTTINGS DISCHARGED TO THE MARINE ENVIRONMENT: A Synthesis and Annotated Bibliography. Prepared for Petroleum Environmental Research Forum (PERF) and American Petroleum Institute. Pp 12-14.

⁷⁴ Elilyas A., Özkan A., Özkan V. (2019). HEAVY METALS CONCENTRATIONS IN DRILLING FLUIDS AND DRILL CUTTINGS IN OIL EXPLORATION FIELD IN ADIYAMAN, TURKEY. 29 KASIM-1 ARALIK 2019 ŞANLIURFA. pp 1-14.

υδατικό διάλυμα.⁷⁵ Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απορρόφηση βαρέων μετάλλων, όπως χρώμιο, ψευδάργυρος, κάδμιο και μόλυβδο σε εξαιρετικά μολυσμένα διαλύματα. Στην περίπτωση αφαίρεσης χρωμίου, ψευδαργύρου και καδμίου το pH του πολφού πρέπει να είναι ουδέτερο ενώ αντίθετα ο μόλυβδος μπορεί να αφαιρεθεί σε ένα ευρύ φάσμα τιμών pH.⁷⁶

2.2.2. Πολφοί με βάση το πετρέλαιο (OBM)

Οι πολφοί με βάση το πετρέλαιο χρησιμοποιούνται στις γεωτρήσεις μη συμβατικών υδρογονανθράκων, σε σχηματισμούς με μεγάλη θερμοκρασία καθώς και σε υπεράκτια σύνθετα μπλοκ. Παρουσιάζουν πολλά οφέλη σε σχέση με τους υπόλοιπους πολφούς:

1. Αυξημένη λιπαντική ικανότητα
2. Μεγάλες καθαριστικές ιδιότητες με μικρότερη τιμή ιξώδους
3. Μεγάλη αντοχή στη θερμότητα
4. Μεγάλη σταθερότητα του φρέατος
5. Βελτίωση της διάτρησης

Όμως, παρουσιάζουν και σημαντικά μειονεκτήματα:

1. Μεγαλύτερο κόστος παρασκευής
2. Περισσότερες ενέργειες μείωσης της περιβαλλοντικής ρύπανσης
3. Δυσκολία στη διαχείριση φαινομένων απώλειας ρευστών
4. Δυσκολία στον εντοπισμό φαινομένων gas-kick καθώς το αέριο είναι διαλυτό στο πετρέλαιο.
5. Επηρεάζουν τις γεωχημικές και γεωφυσικές μελέτες στα δείγματα που ανακτώνται.⁷⁷

Όταν το κοπτικό άκρο φτάσει στο reservoir κατά τη διάτρηση σχηματισμών, το αέριο θα εισβάλει στη γεώτρηση αν η πίεση στο βάθος είναι μικρότερη από τη πίεση των αερίων. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται gas – kick. Καθώς ο πολφός έχει βάση το πετρέλαιο, μια μεγάλη ποσότητα αερίων θα διαλυθεί κάνοντας τον

⁷⁵ Yasin S., Elmugdad, A.A., A. E. Ahmed. (2016). Treatment of drilling mud waste water of block six oilfield plant Sudan using zeolites. International Journal of Multidisciplinary Research and Development. pp 1-5.

⁷⁶ Borowski G., Kujawska J., Wasąg H. (2019). Application of zeolites in removal of hazardous metal ions from drilling mud wastewater. Physicochem. Probl. Miner. Process., 55(6), 2019, 1467-1474. pp 1-8.

⁷⁷ Rattanachaikanon T. Drilling Fluids/Mud and Components. (<https://petgeo.weebly.com/drilling-fluidsmud-and-components.html>)

εντοπισμό του φαινομένου ιδιαίτερα δύσκολο. Επιπρόσθετα, όταν το διαλυμένο αέριο φτάσει στην κεφαλή του φρέατος με τη βοήθεια του πολφού όταν ξεκινήσει η κυκλοφορία, θα μειωθεί η διαλυτότητα του και έτσι θα απελευθερωθεί δίνοντας μηδαμινό χρόνο για τον έλεγχο του.⁷⁸

Ιστορικά, το diesel αποτελούσε τη βάση των πολφών με βάση το πετρέλαιο. Σήμερα, όμως, χρησιμοποιούνται εξαιρετικά εκλεπτυσμένα προϊόντα diesel φτωχά σε αρωματικές ουσίες και χαμηλής τοξικότητας. Τα ορυκτέλαια εμφανίζουν μικρότερες αρωματικές περιεκτικότητες και είναι λιγότερο τοξικά από το diesel, δηλαδή είναι πιο περιβαλλοντικά αποδεκτά. Έχουν επίσης, υψηλότερα σημεία ανάφλεξης και έτσι η χρήση τους είναι ασφαλέστερη ειδικά σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών. Το αργό πετρέλαιο μπορεί να αντικαταστήσει το diesel αν δεν υπάρχει διαθεσιμότητα όμως έχει χαμηλότερα σημεία ανάφλεξης και χρειάζεται επιπλέον κατεργασία για να χρησιμοποιηθεί.⁷⁹

Εκτός του πετρελαίου άλλα συστατικά που περιέχονται είναι:

1. **Γαλακτωματοποιητές**, οι οποίοι είναι πολύ σημαντικοί καθώς ο πολφός μπορεί να υποστεί μόλυνση από το νερό της εξέδρας. Το κύριο συστατικό των γαλακτωματοποιητών είναι το σαπούνι ασβεστίου που παράγεται με την αντίδραση ασβέστη με λιπαρά οξέα. Είναι πολύ ισχυροί γαλακτωματοποιητές όμως η αντίδραση δεν είναι γρήγορη και έτσι απαιτείται χρόνος για να σχηματιστεί. Υπάρχουν και οι δευτερεύοντες γαλακτωματοποιητές που δεν σχηματίζουν γαλακτώματα αλλά χρησιμοποιούνται για την γρήγορη γαλακτωματοποίηση τυχόν εισροών νερού.
2. **Διαβρεκτικά μέσα** (wetting agents) τα οποία εμποδίζουν τα στερεά συστατικά από το να βρέχονται κατά τη διάρκεια σχηματισμού του γαλακτώματος.
3. **Οργανόφιλοι λιγνίτες**. Πρόκειται για ένα λιγνίτη που του έχει προστεθεί μια αμίνη για να γίνει διαλυτός στο λάδι. Χρησιμοποιείται για την απώλεια υγρών υψηλής θερμοκρασίας και την γαλακτωματοποίηση του νερού ειδικά σε υψηλές θερμοκρασίες καθώς επίσης και για τον έλεγχο της απώλειας υγρών. Είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλες συγκεντρώσεις χωρίς να προκαλέσει υπερβολικά ιξώδη.

⁷⁸ Romero S. (2018). Understanding the behavior of Influxes in OBM and WBM. (<https://www.linkedin.com/pulse/understanding-behavior-influxes-obm-wbm-sixto-romero>)

⁷⁹ Types of Base Oils Used. (2022). (<https://www.rigworker.com/fluids-2/types-of-base-oils-used.html>)

4. **Συστατικά για τη ρύθμιση της πυκνότητας.** Ο πιο συχνός παράγοντας που χρησιμοποιείται είναι ο βαρύτης αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ο αιματίτης
5. **Συστατικά για τη ρύθμιση του ιξώδους.** Χρησιμοποιούνται κυρίως μπεντονίτης, εκτορίτης ή ατταπουλγίτης που επεξεργάζονται με μια αμίνη ώστε να είναι διαλυτοί στο νερό. Ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται σε θερμοκρασίες μέχρι 350 °F και είναι συμβατός με πετρέλαιο diesel ή ορυκτέλαια. Πολυμερή συστατικά επίσης αυξάνουν το ιξώδες του πολφού με μπεντονίτη ειδικά όταν πρόκειται για μεγάλες θερμοκρασίες και η ικανότητα του είναι περιορισμένη. Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες χρησιμοποιείται ο εκτορίτης. Ο ατταπουλγίτης χρησιμοποιείται για τη βελτίωση των ιδιοτήτων της αιώρησης χωρίς να προκαλεί σημαντική μεταβολή στο ιξώδες.⁸⁰

Σωματίδια νανοπυριτίου μπορούν να βελτιώσουν σχεδόν όλες τις ρεολογικές ιδιότητες του πολφού σε συνθήκες υψηλών πιέσεων.⁸¹

Τα θραύσματα που φτάνουν στην επιφάνεια με πολφό με βάση το πετρέλαιο είναι συνήθως πολύ τοξικά εξαιτίας της περιεκτικότητας του diesel σε PAH (Poly Aromatic Hydrocarbon). Το πετρέλαιο diesel περιέχει συνήθως 5-10% PAH που είναι πάνω από το όριο επικινδυνότητας των αποβλήτων. Η πιο συνηθισμένη, αποτελεσματική και φιλική προς το περιβάλλον μέθοδος επεξεργασίας των θραυσμάτων είναι η έμμεση θερμική εκρόφηση η οποία απομακρύνει τους υδρογονάνθρακες που δεν έχουν καταστραφεί και έχουν μεγάλη οικονομική σημασία. Οι υδρογονάνθρακες αυτοί είναι επαναχρησιμοποιήσιμοι και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επόμενους πολφούς. Η έμμεση θέρμανση είναι ασφαλέστερη και λιγότερο ρυπογόνα σε σχέση με την άμεση θέρμανση για τον καθαρισμό των θραυσμάτων.⁸²

Ο πολφός περιέχει πληθώρα βαρέων μετάλλων που έχουν προστεθεί ως ρυθμιστικά συστατικά ή έχουν εισέλθει σε αυτόν. Τα βαρέα μέταλλα αποτελούν πολύ σημαντική περιβαλλοντική παράμετρο και είναι αναγκαία η επεξεργασία πριν τη διάθεση των απορριμμάτων στον ωκεανό. Προσοφητικά μέσα όπως ο ενεργός

⁸⁰ Oil Mud Products Description. (2022). (<https://www.rigworker.com/fluids-2/oil-mud-products-description.html>)

⁸¹ Katende A., N. V. Boyou, Ismail I., D. Z. Chung, Sagala F., Hussein N., M. S. Ismail. (2019). Improving the performance of oil based mud and water based mud in a high temperature hole using nanosilica nanoparticles. Colloids and Surfaces A 577 (2019) 645–673. pp 1-25.

⁸² Yousef K., AlQallaf Y., H. A Fouzy. (2017). 4th World Congress and Expo on Recycling.

άνθρακας, η άργιλος, το πυρίτιο και ο ζεόλιθος είναι αποτελεσματικά για την απομάκρυνση των μετάλλων από τα απόβλητα.⁸³

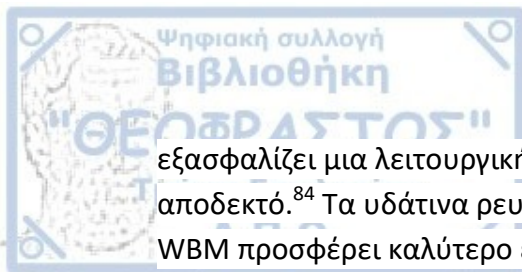
2.2.2.1. Περιβαλλοντική εκτίμηση χρήσης OBM και WBM για περιοχές υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας (ΗΡΗΤ)

Ο πολφός με βάση το πετρέλαιο (OBM) μπορεί να επιλεγεί για ειδικές εφαρμογές όπως τα πηγάδια μεγάλης πίεσης και θερμοκρασίας καθώς ελαχιστοποιεί τις βλάβες και είναι ανθεκτικός σε ρύπους όπως ο ανυδρίτης, το αλάτι και τα όξινα αέρια CO₂ και H₂S. Είναι επίσης πολύ αποτελεσματικός ενάντια σε όλους τους τύπους διάβρωσης και έχει ανώτερα χαρακτηριστικά λίπανσης ακόμη και σε χαμηλές πυκνότητες. Το μεγάλο κόστος είναι ένα σημαντικό μειονέκτημα ωστόσο μπορεί να επεξεργαστεί κατάλληλα και να επαναχρησιμοποιηθεί και σε ένα πρόγραμμα πολλών γεωτρήσεων φτάνει την τιμή του πολφού με βάση το νερό (WBM).

Σήμερα, με τις όλο και αυξανόμενες περιβαλλοντικές ανησυχίες, οι OBM είτε απαγορεύεται η χρήση τους είτε είναι αυστηρά περιορισμένη. Ο πολφός μετά τη χρήση πρέπει να συγκεντρωθεί και να μεταφερθεί σε εγκεκριμένο χώρο διάθεσης. Η απόρριψη των θραυσμάτων και των δύο πολφών στη θάλασσα μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες στο βιότοπο του βυθού. Η εξάπλωση τους εξαρτάται τόσο από το μέγεθος των σωματιδίων όσο και από το καθεστώς των ρευμάτων. Γενικά θεωρείται ότι τα θραύσματα του OBM πέφτουν γρηγορότερα στο βυθό. Η έκταση της βιολογικής επίδρασης τους είναι μεγαλύτερη από τα θραύσματα του WBM. Προκαλούν οργανικό εμπλουτισμό στο ίζημα και μολύνουν με τοξικά κλάσματα. Ανεξάρτητα της κλίμακας των ρυπαντών, οι κύριες επιβλαβείς συνέπειες περιορίζονται σε μια ακτίνα 500 μέτρων από το σημείο ταφής των θραυσμάτων και η επαναφορά του βυθού είναι μια μακρά διαδικασία. Γύρω από την κύρια περιοχή υπάρχει μια μεταβατική με λιγότερο επιβλαβείς επιδράσεις στα 200 – 1.000 μέτρα ενώ μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 2.000 μέτρα από το σημείο ταφής αν τα ρεύματα πυθμένα είναι πολύ δυνατά. Το μέγεθος της ζώνης αυτής είναι μεταβλητό και η επαναφορά της πιθανά θα είναι γρηγορότερη.

Ο WBM είναι λιγότερο επιβλαβής για το περιβάλλον, γεγονός που τον κάνει προτιμότερη επιλογή για γεωτρήσεις ΗΡΗΤ. Η προσθήκη στον πολφό κατάλληλων πολυμερών βελτιώνει τις ρεολογικές του ιδιότητες στις συνθήκες αυτές και

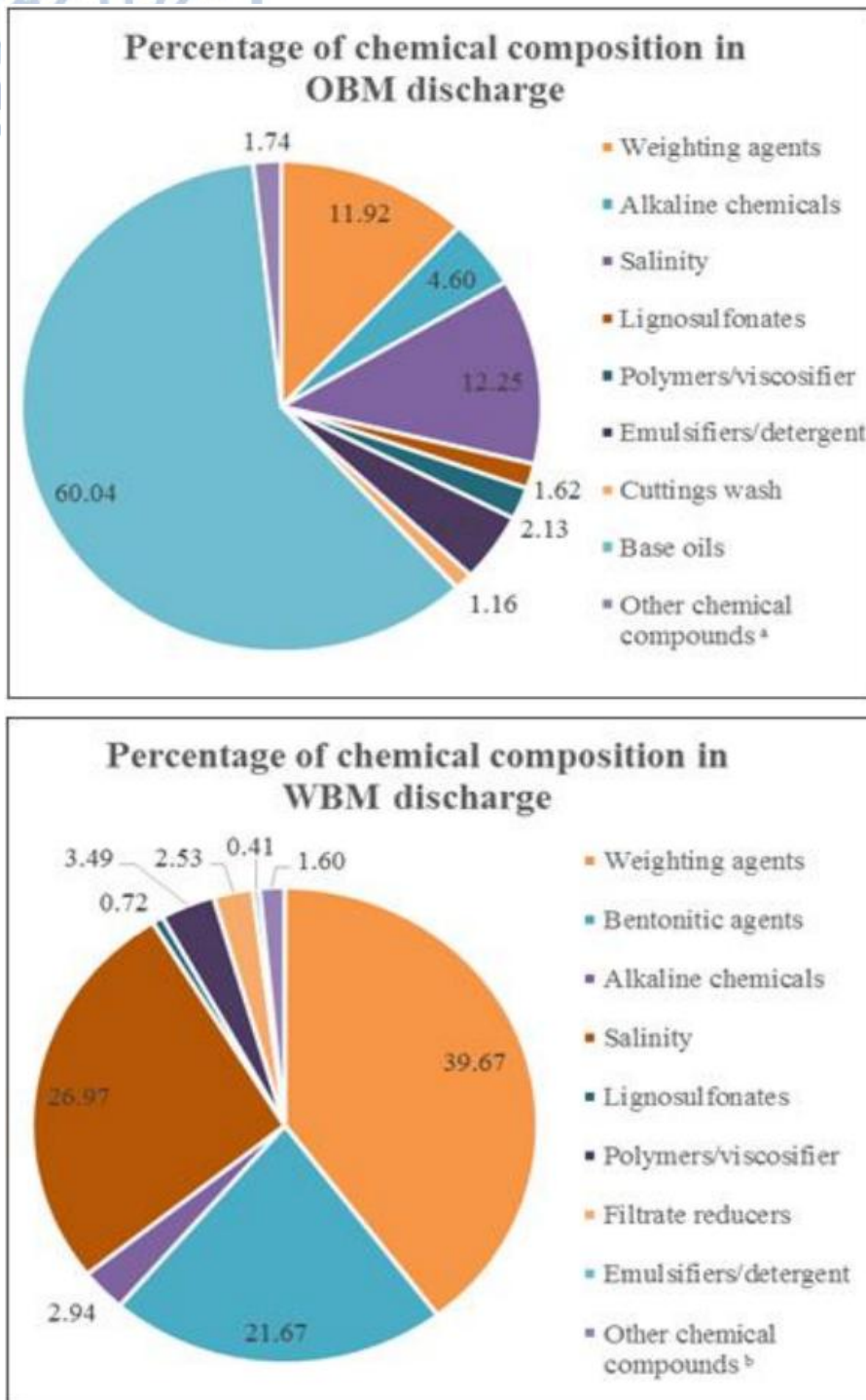
⁸³ Amenyah Kove, E. P., Buah, W. K., Dankwa, O. K. and Mends, E. A. (2021), "Attenuation of Heavy Metals from Waste Oil-Based Drilling Mud using Locally Produced Activated Carbon", Ghana Mining Journal, Vol. 21, No. 2, pp. 55-61.



εξασφαλίζει μια λειτουργική διαδικασία ενώ ταυτόχρονα είναι περιβαλλοντικά πιο αποδεκτό.⁸⁴ Τα υδάτινα ρευστά επίσης είναι γνωστά ως μη συμπιέσιμα υγρά άρα ο WBM προσφέρει καλύτερο έλεγχο της υδροστατικής πίεσης και συνεπώς μεγαλύτερη ακρίβεια και ασφάλεια κατά τη διατρητική διαδικασία. Αντίθετα ο OBM εξαιτίας της συμπίεσης μπορεί να προκαλέσει φαινόμενα gas-kick.⁸⁵

⁸⁴ Amani M., Al-Jubouri M., Shadravan A. (2012). Comparative Study of Using Oil-Based Mud Versus Water-Based Mud in HPHT Fields. *Advances in Petroleum Exploration and Development*, 4(2), 18-27. pp 1-11.

⁸⁵ R.Leaper, N.Hansen, M.Otto, L.Moroni, B.Dye. (2006). Meeting Deepwater Challenges with High Performance Water Based Mud. Prepared for presentation at the AADE 2006 Fluids Conference held at the Wyndam Greenspoint Hotel in Houston, Texas, April 11-12, 2006. pp 2.



Σχήμα 2: Σύγκριση χημικής σύστασης πολφών με βάση το πετρέλαιο με πολφούς με βάση το νερό. (Πηγή: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/195/1/012008/pdf>)⁸⁶

⁸⁶ Siddique S., Kwoffie L., Addae-Afoakwa K., Yates K., Njuguna J. (2017). Oil Based Drilling Fluid Waste: An Overview on Highly Reported But Less Explored Sink For Environmentally Persistent Pollutants. 3rd International Conference on Structural Nano Composites (NANOSTRUC2016). pp 3.

2.2.3. Συνθετικοί Πολφού (SBM)

Οι συνθετικοί πολφού είχαν μεγάλη ανάπτυξη τη δεκαετία του 1990 με σκοπό την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των πολφών που χρησιμοποιούνταν στις γεωτρήσεις. Χρησιμοποιούνται σε πολλές υπεράκτιες περιοχές όπου η νομοθεσία απαγορεύει τη χρήση πολφών με βάση το πετρέλαιο παρόλο που το κόστος τους ανά βαρέλι είναι αρκετά υψηλότερο.

Στους συνθετικούς πολφούς η συνεχής φάση είναι ένας συνθετικός οργανικός εστέρας, αιθέρας, ακετύλιο ή ολεφίνη. Μερικά σκευάσματα που χρησιμοποιούνται περιέχουν ένα μείγμα 2 ή 3 συνθετικών οργανικών ουσιών.⁸⁷ Οι εστέρες λόγω της υψηλής βιοδιασπασιμότητας τους και της χαμηλής τοξικότητάς τους αναγνωρίζονται παγκοσμίως ως την καλύτερη βάση για περιβαλλοντική απόδοση. Οι πολφού αποτελούνται σε ποσοστό 30-90% από συνθετικές οργανικές ενώσεις που δρουν ως λιπαντικά και διασκορπίζονται σε άλμη για να σχηματίσουν γαλάκτωμα. Μαζί βρίσκονται και άλλα συστατικά όπως γαλακτοποιητές, βαρύτης, άργιλος, λιγνίτης ή άσβεστος.

Όπως και οι υπόλοιποι πολφού, οι συνθετικοί πολφού προσφέρουν λίπανση και ψύξη του κοπτικού άκρου, σταθερότητα των τοιχωμάτων και μεγιστοποιούν το ρυθμό διείδουσας. Καθώς σε χαμηλές θερμοκρασίες οι συμβατικοί πολφού μπορεί να αναπτύξουν ανεπιθύμητα υψηλά ιξώδη λόγω των πρόσθετων αργιλικών και λιγνιτικών συστατικών, αναπτύχθηκαν συνθετικοί πολφού που παρασκευάζονται με μηδενικές ή ελάχιστες ποσότητες αυτών. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η ρύθμιση των ρεολογικών χαρακτηριστικών και της απώλειας ρευστών μέσω των γαλακτοποιητών. Τα πλεονεκτήματα των συνθετικών πολφών είναι:

1. Μείωση απώλειας ρευστών κατά τη διάτρηση, την σωλήνωση και την τσιμέντωση.
2. Σημαντικά χαμηλότερες ισοδύναμες πυκνότητες κυκλοφορίας.⁸⁸

Σε σχέση με τους πολφούς με βάση το νερό, οι συνθετικοί προσφέρουν μειωμένο χρόνο διάτρησης και συνεπώς μειωμένες εκπομπές και αυξάνουν την απόδοση του γεωτρητικού εξοπλισμού. Παράγουν επίσης μικρότερες ποσότητες αποβλήτων ενώ σε σχέση με του πολφούς με βάση το πετρέλαιο παρουσιάζουν μειωμένους περιβαλλοντικούς κινδύνους, μικρότερη τοξικότητα και παρέχουν μεγαλύτερη

⁸⁷ A. R. Ismail, A. H. Aliasc, W. R. W. Sulaimana, M. Z. Jaafara, Ismaila I. (2017). Drilling Fluid Waste Management in Drilling for Oil and Gas Wells. The Italian Association of Chemical Engineering. pp 3.

⁸⁸ Drilling Fluid Types. PetroWiki. (https://petrowiki.spe.org/Drilling_fluid_types#Synthetic-based_drilling_fluids).

ασφάλεια.⁸⁹ Είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να αφήνουν πολύ μικρό περιβαλλοντικό αποτύπωμα όταν τυχαία ή σκόπιμα απορρίπτονται στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Η απόρριψη του πολφού στο περιβάλλον δεν γίνεται μαζικά. Αντίθετα, τα θραύσματα με ίχνη πολφού απορρίπτονται τακτικά στον πυθμένα της θάλασσας. Μελέτες που έχουν γίνει για τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο σε ιζήματα βαθιάς θάλασσας δείχνουν ότι υψηλές τιμές ολεφίνης βρέθηκαν σε απόσταση έως 100-250 μέτρα από την γεώτρηση ενώ βρέθηκαν περιστασιακά χαμηλές συγκεντρώσεις σε απόσταση μέχρι 1.000-2.000 μέτρα ανάλογα με τα ωκεάνια ρεύματα. Επιπλέον παρατηρήθηκε ότι η συγκέντρωση των συνθετικών ολεφινών μειώθηκε με το χρόνο λόγω επαναιώρησης, ανάμειξης ή βιοαποικοδόμησης τους. Συμπερασματικά, η επίδραση των συνθετικών πολφών στα ιζήματα βαθιάς θάλασσας είναι περιορισμένη τόσο χωρικά όσο και χρονικά.⁹⁰

2.2.4. Διάθεση Στερεών Αποβλήτων

Ο ρυθμιστικός έλεγχος των εργασιών της υπεράκτιας βιομηχανίας εμπίπτει σε διάφορους διεθνείς, περιφερειακούς και εθνικούς φορείς. Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση της ρύπανσης με τη μείωση των απορριμμάτων και την ανακύκλωση. Τα απόβλητα των γεωτρήσεων περιλαμβάνουν τα θραύσματα από την διάνοιξη και τα ρευστά που χρησιμοποιήθηκαν.⁹¹ Υπάρχουν 3 τρόποι διάθεσης αποβλήτων που παράγονται σε ανοιχτή θάλασσα τόσο κατά την εξερεύνηση όσο και κατά την ανάπτυξη και την παραγωγή. Αυτοί είναι:

1. Απόρριψη στο ωκεανό
2. Υπόγεια έγχυση
3. Ανάσυρση στην ακτή για απόρριψη ή ανακύκλωση

Κατά την απόρριψη στο ωκεανό τα ρευστά ή/και τα θραύσματα απορρίπτονται στο πλάι της πλατφόρμας έπειτα από επεξεργασία με τον κατάλληλο εξοπλισμό. Στη υπόγεια έγχυση τα θραύσματα αλέθονται σε πολύ μικρά μεγέθη και απορρίπτονται με έγχυση μαζί με τα παρασυρόμενα ρευστά σε υπόγειους διαπερατούς

⁸⁹ C. J. Burke, J. A. Veil. (1995). Potential Environmental Benefits from Regulatory Consideration of Synthetic Drilling Muds. United States Department of Energy. pp 8-10.

⁹⁰ S. A. Stout, J. R. Payne. (2016). Footprint, weathering, and persistence of synthetic-base drilling mud olefins in deep-sea sediments following the Deepwater Horizon disaster. S.A. Stout, J.R. Payne / Marine Pollution Bulletin 118 (2017) 328–340. pp 1-2.

⁹¹ Waste Disposal Regulations for Drilling Muds and Cuttings. (2016). (<https://www.prnewswire.com/in/news-releases/waste-disposal-regulations-for-drilling-muds-and-cuttings-572566491.html>)

σχηματισμούς. Τέλος τα θραύσματα και τα σχετικά ρευστά μπορούν να συλλεχθούν και να μεταφερθούν στην ακτή για επεξεργασία αν είναι απαραίτητο και τελική απόρριψη.

Όλες οι επιλογές έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Κατά τη λήψη αποφάσεων για τον τρόπο διάθεσης, πληθώρα παραγόντων πρέπει να ληφθούν υπόψη που αφορούν τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο, την ασφάλεια, το κόστος και τη λειτουργική απόδοση. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που υπολογίζονται είναι οι εκπομπές αερίων κατά τη διάτρηση και των βοηθητικών διεργασιών, οι απαιτήσεις σε ενέργεια, τα παραπροϊόντα, η νομοθεσία, το φυσικό περιβάλλον, οι επιπτώσεις στα θαλάσσια είδη, ο κίνδυνος διαρροών, οι υδρογονάνθρακες, τα άλατα και βαρέα μέταλλα που περιέχονται στα απόβλητα καθώς επίσης και τα περιβαλλοντικά θέματα της ηπείρου τόσο του εδάφους όσο και επιφανειακού και υπόγειου νερού. Οικονομικοί παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάσουν την απόφαση για τον τρόπο διάθεσης είναι το άμεσο κόστος, το κόστος του εξοπλισμού και της συντήρησής του, το κόστος της ενέργειας, το κόστος μεταφοράς, το κόστος διάθεσης αποβλήτων και οποιοδήποτε μελλοντικό κόστος. Τέλος, για τη λειτουργική απόδοση μελετώνται η ασφάλεια και έκθεση του ανθρώπινου δυναμικού σε χημικές και τοξικές ουσίες, η αξιοπιστία των μηχανημάτων και η διαθεσιμότητα χώρου, οι καιρικές συνθήκες και η κατάσταση των αποβλήτων που πρόκειται να απορριφθούν.⁹²

2.2.5. Διάθεση Υγρών Αποβλήτων

Πολλά στοιχεία συμβάλλουν, μεμονωμένα ή σε συνδυασμό, στη ρύπανση που σχετίζεται με τα απόβλητα ρευστών γεώτρησης. Εάν δεν γίνει σωστή διαχείριση, τα παραγόμενα απόβλητα θα επηφέρουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, την ποιότητα του εδάφους, το νερό και ολόκληρο το οικοσύστημα. Τα υγρά απόβλητα προορίζονται για έλεγχο και συλλογή και στη συνέχεια υποβάλλονται σε επεξεργασία, αποθηκεύονται και μεταφέρονται ώστε να απορριφθούν σε ασφαλές και αποδεκτό περιβάλλον σύμφωνα με τα τρέχοντα ρυθμιστικά πρότυπα.

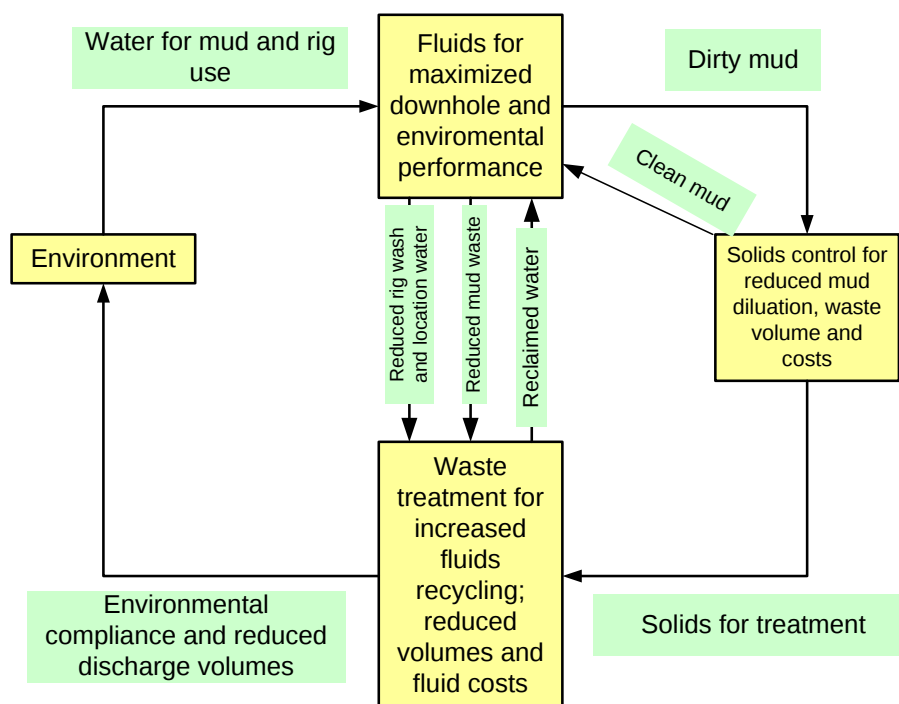
Τα απόβλητα γεώτρησης επεξεργάζονται για να μειωθεί ο όγκος και/ή τοξικότητά τους ώστε να είναι κατάλληλα για τελική διάθεση. Αν η διάθεση των υγρών αποβλήτων γίνει σε σημείο κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας, θα διασκορπιστούν σε μια μεγάλη περιοχή στη στήλη νερού και θα αποτεθούν σε ένα λεπτό στρώμα στον πυθμένα της θάλασσας. Το ίδιο ισχύει και για τα θραύσματα. Εάν ο πολφός και τα θραύσματα εκκενωθούν ακριβώς πάνω από τον πυθμένα της

Nediljka G. M., Katarina S., Davorin M., Borivoje P. OFFSHORE DRILLING AND ENVIRONMENTAL PROTECTION. University of Zagreb. Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering. pp 5-8.

θάλασσας, τα στερεά μέρη μπορεί να συσσωρευτούν σε ένα μεγάλο, βαθύ σωρό κοντά στον σωλήνα εκκένωσης.

Όλες οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις χρειάζονται άδεια για την έναρξη της λειτουργίας τους και για να γίνει αυτό πρέπει να χρησιμοποιούνται οι βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές (Best Available Techniques ή BAT) για τον έλεγχο της ρύπανσης. Τα βήματα που ακολουθεί μια εταιρία είναι:

1. Η διερεύνηση επιλογών που εμποδίζουν τη δημιουργία απορριμμάτων
2. Η μείωση των απορριμμάτων
3. Η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση όσο το δυνατόν περισσότερο
4. Η εναπόθεση υπολειμμάτων.⁹³

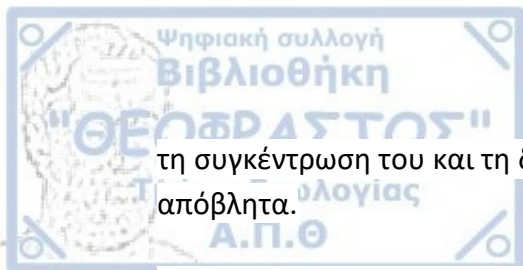


Σχήμα 3 :Ολοκληρωμένη προσέγγιση υγρών αποβλήτων (Πηγή: Gaurina-Međimurec N., Simon K., Matanović D., Pašić B. OFFSHORE DRILLING AND ENVIRONMENTAL PROTECTION.

2.2.6. Επιπτώσεις στο Περιβάλλον

Τα ρευστά της γεώτρησης μπορεί ενδεχομένως να επηρεάσουν αρνητικά το υδάτινο περιβάλλον. Ο βαθμός της επίδρασης εξαρτάται από τον τύπο του πολφού,

⁹³ Gaurina-Međimurec N., Simon K., Matanović D., Pašić B. OFFSHORE DRILLING AND ENVIRONMENTAL PROTECTION. pp 3-6.



τη συγκέντρωση του και τη διάρκεια έκθεσης του υδάτινου στοιχείου στα απόβλητα.

Τα υγρά απόβλητα αυξάνουν την ποσότητα υδρογονανθράκων στον πυθμένα της θάλασσας και μειώνουν το πλήθος των βιολογικών οργανισμών στο κοντινό περιβάλλον. Η τοξικότητα από διάφορες χημικές ουσίες των αποβλήτων επηρεάζει σημαντικά την τροφική αλυσίδα.

Η ενέργεια που απαιτείται για τη μετακίνηση των πολλών εκατομμυρίων τόνων υγρών αποβλήτων και για τη διάθεση τους έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή μεγάλων ποσοτήτων άνθρακα. Επιπλέον, οι πολφοί με βάση το πετρέλαιο που απορρίπτονται σε χώρους υγειονομικής ταφής μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα διαρροής στα υπόγεια ύδατα, πράγμα που σημαίνει ότι τα αποθέματα νερού μπορεί να μολυνθούν με υδρογονάνθρακες.⁹⁴

Οι χημικές ουσίες που περιέχουν οι πολφοί είναι τοξικοί για την υδρόβια ζωή καθώς το ποσοστό θνησιμότητας αυξάνεται όσο αυξάνεται η συγκέντρωση των χημικών ουσιών. Τα βαρέα μέταλλα των πολφών είναι μία από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές απειλές και επηρεάζουν την ανάπτυξη της πανίδας και της χλωρίδας. Τα μέταλλα που βρίσκονται στον πολφό με βάση το πετρέλαιο επιτίθενται σε όργανα υδρόβιων οργανισμών, οδηγώντας τα τελικά στο θάνατο.⁹⁵

2.3. Ατμοσφαιρική Ρύπανση

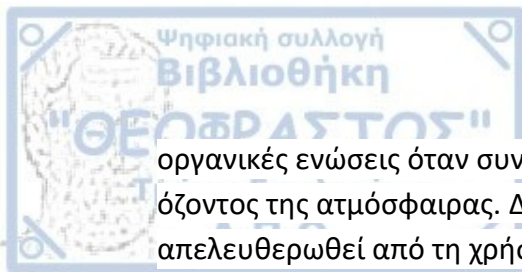
Τα ατμοσφαιρικά ζητήματα προσελκύουν όλο και περισσότερο ενδιαφέρον και για το λόγο αυτό αναπτύσσονται συνεχώς τεχνολογίες για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων. Οι κυριότερες πηγές ατμοσφαιρικών εκπομπών κατά τη διάρκεια των γεωτρήσεων προκύπτουν από:

1. Την ανάφλεξη και τον εξαερισμό αερίων.
2. Τις διεργασίες καύσης για τη λειτουργία των μηχανών diesel.

Τα αέρια που απελευθερώνονται περιλαμβάνουν το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου, πτητικοί οργανικοί άνθρακες, μεθάνιο. Οι πτητικές

⁹⁴ Njuguna J., Siddique S., L. B. Kwroffie, Piromrat S., Addae-Afoakwa K., Ekeh-Adegbotolu U., Oluyemi G., Yates K., A. K. Mishra, Moller L. (2022). The fate of waste drilling fluids from oil & gas industry activities in the exploration and production operations. *Waste Management* 139 (2022) 362–380. pp 1-19.

⁹⁵ Antiaa M., A. N. Ezejiofor, C. N. Obasi, O. E. Orisakwe. (2022). Environmental and public health effects of spent drilling fluid: An updated systematic review. *Journal of Hazardous Materials Advances* 7 (2022) 100120. pp 4-6.



οργανικές ενώσεις όταν συνδυαστούν με NO_x συμβάλλουν στον σχηματισμό όζοντος της ατμόσφαιρας. Διοξείδιο του θείου και υδρόθειο μπορεί να απελευθερωθεί από τη χρήση των κινητήρων με καύσιμο diesel για την παραγωγή ενέργειας.

Τα αέρια του θερμοκηπίου, το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο, βρίσκονται πίσω από την κλιματική αλλαγή δηλαδή την υπερθέρμανση του πλανήτη, το λιώσιμο των πάγων στους πόλους και την οξίνιση των ωκεανών που σημαίνει ότι ο ωκεανός απορροφά όλο το CO_2 και έτσι υπάρχουν λιγότερα ανθρακικά διαθέσιμα για την κατασκευή οστράκων και σκελετικών μερών.⁹⁶

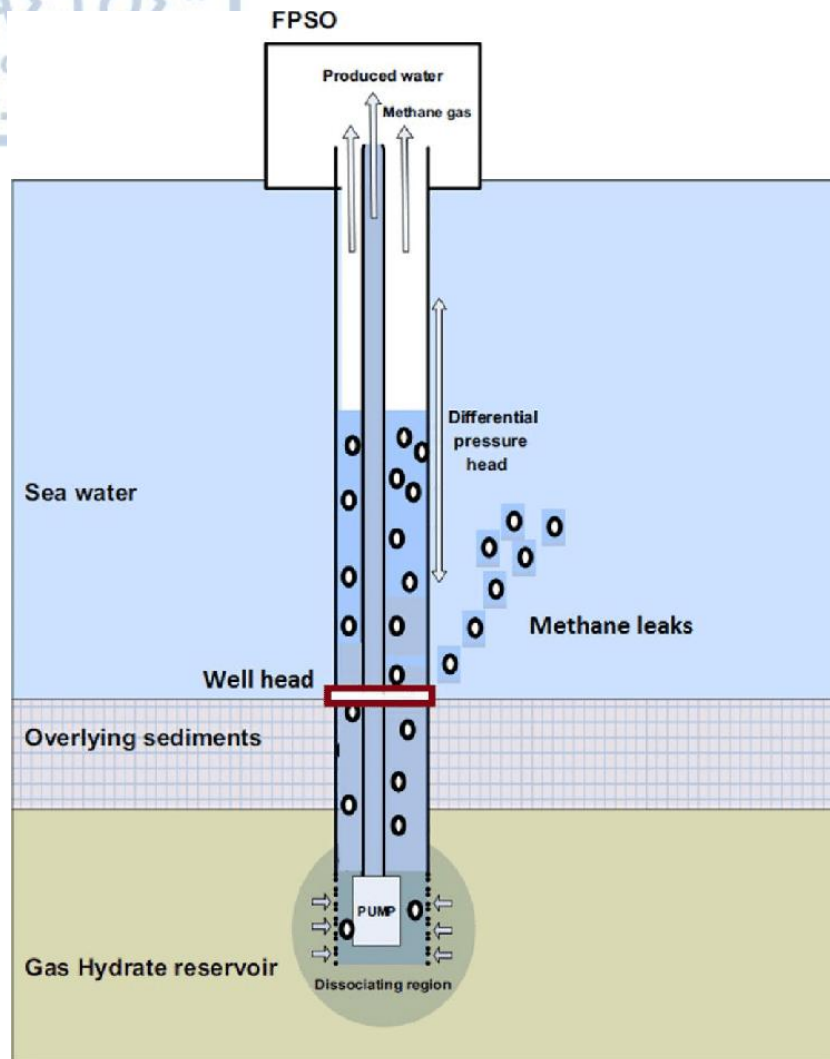
Το μεθάνιο βρίσκεται σε μεγάλη περιεκτικότητα στο φυσικό αέριο. Η ισχύς του στην παγίδευση θερμότητας και ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα είναι 25 φορές μεγαλύτερη από αυτή του διοξειδίου του άνθρακα αλλά με μικρότερη διάρκεια ζωής. Το μεθάνιο αποτελεί το 16% των παγκόσμιων εκπομπών που προέρχεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες ενώ το διοξείδιο του άνθρακα το 76%.⁹⁷ Εκλύεται στην ατμόσφαιρα σε όλα τα στάδια έρευνας, παραγωγής, επεξεργασίας, αποθήκευσης και μεταφοράς των υδρογονανθράκων.⁹⁸ Σε μια γεώτρηση η εκπομπή μεθανίου αφορά κυρίως μεθάνιο που είναι παγιδευμένο στο εσωτερικό της γεώτρησης ή στους σωλήνες και διαρρέει ή απελευθερώνεται σκόπιμα μέσω εξαερισμού και καύσης.⁹⁹

⁹⁶ Seddiki S. (2012). The Environmental impacts of offshore oil drilling : the case of BP oil spill. pp 6.

⁹⁷ Denchak M. (2019). Greenhouse Effect 101. NRDC. (<https://www.nrdc.org/stories/greenhouse-effect-101>)

⁹⁸ Overview of Greenhouse Gases. (2022). United States Environmental Protection Agency. (<https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>).

⁹⁹ Crownhart C. (2022). A US oil-drilling hotspot is kicking out far more methane than we thought. MIT Technology Review. (<https://www.technologyreview.com/2022/03/28/1048425/perman-basin-methane-emissions/>).



Εικόνα 14: Διαφυγή μεθανίου κατά τη διάρκεια μιας γεώτρησης (Πηγή: https://www.researchgate.net/publication/321799845_Modeling_of_rising_methane_bubbles_during_production_leaks_from_the_gas_hydrate_sites_of_India/figures?lo=1)

Η ανάπτυξη νέων υποδομών είναι το κλειδί για τη μείωση εκπομπών μεθανίου και ανθράκων. Η απαιτούμενη κατασκευή των εγκαταστάσεων καθοδηγείται από τις οικονομικές απαιτήσεις και τους προβλεπόμενους κανονισμούς. Η ανάκτηση, επίσης, των υγρών υδρογονανθράκων εξαλείφει την ανάγκη για συνεχή καύση του μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την περιβαλλοντική ρύπανση. Η δέσμευση CO₂ χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για τη μείωση της συγκέντρωσης του στην ατμόσφαιρα. Η τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης περιλαμβάνει την διαδικασία δέσμευσης και αποχωρισμού του CO₂, μεταφοράς του σε μια θέση αποθήκευσης και στη συνέχεια, μακροπρόθεσμης αποθήκευση ώστε να μην εισέλθει στην ατμόσφαιρα.¹⁰⁰

¹⁰⁰ Emissions from oil and gas production operations. PetroWiki. (https://petrowiki.spe.org/Emissions_from_oil_and_gas_production_operations).

2.4. Επιπτώσεις από τον εξοπλισμό

Οι επιχειρήσεις διάτρησης σε ένα πιθανό κοίτασμα υδρογονανθράκων παράγουν μεγάλες ποσότητες τεχνητού φωτός που επηρεάζουν τις οικολογικές διεργασίες στο άνω τμήμα των ωκεανών. Το νυχτερινό φως που εκπέμπεται προσελκύει μια πληθώρα ειδών όπως καλαμάρια, μεγάλα αρπακτικά, ψάρια και πουλιά ενώ ο υποβρύχιος φωτισμός μπορεί να επηρεάσει είδη με ευαίσθητα οπτικά συστήματα.

Κατά την εγκατάσταση του διατρητικού εξοπλισμού αλλά και κατά την διάρκεια της διάτρησης παράγεται θόρυβος μεγάλης έντασης. Μελέτες έχουν δείξει ότι μπορεί να προκαλέσει ασυνέπειες στην συμπεριφορά των θαλάσσιων οργανισμών ή να επηρεάσει την επιλογή οικοσυστήματος. Επιπλέον, παλαιότερες μελέτες έχουν δείξει ότι ο θόρυβος προκαλεί άγχος στους θαλάσσιους οργανισμούς και επηρεάζει την ευημερία τους.¹⁰¹

Η εγκατάσταση του διατρητικού εξοπλισμού θα επηρεάσει σημαντικά την πανίδα και τη χλωρίδα του πυθμένα της θάλασσας. Συνήθως χρησιμοποιούνται 8 – 12 άγκυρες για την πρόσδεση μιας ημι-βυθιζόμενης εξέδρας και το μήκος τους είναι ανάλογο του βάθους που γίνεται κάθε φορά η γεώτρηση, 1,5 – 2,5 φορές αυτού. Καθώς οι άγκυρες λοιπόν τοποθετούνται στα κατάλληλα σημεία, συμπαρασύρουν και βλάπτουν τους βενθικούς οργανισμούς και καταστρέφουν τον πυθμένα.

Ο βένθος, δηλαδή ο πυθμένας του ωκεανού, είναι το βασικό θεμέλιο για τη βιοποικιλότητα του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Ανεξάρτητα αν πρόκειται για μη στερεοποιημένα ιζήματα ή πετρώματα, παρέχει την κατάλληλη πλατφόρμα για την δημιουργία οικοσυστήματος που περιλαμβάνει θαλάσσια φυτά και θαλάσσιους ασπόνδυλους οργανισμούς όπως σπόγγους, κοράλλια, κνιδόζωα κ.α. Το σύνολο αυτών των οργανισμών παρέχει τις κατάλληλες λειτουργίες και την απαραίτητη τροφή και καταφύγιο για πολλούς θαλάσσιους οργανισμούς.

Η διατάραξη του πυθμένα από τις άγκυρες θα επηρεάσει μεγάλο πλήθος οργανισμών που ζουν σε αυτόν. Επιπλέον εκτός από την αρχική εγκατάσταση τους, φαινόμενα παλίρροιας και δυνατοί άνεμοι μετατοπίζουν τις άγκυρες στον πυθμένα της θάλασσας δημιουργώντας κοιλώματα και μακριά αυλάκια διαταράσσοντας έτσι το οικοσύστημα. Ο τρόπος με τον οποίο ανταποκρίνεται το φυσικό περιβάλλον στις κινήσεις των αγκύρων εξαρτάται από:

¹⁰¹ Kuşku, H., Yiğit, M., Ergün, S., Yiğit, Ü., Taylor, N. (2018). Acoustic Noise Pollution from Marine Industrial Activities: Exposure and Impacts. Aquatic Research, 1(4), 148-161. DOI: 10.3153/AR18017. pp 1-2.

1. Το πόσο βαθιά "δαγκώνει" η άγκυρα στο υπόβαθρο
2. Το μέγεθος και το βάρος του εξοπλισμού αγκύρωσης
3. Τη συχνότητα των διάφορων κινήσεων την άγκυρας
4. Την ευαισθησία του οικοσυστήματος

Το βάθος που θα φτάσει η άγκυρα είναι συνάρτηση του βάρους της και της ταχύτητας με την οποία θα φτάσει στην επιφάνεια του πυθμένα της θάλασσας. Οι κινήσεις του συστήματος αγκύρωσης προκαλούν την αιώρηση λεπτόκοκκων σωματιδίων που ενδέχεται να επηρεάσουν σημαντικά τους οργανισμούς που φέρουν βραγχιακές προσαρμογές (filter feeders).

Η πανίδα του βένθους μπορεί να επηρεαστεί ώστε να αυξηθεί η ευαισθησία της πανίδας σε ασθένειες ή να μειωθεί η ικανότητα της για παραγωγή χλωροφύλλης που οδηγεί εν τέλει, σε απώλεια πανίδας. Η μείωση της πυκνότητας μιας θαλάσσιας πανίδας ή η δημιουργία κενών θέτει σε κίνδυνο την υδροδυναμική ισορροπία, που θα προκαλέσει περαιτέρω διάβρωση και εκ νέου αιώρηση ιζημάτων και τελικά κατακερματισμό.

Μακροπρόθεσμα η ανάρρωση του οικοσυστήματος από το σύστημα αγκύρωσης ποικίλει ανάλογα με το είδος της πανίδας. Οι εφήμερες πανίδες (Ephemeral seagrasses) έχουν γρήγορους ρυθμούς ανάπτυξης και αποικίζουν γρήγορα σε διαταραγμένες τοποθεσίες. Η πλήρης ανάρρωση μπορεί να επέλθει ακόμη και σε διάστημα 9 μηνών. Αντίθετα, είδη όπως τα *Posidonia spp.* που έχουν καταστραφεί έχουν μικρότερους ρυθμούς ανάπτυξης και για να ανακάμψουν χρειάζονται διάστημα 12 μηνών ενώ για την πλήρη ανάρρωση τους χρειάζεται να περάσουν δεκαετίες. Τέλος, μελέτες δείχνουν μειωμένο αριθμό ειδών σε περιοχές που έχουν επηρεαστεί από αγκύρωση.

Η χρήση των συστημάτων Dynamic Positioning είναι ένας τρόπος αποφυγής των συνεπειών από τη χρήση αγκύρωσης που αποκτά όλο και μεγαλύτερες διαστάσεις.¹⁰²¹⁰³

¹⁰² Broad A., M. J. Rees, A. R. Davis. (2020). Anchor and chain scour as disturbance agents in benthic environments: trends in the literature and charting a course to more sustainable boating and shipping. *Marine Pollution Bulletin* 161 (2020) 111683. pp 1-13.

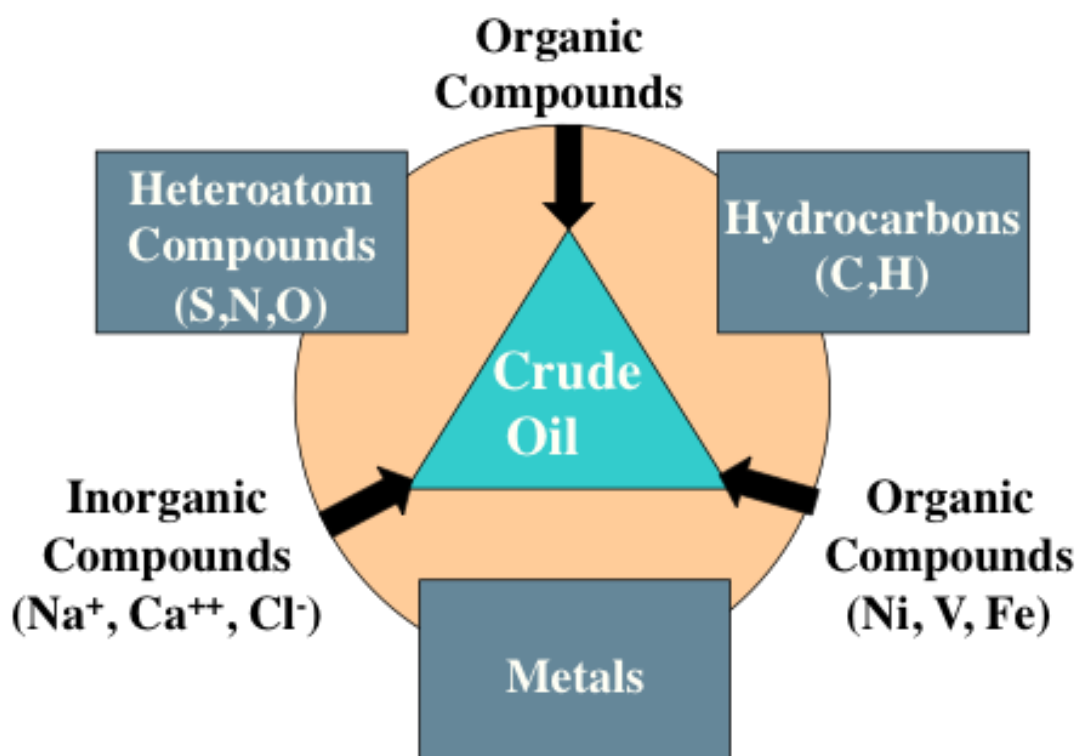
¹⁰³ Cordes EE, Jones DOB, Schlacher TA, Amon DJ, Bernardino AF, Brooke S, Carney R, DeLeo DM, Dunlop KM, Escobar-Briones EG, Gates AR, Génio L, Gobin J, Henry L-A, Herrera S, Hoyt S, Joye M, Kark S, Mestre NC, Metaxas A, Pfeifer S, Sink K, Sweetman AK and Witte U (2016) Environmental Impacts of the Deep-Water Oil and Gas Industry: A Review to Guide Management Strategies. *Front. Environ. Sci.* 4:58. doi: 10.3389/fenvs.2016.00058. pp 5-9.

2.5. Διαρροές Πετρελαίου

Κατά τη διάρκεια διάνοιξης μιας γεώτρησης υπάρχει ο κίνδυνος διαρροής υδρογονανθράκων με την πιθανότητα αυτή να αυξάνεται όσο αυξάνεται και το βάθος της γεώτρησης. Η ανεξέλεγκτη έκλυση υδρογονανθράκων από τον ταμειυτήρα, το φαινόμενο blowout, είναι ο μεγαλύτερος κίνδυνος που αφορά την εκμετάλλευση σε ένα θαλάσσιο περιβάλλον. Οι διαρροές μεγάλης κλίμακας αποτελούν μόνο το 0,1% των περιπτώσεων όμως αποτελούν περίπου το 60% της συνολικής ποσότητας.¹⁰⁴ Σύμφωνα με ΙΤΟΡΡ (2019) ο αριθμός των μεγάλων πετρελαιοκηλίδων έχει μειωθεί τις τελευταίες δεκαετίες, με μέσο όρο 1,8 το χρόνο.

Το αργό πετρέλαιο είναι ένα μείγμα σύνθετων οργανικών ενώσεων. Αποτελείται από:

1. Υδρογονάνθρακες (H,C)
2. Ετεροκυκλικές ενώσεις (S,N,O)
3. Ορισμένα βαρέα μέταλλα και οργανικές ενώσεις (Ni, V, Fe) και
4. Ανόργανες ενώσεις (Na⁺, Ca⁺⁺, Cl⁻).¹⁰⁵



¹⁰⁴ Li P., Cai Q., Lin W., Chen B., Zhang B. (2015). Offshore oil spill response practices and emerging challenges. Marine Pollution Bulletin 110 (2016) 6–27. pp 7-8.

¹⁰⁵ Eser S. Chemical Constitution of Crude Oil. College of Earth and Mineral Sciences. (<https://www.e-education.psu.edu/fsc432/node/5>).

Οι διάφοροι υδρογονάνθρακες που συνθέτουν το αργό πετρέλαιο συμμετέχουν με ένα ευρύ φάσμα ενώσεων. Οι ενώσεις αυτές περιλαμβάνουν αέριο μεθάνιο, πίσσα υψηλού μοριακού βάρους, ρητίνη, άσφαλτες. Περιλαμβάνουν επίσης, ευθείες και διακλαδισμένες αλυσίδες, απλούς ή συμπυκνωμένους δακτυλίους και αρωματικούς δακτυλίους όπως οι μονοκυκλικοί δακτύλιοι (βενζόλιο, τολουΐνη, αιθυλοβενζόλιο και ξυλόλιο). Περιλαμβάνουν επιπλέον πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAHs) όπως ναφθαλίνη, ανθρακένιο και φαινανθρακένιο.¹⁰⁶

Οι κύριες ιδιότητες του πετρελαίου που επηρεάζουν την τύχη του πετρελαίου στη θάλασσα είναι:

1. Το ειδικό βάρος (αναφέρεται στην πυκνότητα του σε σχέση με το καθαρό νερό – συχνά εκφράζεται σε API)
2. Τα χαρακτηριστικά απόσταξης, δηλαδή η πτητικότητα του
3. Το ιώδες, δηλαδή η αντίσταση στη ροή και
4. Το σημείο έκχυσης (αναφέρεται στο όριο συγκεκριμένο όριο στη θερμοκρασία κάτω από την οποία δεν θα ρέει)

Επιπλέον, η περιεκτικότητα του πετρελαίου σε κεριά και ασφαλτένιο επηρεάζει την πιθανότητα να αναμιχθεί με νερό και να σχηματίσει γαλάκτωμα. Το πετρέλαιο που σχηματίζει γαλάκτωμα παραμένει περισσότερο πάνω στην επιφάνεια της θάλασσας.¹⁰⁷

2.5.1. Συμπεριφορά της Πετρελαιοκηλίδας

Η συμπεριφορά του πετρελαίου εξαρτάται στο μεγαλύτερο βαθμό από την χημική του σύσταση. Ένα ελαφρύ αργό πετρέλαιο θα εξατμιστεί κατά 40% σε περίπου δύο ημέρες και θα διασκορπιστεί φυσικά (ανάλογα με την περιεκτικότητα του σε κορεσμένα) σε διαταραγμένες θάλασσες. Μετά την εξάτμιση σχηματίζει

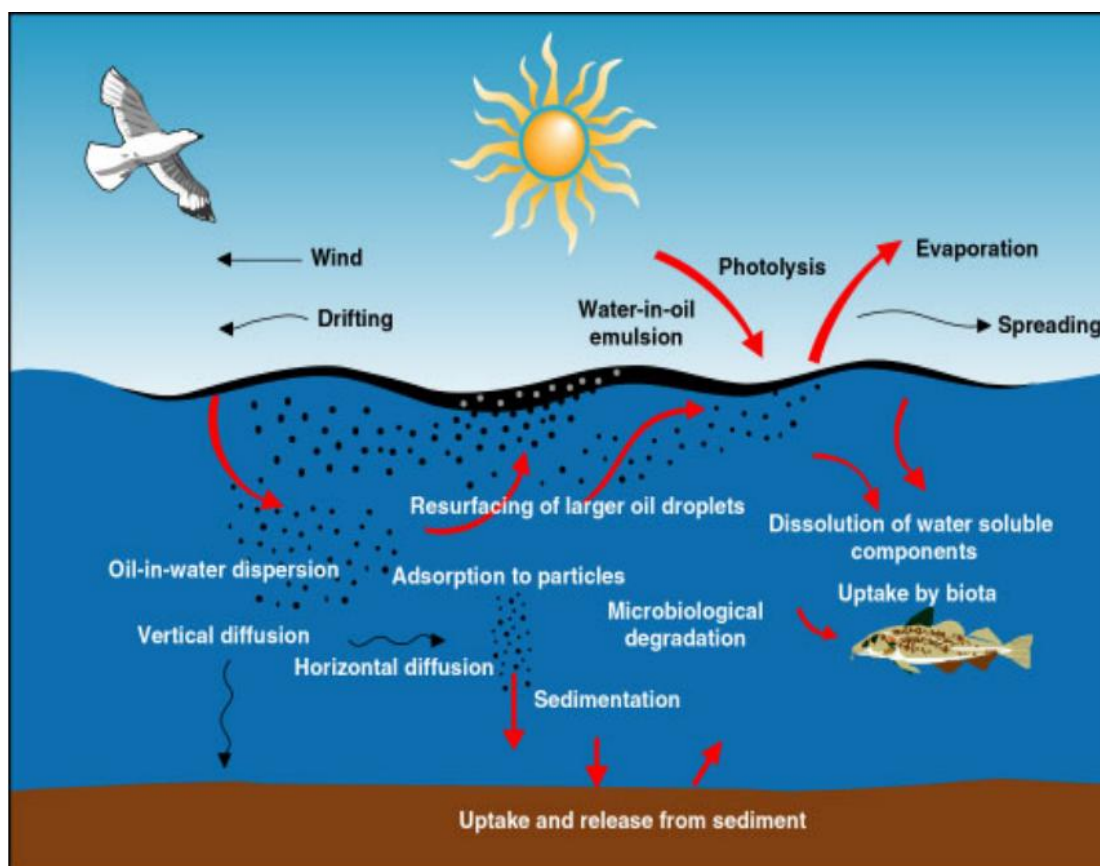
¹⁰⁶ Saadoun, I. M. , 2015, 'Impact of Oil Spills on Marine Life', in M. L. Larramendy, S. Soloneski (eds.), Emerging Pollutants in the Environment - Current and Further Implications, IntechOpen, London. 10.5772/60455.

¹⁰⁷ Fate of Oil Spills. ITOPF. (<https://www.itopf.org/es/knowledge-resources/documents-guides/fate-of-oil-spills/>).

γαλακτώματα ανάλογα με την περιεκτικότητα σε ασφαλτένιο, ρητίνη και αρωματικά. Τα μεσαία αργά πετρέλαια σπάνια διασκορπίζονται φυσικά σε μεγάλο βαθμό. Το βαρύ αργό πετρέλαιο θα εξατμιστεί σε ποσοστό 15% δεν θα διασκορπιστεί φυσικά. Έχει συνήθως μεγάλη περιεκτικότητα σε ασφαλτένια και ρητίνες και μετά την εξάτμιση σχηματίζουν γαλακτώματα.

Οι κύριες φυσικές και χημικές διεργασίες που συμβαίνουν στο πετρέλαιο είναι:

1. Εξάτμιση
2. Γαλακτωματοποίηση
3. Φυσική διασπορά
4. Διάλυση
5. Φωτοοξείδωση, καθίζηση και βιοαποικοδόμηση

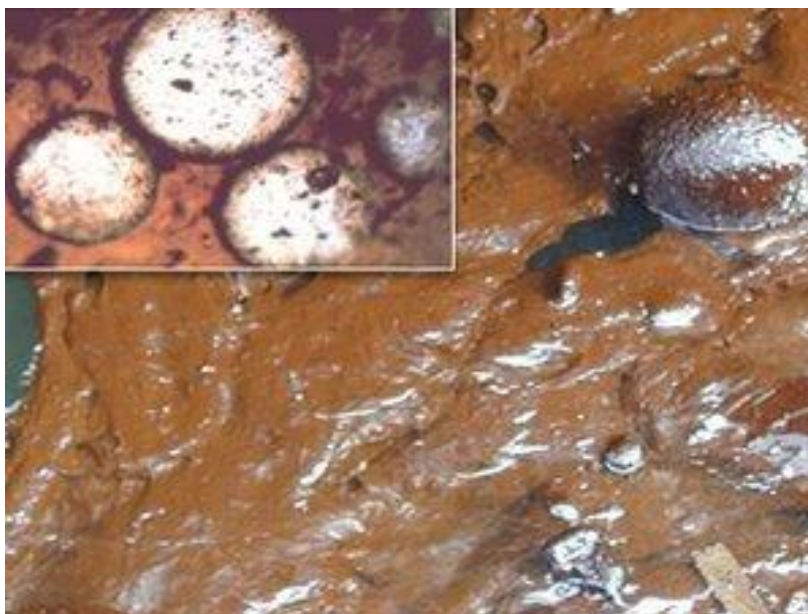


Εικόνα 14: Η συμπεριφορά μιας πετρελαιοκηλίδας (Πηγή:
https://www.boem.gov/sites/default/files/boem-newsroom/Library/Publications/2005/2005_020_appA.pdf)

Η εξάτμιση είναι η σημαντικότερη διεργασία και είναι υπεύθυνη σε μεγάλο βαθμό για την αλλαγή του ισοζυγίου. Καθώς το πετρέλαιο απλώνεται ο ρυθμός

εξάτμισης θα αυξηθεί λόγω της μεγαλύτερης επιφάνειας. Οι πιο ταραγμένες θάλασσες, οι υψηλές ταχύτητες ανέμου και οι μεγάλες θερμοκρασίες αυξάνουν επίσης το ρυθμό εξάτμισης.

Ο σχηματισμός ενός γαλακτώματος γίνεται όταν δύο ρευστά ενωθούν με αποτέλεσμα την αιώρηση του ενός μέσα στο άλλο. Ο όρος γαλακτωματοποίηση παραπέμπει στην διαδικασία κατά την οποία σταγονίδια θαλασσινού νερού αιωρούνται στο πετρέλαιο για να σχηματίσουν το γαλάκτωμα water-in-oil. Η ανάμειξη συμβαίνει με φυσικό τρόπο, με την ανατάραξη της επιφάνειας της θάλασσας από διάφορους παράγοντες με αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός πολύ ισχυρού γαλακτώματος, ανθεκτικότερου από το αρχικό πετρέλαιο. Τα γαλακτώματα αυτά προκαλούν αύξηση στον όγκο κατά 3 με 4 φορές, καθώς περιέχουν 50-80% θαλασσινό νερό και καθυστερούν άλλες διαδικασίες διάβρωσης του πετρελαίου. Η σημαντικότερη αλλαγή είναι αυτή του ιξώδους που μπορεί να πάρει τιμές έως και 1000 φορές μεγαλύτερες και μετατρέπει το προϊόν σε βαρύ ημι-στερεό. Αποτέλεσμα της γαλακτωματοποίησης είναι η επιβράδυνση της εξάτμισης και της εξάπλωσης της πετρελαιοκηλίδας. Πετρέλαιο περιεκτικότητας σε ασφαλτένιο μεγαλύτερη του 0,5% σχηματίζει γαλακτώματα μεγάλης σταθερότητας που μπορούν να αντέξουν αρκετούς μήνες από το σχηματισμό τους. Η θέρμανση προκαλεί τον διαχωρισμό του νερού από το πετρέλαιο.¹⁰⁸



¹⁰⁸ National Academy Press. Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and Effects (2003). pp 90-92.



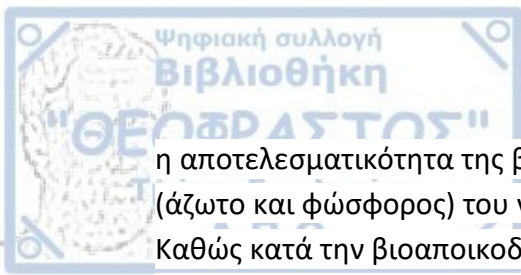
Εικόνα 15: Μεγεθυμένη εικόνα γαλακτώματος και κοντινή προβολή (Πηγή: <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/fate-of-oil-spills/weathering/>)

Η φυσική διασπορά αναφέρεται στη μετακίνηση σταγονιδίων μεγέθους 1-50 μικρά μέσα στο νερό. Τα κύματα και οι αναταράξεις του ανώτερου τμήματος της θάλασσας διασπούν τα μικρότερα σωματίδια με αποτέλεσμα την αιώρηση τους στη θάλασσα. Τα διασκορπισμένα σταγονίδια ενθαρρύνουν άλλες φυσικές διεργασίες όπως η διάλυση, η καθίζηση και η βιοαποικοδόμηση. Η ταχύτητα διασκορπίσης του πετρελαίου εξαρτάται σημαντικά από τη φύση και την κατάσταση της θάλασσας. Η έκταση της διασποράς σχετίζεται με την ποιότητα του πετρελαίου και την διατάραξη της θάλασσας. Η επιφανειακή εξάπλωση ξεκινά αμέσως μόλις γίνει η διαρροή του πετρελαίου. Η ταχύτητα της εξάπλωσης εξαρτάται από το ιξώδες του πετρελαίου και την θερμοκρασία που επικρατεί. Είναι γρηγορότερη όταν το πετρέλαιο έχει μικρό ιξώδες, ενώ η χαμηλή θερμοκρασία αυξάνει το ιξώδες. Η διασπορά είναι συνήθως ανομοιόμορφη και η πετρελαιοκηλίδα αρχίζει να διασπάται λίγες ώρες μετά τον σχηματισμό της, εξαιτίας της δράσης των ανέμων, των κυμάτων της θάλασσας, των παλιρροιακών ρευμάτων και της θερμοκρασίας. Ο ρυθμός εξάπλωσης είναι ταχύτερος σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, σε ανέμους μεγάλης ισχύος και από τη δράση ρευμάτων στην επιφάνεια της θάλασσας.

Οι υδατοδιαλυτές ενώσεις που περιέχονται στο πετρέλαιο μπορούν να διαλυθούν στο θαλασσινό νερό. Οι πιο διαλυτές ενώσεις είναι οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες ΡΑΗ. Οι ενώσεις αυτές όμως χάνονται σε μεγάλο βαθμό κατά την εξάτμιση, πολύ πριν την διαδικασία της διάλυσης. Για αυτό το λόγο η διάλυση, αν και όχι ασήμαντη διαδικασία, αντιπροσωπεύει μια πολύ μικρή ποσότητα πετρελαίου που χάνεται.

Η φωτοοξείδωση αναφέρεται στη μετατροπή χημικών συστατικών του πετρελαίου σε πολικά συστατικά με την προσθήκη οξυγόνου. Έτσι αυξάνονται τα ρητινικά και σε μικρότερο βαθμό τα ασφαλτενικά συστατικά του λαδιού. Αξίζει να σημειωθεί ότι όσο αυξάνεται η φωτοοξείδωση τόσο αυξάνεται και η δυνατότητα σχηματισμού γαλακτώματος. Η βύθιση πετρελαίου γίνεται είτε με τη βύθιση σταγονιδίων είτε με μαζική βύθιση και μπορεί να οδηγήσει σε καθίζηση.¹⁰⁹ Ένα εκτενές φάσμα μικροοργανισμών που τρέφονται με υδρογονάνθρακες μπορούν να αποικοδομήσουν το πετρέλαιο εν μέρη ή τελείως σε υδατοδιαλυτές ενώσεις και σε τελικό στάδιο σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Οι βασικοί λόγοι που επηρεάζεται

¹⁰⁹ Fingas M., Jokuty P. and Fieldhouse B. (1996). OIL SPILL BEHAVIOUR AND MODELING. Presented at Eco-Informa '96, Lake Buena Vista, Florida, 4-7 November 1996. pp 1-6.



η αποτελεσματικότητα της βιοαποικοδόμησης είναι τα επίπεδα σε θρεπτικές ουσίες (άζωτο και φώσφορος) του νερού, η θερμοκρασία και το διαθέσιμο οξυγόνο. Καθώς κατά την βιοαποικοδόμηση απαιτείται οξυγόνο, η διαδικασία είναι εφικτή αποκλειστικά στη επιφάνεια λαδιού-νερού.¹¹⁰

2.5.2. Επιπτώσεις

Η τοξικότητα του πετρελαίου είναι μεγάλη και επηρεάζει άμεσα την πανίδα της θάλασσας. Όταν οι υδρογονάνθρακες καταπίνονται από τα θαλάσσια ζώα, μεταφέρονται στο ήπαρ τους όπου τα ένζυμα ενεργοποιούν τα ΡΑΗ του πετρελαίου και έτσι γίνεται τοξικότερο. Η κατάποση ή εισπνοή του πετρελαίου από οργανισμούς της επιφάνειας οδηγεί σε απορρόφηση του στην κυκλοφορία του αίματος. Η σωματική επαφή είναι η κύρια οδός έκθεσης και επηρεάζει πτηνά και θηλαστικά με τρίχωμα. Το τρίχωμα παίζει πολύ βασικό ρόλο στην πλευστότητα και την θερμοκρασία. Ζώα με λίγο έως καθόλου τρίχωμα έχουν πλεονέκτημα καθώς το πετρέλαιο δεν μπορεί να προσκολληθεί πάνω τους.

Το ζωπλαγκτόν είναι πολύ σημαντικός πόρος τροφής, ειδικά για τις φάλαινες. Μερικά είδη ζωπλαγκτόν αφομοιώνουν υδρογονάνθρακες απευθείας από το θαλασσινό νερό. Η κατάποση τους προκαλεί σε πολλές περιπτώσεις το θάνατό τους, ενώ οι επιζήσαντες μικροοργανισμοί συχνά εμφανίζουν αναπτυξιακές και αναπαραγωγικές ανωμαλίες. Το φυτοπλαγκτόν είναι μικροσκοπικά φυτά όπως τα φύκια και τα διάτομα που ζουν στο ανώτερο στρώμα του νερού καθώς εξαρτώνται από το φως για τη φωτοσύνθεση. Βρίσκονται και αυτά στην βάση της τροφικής αλυσίδας. Όπως και τα ζωπλαγκτόν, παρόλο που σκοτώνονται εύκολα με πολύ μικρές ποσότητες υδρογονανθράκων, οι πληθυσμοί αναρρώνουν ταχύτατα.

Τόσο τα πελαγικά (μέσα στο νερό) όσο και τα βενθοπελαγικά (που κατοικούν στο βυθό) ψάρια εκτίθενται στους υδρογονάνθρακες κυρίως μέσω της πρόσληψης αρωματικών υδρογονανθράκων στη στήλη του νερού. Οι βενθικοί ασπόνδυλοι οργανισμοί και ανώτερες μορφές μπορεί να συσσωρεύσουν υδρογονάνθρακες από το νερό, μολυσμένα ιζήματα και τα τρόφιμα. Τα δίθυρα μαλάκια συσσωρεύουν υδρογονάνθρακες καθώς δεν μπορούν τα τους μεταβολίσουν και τους μεταφέρουν και στα αρπακτικά τους καθώς βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στα δίθυρα για τροφή. Τα βενθικά αμφίποδα είναι πολύ ευαίσθητα στους υδρογονάνθρακες και είναι οι πρώτοι θαλάσσιοι οργανισμοί που σκοτώνονται και αντίστοιχα οι τελευταίοι που καταφέρνουν να αναρρώσουν. Τα οστακόδερμα από την άλλη μεριά, έχουν πολύ

¹¹⁰ Weathering. ITOF. (<https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/fate-of-oil-spills/weathering/>).

καλό μεταβολικό σύστημα και καταφέρνουν να αποβάλλουν τους υδρογονάνθρακες αρκετά εύκολα. Τα θαλάσσια θηλαστικά που δεν έρχονται σε επαφή με το επιφανειακό στρώμα πετρελαίου και δεν καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες πετρελαίου είναι πολύ δύσκολο να επηρεαστούν.

Τα πουλιά είναι ο πιο ορατός οργανισμός που πλήττεται από πετρελαιοκηλίδες, ειδικά στο υδάτινο περιβάλλον. Οι δύο κύριες οδοί έκθεσης σε πετρέλαιο για τα πουλιά είναι η ρύπανση των φτερών και η κατάποση. Το πετρέλαιο μολύνει τα φτερά όταν τα πουλιά έρχονται σε επαφή με αυτό στην επιφάνεια της θάλασσας. Για τα θαλάσσια πτηνά, αυτό είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο γιατί όταν τα φτερά τους είναι λιπαρά, οι ιδιότητες μόνωσης και άνωσης μειώνονται. Μόλις ένα πουλί έρθει σε επαφή με το πετρέλαιο που έχει η επιφάνεια της θάλασσας χάνει γρήγορα τη θερμότητα του σώματός του προκαλώντας πιθανώς θάνατο. Μπορούν να επηρεαστούν, επιπλέον, με την κατάποση πετρελαίου στην προσπάθεια του να το καθαρίσουν από τα φτερά τους ή όταν τα θηράματά τους να είναι καλυμμένα με πετρέλαιο.¹¹¹

Τα υδρόβια φυτά είναι απαραίτητα για τη λειτουργία των οικοσυστημάτων. Οι βασικές ιδιότητες τους περιλαμβάνουν:

1. Την παραγωγή οξυγόνου
2. Την ικανότητα δέσμευσης άνθρακα
3. Την βασική τους θέση σε υδρόβιες τροφικές αλυσίδες¹¹²

Το πετρέλαιο επηρεάζει σημαντικά την θαλάσσια πανίδα. Όταν βρίσκεται στην επιφάνεια της θάλασσας εμποδίζει τη διέλευση του φωτός και προκαλεί πνιγμό στα φυτά. Επιπλέον είναι υπεύθυνο για τη μεταβολή του pH τους καθώς είναι μειωμένη η διαθεσιμότητα σε διαλυμένο οξυγόνο και σε τροφή.¹¹³

2.5.3. Αντιμετώπιση

Η αντιμετώπιση μιας θαλάσσιας πετρελαιοκηλίδας (Offshore oil spill response ή OOSR) είναι μια ιδιαίτερα πολύπλοκη διαδικασία που απαιτεί το συντονισμό

¹¹¹ Michel J., Fingas M. (2016). Oil Spills: Causes, Consequences, Prevention, and Countermeasures. pp 14-23.

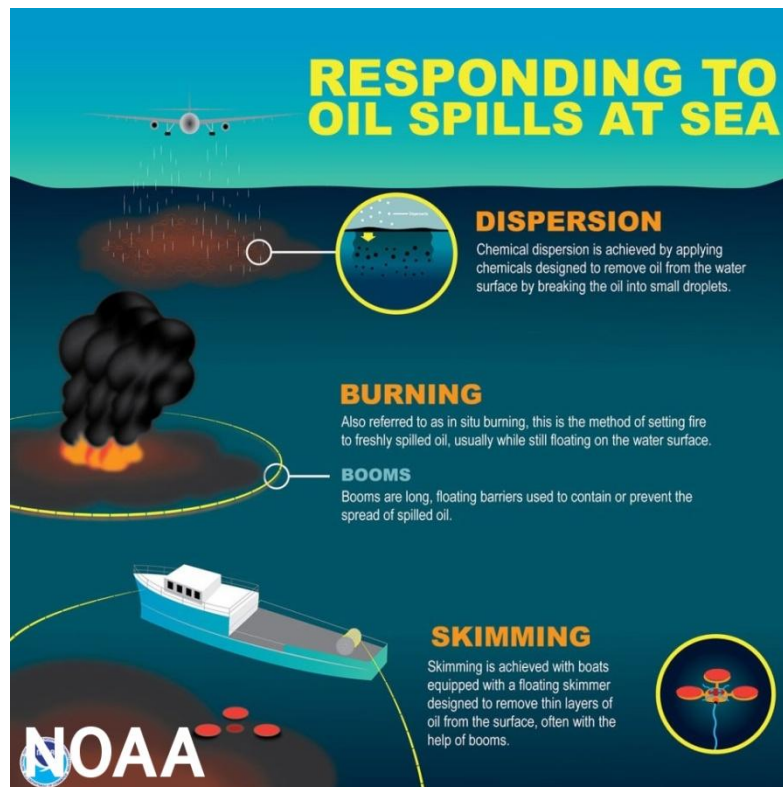
¹¹² Saadoun, I. M. , 2015, 'Impact of Oil Spills on Marine Life', in M. L. Larramendy, S. Soloneski (eds.), Emerging Pollutants in the Environment - Current and Further Implications, IntechOpen, London. 10.5772/60455.

¹¹³ Craveiro N., R. V. A. Alves, J. M. Silva, Vasconcelos E., F. A. Alves Jr, J. S. R. Filho. (2020). Immediate effects of the 2019 oil spill on the macrobenthic fauna associated with macroalgae on the tropical coast of Brazil. Marine Pollution Bulletin 165 (2021) 112107. pp 1-2.

πολλών οργανισμών για την παρακολούθηση, την μείωση και την αποκατάσταση της ρύπανσης. Η αντιμετώπιση βασίζεται σε διάφορες τεχνικές που είναι:

1. Η μηχανική ανάκτηση
2. Η χρήση χημικών dispersants
3. Η επιτόπια καύση του πετρελαίου

Η τεχνική ή οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται κάθε φορά εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της πετρελαιοκηλίδας, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τη θέση απόκρισης.¹¹⁴



Εικόνα 16: Τεχνικές Αντιμετώπισης Πετρελαιοκηλίδων (Πηγή: <https://www.noaa.gov/explainers/oil-spills-major-marine-ecosystem-threat>)

2.5.3.1. Μηχανική Ανάκτηση

Στην περίπτωση μεγάλης θαλάσσιας πετρελαιοκηλίδας η κύρια στρατηγική αντιμετώπισης που απαιτούν τα περισσότερα έθνη είναι η μηχανική ανάκτηση. Η στρατηγική περιλαμβάνει τη συγκέντρωση του πετρελαίου με βραχίονες ή booms

¹¹⁴ Saleem S., Hu G., Li J., Hewage K., Sadiq R. (2022). Evaluation of offshore oil spill response waste management strategies: A lifecycle assessment-based framework. Journal of Hazardous Materials 432 (2022) 128659. pp 1-3.

(δρουν ως φράγματα και περιορίζουν το επιφανειακό πετρέλαιο σε συγκεκριμένα περιθώρια), την ανάκτηση του με skimmers (χωρίς να αλλάζουν οι φυσικές και χημικές ιδιότητές του και γίνεται με αναρρόφηση ή πρόσφυση),¹¹⁵ την αποθήκευση του σε πλοία ανοιχτής θάλασσας, την απόχυση του συνανακτημένου νερού και τέλος την αποστολή στην ακτή για διάθεση. Το ποσοστό του πετρελαίου που θα ανακτηθεί εξαρτάται από:

1. Τον τύπο του εξοπλισμού skimming
2. Τις περιβαλλοντικές συνθήκες
3. Τον τύπο του πετρελαίου που χύθηκε
4. Τους υλικοτεχνικούς περιορισμούς και την ικανότητα των χειριστών

Το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι το ανακτημένο πετρέλαιο δεν μπορεί να επηρεάσει το περιβάλλον και αυτός είναι και ο κύριο λόγος που επιλέγεται. Στα μειονεκτήματα περιλαμβάνετε η σκληρή εργασία και ο ειδικός εξοπλισμός καθώς και τα μικρά ποσοστά ανάκτησης. Η μηχανική ανάκτηση αφαιρεί ποσοστά 10-30% του αρχικού πετρελαίου οπότε στην περίπτωση που ανακτηθεί το 30%, το υπόλοιπο 70% παραμένει στο θαλάσσιο περιβάλλον. Από την συνολική ποσότητα αργού πετρελαίου που διέρρευσε, περίπου το 40% θα εξατμιστεί ή θα διαλυθεί φυσικά. Επειδή, λοιπόν, τα ποσοστά της μηχανικής ανάκτησης εκτιμώνται με βάση την αρχική ποσότητα πετρελαίου χωρίς να υπολογίζεται η ποσότητα που θα εξατμιστεί ή διαλυθεί, είναι σχεδόν διπλάσια.

Οι **βραχίονες ή booms** είναι πλωτά μηχανικά φράγματα που έχουν σχεδιαστεί για να σταματούν ή να εκτρέπουν την κίνηση του πετρελαίου στο νερό. Μοιάζουν με κουρτίνες που εκτίνονται πάνω και κάτω από την επιφάνεια του νερού και συνήθως κατασκευάζονται σε τμήματα μήκους 15 ή 30 μέτρων με συνδέσμους στα άκρα ώστε να μπορέσουν να ενωθούν μεταξύ τους ή να ρυμουλκηθούν. Οι βραχίονες χρησιμοποιούνται για να περικλείσουν το πετρέλαιο και να εμποδίζουν την εξάπλωσή του, για να προστατέψουν βιολογικά ευαίσθητες περιοχές, για την εκτροπή του λαδιού σε περιοχές όπου μπορεί να ανακτηθεί ή να υποβληθεί σε επεξεργασία για την απόκτηση επαρκούς πάχους ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν skimmers ή χρησιμοποιούνται για να περικυκλώσουν τις πετρελαιοκηλίδες για επιτόπια καύση.¹¹⁶

¹¹⁵ Jerome J. A Review of Different Methods for Responding to an Oil Spill. Shark Research. (<https://sharkresearch.rsmas.miami.edu/a-review-of-different-methods-for-responding-to-an-oil-spill/>)

¹¹⁶ Booms. Oil Spill Prevention + Response. (<https://www.oilspillprevention.org/oil-spill-cleanup/oil-spill-cleanup-toolkit/booms>).



Εικόνα 17: Βραχίονες Συγκράτησης (Πηγή: <https://cdiver.net/news/oil-spill-detected-at-statfjord/>).

Τα **skimmers** είναι μηχανικές συσκευές βασικό σκοπό την αφαίρεση του πετρελαίου που βρίσκεται στην επιφάνεια της θάλασσας. Διαφέρουν σημαντικά σε μέγεθος, εφαρμογή και χωρητικότητα, και επιπλέον ως προς την αποτελεσματικότητα ανάκτησης και ταξινομούνται ανάλογα με την περιοχή που χρησιμοποιούνται. Τα περισσότερα skimmers λειτουργούν καλύτερα όταν η πετρελαιοκηλίδα είναι σχετικά παχιά και για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται βραχίονες για να την συγκεντρώσουν. Οι καιρικές συνθήκες έχουν σημαντική επίδραση στην αποτελεσματικότητα των skimmers. Ανάλογα με τον τύπο του skimmer, τα περισσότερα δεν θα λειτουργούν αποτελεσματικά σε κύματα ύψους μεγαλύτερα από 1 m ή σε ρεύματα $>0,5$ m/s. Πάγος, κλαδιά, φύκια ή άλλα απόβλητα εμποδίζουν την λειτουργία τους και μπορεί να φράξουν την είσοδό τους ώστε να μην είναι δυνατή η άντληση του πετρελαίου.¹¹⁷

¹¹⁷ Michel J., Fingas M. (2016). Oil Spills: Causes, Consequences, Prevention, and Countermeasures. pp 36-37.



Εικόνα 18: Χρήση skimmer για ανάκτηση πετρελαίου (Πηγή:
<https://aquaguard.com/products/skimmers/rbs-triton-35-skimmer>)

Οι ιδιότητες και η συμπεριφορά του πετρελαίου παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο. Το πετρέλαιο θα αρχίσει να εξαπλώνεται αμέσως μετά τη διαρροή και οι κηλίδες μπορεί να αποκτήσουν πάχος μέχρι και 1 mm μέχρι να αρχίσουν οι διαδικασίες για τον περιορισμό τους. Βραχίονες που ταξιδεύουν με λιγότερο από ένα κόμβο δεν μαζεύουν ικανοποιητική ποσότητα πετρελαίου. Ένα σύστημα με boom και skimmers, υποθέτοντας ότι συναντά μια πετρελαιοκηλίδα με συνεχές πάχος 1mm, που ταξιδεύει με έναν κόμβο και έχει πλάτος 100 m θα συλλέγει περίπου 100 βαρέλια ανά ώρα. Κηλίδες μικρότερου πάχους συνήθως δεν αποτελούν στόχο μηχανικής ανάκτησης καθώς δεν θα συλλεχθεί αρκετή ποσότητα πετρελαίου με το πέρασμα του χρόνου. Ο προσδιορισμός του ελάχιστου πάχους θα εξαρτηθεί και από τη διαθεσιμότητα σε παχύτερες κηλίδες.

Οι πετρελαιοκηλίδες τείνουν να σπάνε σε μικρότερα κομμάτια και στη συνέχεια να διαχωρίζονται. Μετά την ανάκτηση του πετρελαίου μιας κηλίδας οι χειριστές αναλαμβάνουν την χρονοβόρα διαδικασία της ανάκτησης των βραχιόνων και των skimmers, τον εντοπισμό δεύτερης κηλίδας και τη μετάβαση σε αυτή και την επανατοποθέτηση του εξοπλισμού για εκ νέου λειτουργία. Το ιξώδες του πετρελαίου παίζει ρόλο στο ρυθμό ανάκτησης του πετρελαίου από τα skimmers. Η γαλακτωματοποίηση μπορεί να αυξήσει τους ρυθμούς ανάκτησης αλλά αυξάνει και την περιεκτικότητα σε νερό του ρευστού που συλλέγεται. Καταλαμβάνει με αυτό τον τρόπο μεγάλο χώρο στη δεξαμενή αποθήκευσης και σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δύσκολος και αργός ο διαχωρισμός από το πετρέλαιο.

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την απόδοση κατά την ανάκτηση του πετρελαίου. Η απόδοση είναι μειωμένη σε υψηλά ρεύματα και ισχυρούς ανέμους. Οι περισσότεροι βραχίονες δεν μπορούν να λειτουργήσουν όταν οι ταχύτητες των ρευμάτων ξεπερνούν τους 0,7 κόμβους καθώς το πετρέλαιο θα βρεθεί κάτω από τα ρεύματα. Οι δυνατοί άνεμοι έχουν παρόμοιες δυσκολίες και επιπλέον δημιουργούν καταστάσεις που καθιστούν ιδιαίτερα επικίνδυνη την εγκατάσταση θαλάσσιου εξοπλισμού. Υπολείμματα πάγου μπορούν να εμποδίσουν την ανάκτηση καθώς βουλώνουν και καταστρέφουν τα skimmers. Η ομίχλη, η αντηλιά και το σκοτάδι επηρεάζουν την ορατότητα και περιορίζουν τις εργασίες ανάκτησης.

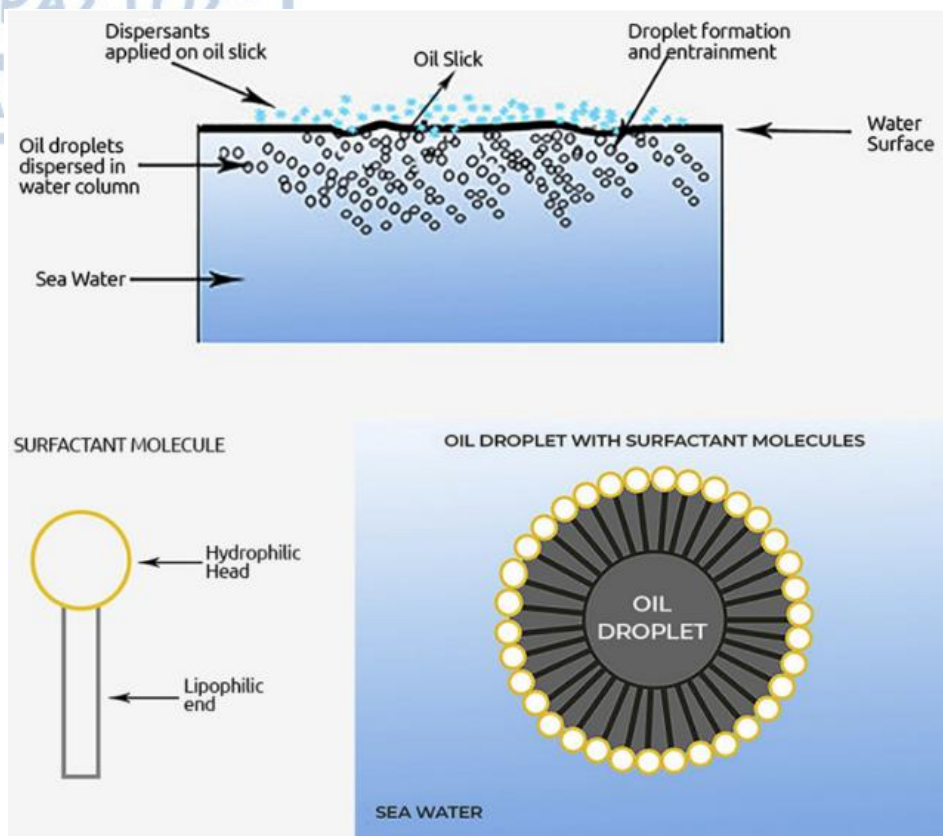
Οι υλικοτεχνικοί περιορισμοί για την ανάκτηση του πετρελαίου περιλαμβάνουν την θέση της διαρροής σε σχέση με τα αποθέματα εξοπλισμού, την ικανότητα αποθήκευσης πετρελαίου ή νερού-πετρελαίου και τους κανόνες μετάγγισης που επιτρέπουν ή όχι την απόρριψη του νερού στην θάλασσα. Σε περιοχές που η απόρριψη στη θάλασσα δεν επιτρέπεται, εγκαταστάσεις επεξεργασίας και διάθεσης στη στεριά είναι απαραίτητες.¹¹⁸

2.5.3.2. Χρήση χημικών Dispersants

Η εφαρμογή dispersants και χημικών γαλακτωματοποιητών γίνεται σε πετρελαιοκηλίδες σε μια προσπάθεια διασκορπισμού των κηλίδων. Ο λόγος για τον οποίο η εφαρμογή διασκορπιστικών στο χυμένο πετρέλαιο λειτουργεί είναι επειδή περιέχει μόρια επιφανειοδραστικής ουσίας που αποτελείται από δύο μέρη, ένα λιπόφιλο μέρος που έλκεται από το πετρέλαιο και ένα υδρόφιλο μέρος που έλκεται από το νερό. Προσανατολίζονται ή ευθυγραμμίζονται στη διεπιφάνεια λαδιού-νερού και μειώνουν τη διεπιφανειακή τάση μεταξύ πετρελαίου και νερού. Όταν η τάση μειώνεται, οδηγεί σε ταχεία διάσπαση της πετρελαιοκηλίδας σε εκατομμύρια ποσότητες μικρών σταγονιδίων στο θαλάσσιο περιβάλλον. Τα σταγονίδια αυτά έχουν διάμετρο κατά μέσο όρο μικρότερη από 100 μικρά και έτσι είναι απίθανο οι σταγόνες πετρελαίου να επανενωθούν.¹¹⁹

¹¹⁸ D. S. Etkin, T. J. Nedwed. (2021). Effectiveness of mechanical recovery for large offshore oil spills. Marine Pollution Bulletin 163 (2021) 111848. pp 1-3.

¹¹⁹ Y. K. Adofo, Nyankson E., Agyei-Tuffour B. (2022). Dispersants as an oil spill clean-up technique in the marine environment: A review. Heliyon 8 (2022) e10153. pp 9-10.



Εικόνα 19: Μηχανισμός των Dispersants (Πηγή:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2405844022014414?token=C684FB11D7BC6F90C2E9D5ACD924C346D2313FD7D5B490DD8BB3E0BAA7C12528E54803242308EA518B25DA56C38E6BC3&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220815105133>).

Η εφαρμογή τους συνήθως είναι επιτυχής για μεγάλες κηλίδες. Τα αποτελέσματα όμως ποικίλλουν και εξαρτώνται από την σύνθεση του πετρελαίου, την δυναμική που πραγματοποιείται η ανάμειξη, την θερμοκρασία, την αλατότητα και την παρουσία φωτός. Ωστόσο η χρήση τους επιβαρύνει το περιβάλλον με 2 τρόπους:

1. Λόγω της τοξικότητας των ίδιων των ουσιών
2. Λόγω της ταχύτερης και ευρύτερης εξαπλώσης από τον διασκορπισμό των υδρογονανθράκων.¹²⁰

¹²⁰ Cordes EE, Jones DOB, Schlacher TA, Amon DJ, Bernardino AF, Brooke S, Carney R, DeLeo DM, Dunlop KM, Escobar-Briones EG, Gates AR, Génio L, Gobin J, Henry L-A, Herrera S, Hoyt S, Joye M, Kark S, Mestre NC, Metaxas A, Pfeifer S, Sink K, Sweetman AK and Witte U (2016) Environmental Impacts of the Deep-Water Oil and Gas Industry: A Review to Guide Management Strategies. Front. Environ. Sci. 4:58. doi: 10.3389/fenvs.2016.00058. pp 14.

Η χρήση των dispersants είναι αμφιλεγόμενη καθώς αυξάνουν την επιφάνεια των υδρογονανθράκων όμως εμποδίζουν την βακτηριακή αποικοδόμηση τους από οργανισμούς που χρησιμοποιούν τους υδρογονάνθρακες ως πηγή ενέργειας. Πραγματοποιείται μόνο όταν θεωρείται ότι τα πλεονεκτήματα υπερτερούν των μειονεκτημάτων. Τα dispersants μπορούν να εφαρμοστούν με ποικίλες μεθόδους.¹²¹ Η εναέρια εφαρμογή γίνεται με μικρά και μεγάλα αεροσκάφη σταθερής πτέρυγας ή ελικόπτερα. Συστήματα ψεκασμού έχουν επίσης αναπτυχθεί και είναι διαθέσιμα για σκάφη.¹²²

Advantages	Disadvantages
- Removes surface oil and dilutes oil into the water column - Facilitates natural oil biodegradation - Reduces exposure to workers recovering oil at the surface - Minimizes impacts on shoreline habitats - Minimizes impacts on populations with long life-spans (birds, mammals, turtles)	- Temporarily increases the bioavailability of toxic oil fractions - Temporarily increases localized risks particularly to entrained aquatic species (eggs, plankton, less mobile animals) - Cannot be used under certain weather conditions - Cannot be used on all oil types and are less efficient on weathered oils

Πίνακας 1: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της χρήσης Dispersants (Πηγή: file:///C:/Users/rania/Downloads/MichelandFingas2016OilSpillsOverview.pdf).

2.5.3.3. Επιτόπια καύση του πετρελαίου

Η επιτόπια καύση είναι αναφέρεται στη διαδικασία καύσης πλωτού πετρελαίου στη θάλασσα, στο σημείο ή κοντά στο σημείο της διαρροής. Για να γίνει η καύση, το πετρέλαιο συγκεντρώνεται και εφαρμόζεται πηγή ανάφλεξης. Η καύση πετρελαίου στη θάλασσα απομακρύνει σχετικά μεγάλες ποσότητες των υδρογονανθράκων που βρίσκονται στην επιφάνεια της θάλασσας, εφόσον οι συνθήκες είναι οι κατάλληλες.

¹²¹ Dispersants. ITOFF. (<https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/response-techniques/dispersants/>).

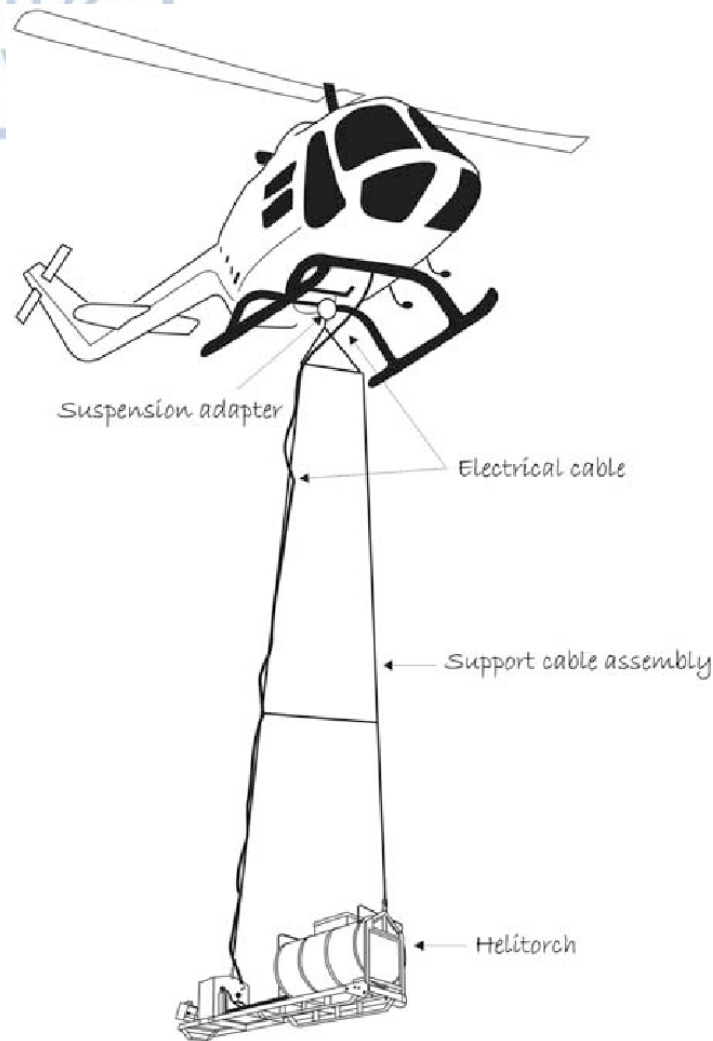
¹²² J. V. Mullin, M. A. Champ. (2003). Introduction/Overview to In Situ Burning of Oil Spills. Spill Science & Technology Bulletin, Vol. 8, No. 4, pp. 323–330, 2003. pp 323-324.



Εικόνα 20: Ελεγχόμενη επιτόπια καύση με τη χρήση Booms (Πηγή:
<https://www.giwacaf.net/en/publications/in-situ-burning-ipieca-gpg>)

Η απόφαση για την καύση ή όχι πετρελαίου στη θάλασσα είναι συχνά πολύπλοκη. Η πυρκαγιά και ο καπνός της μολύνουν με τοξικά σωματίδια την ατμόσφαιρα και επηρεάζουν άμεσα την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Αυτές οι επιπτώσεις εξαρτώνται από την ποσότητα του καπνού που παράγεται, την κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων και τη χημική σύνθεση τους. Σημαντική είναι επίσης η απελευθέρωση αρωματικών υδρογονανθράκων κατά την καύση που έχει αρνητικές συνεπείς στο περιβάλλον. Η επιτόπια καύση είναι μια τεχνική πιο κατάλληλη για χρήση σε υπεράκτιες περιοχές ή μακριά από κατοικημένες περιοχές. Καθώς το πετρέλαιο εξατμίζεται, μπορεί να χάσει τα ελαφρύτερα κλάσματά του και να σχηματίσει γαλάκτωμα κάνοντας το δυσκολότερο να καεί.

Για μια επιτυχημένη καύση το στρώμα πετρελαίου πρέπει να έχει τουλάχιστον 2-3 εκατοστά πάχος ώστε να μην επηρεαστεί από την ψυκτική δράση του ανέμου. Τα λεπτά στρώματα είναι αδύνατο να καούν καθώς δεν θα αναπτυχθούν οι κατάλληλες θερμοκρασίες και συχνά χρησιμοποιούνται αντιδραστήρες για να πυκνώσουν το πετρέλαιο. Η εξάπλωση της κηλίδας σημαίνει ότι το πετρέλαιο μπορεί να χρειαστεί να συγκρατηθεί σε ένα φράγμα. Σε μια ανοιχτή θάλασσα αυτό μπορεί να γίνει φυσικά όταν συναντήσει πάγο ή τεχνητά με τη χρήση των booms. Για την ανάφλεξη μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες μεθόδους από απλές έως πιο σύνθετες. Η ασφαλέστερη μέθοδος είναι η Helitorch δηλαδή ένα φλογοβόλο που κρέμεται κάτω από ένα ελικόπτερο. Δεν αποτελεί όμως την πιο διαδεδομένη μέθοδο καθώς, η συσκευή και η εμπειρία χρήσης της δεν είναι άμεσα διαθέσιμα σε πολλά μέρη του κόσμου.



Εικόνα 21: Ελικόπτερο με Heritorch (Πηγή:
https://www.researchgate.net/publication/313425642_In-situ_Burning_An_Update/figures?lo=1)

Όταν σβήσει η φωτιά, θα αφήσει ένα παχύρρευστο υπόλειμμα που θα είναι πολύ δύσκολο να ανακτηθεί. Επιπλέον, τα υπολείμματα έχουν επίσης τη δυνατότητα να βυθίζονται και επομένως μπορεί να πνίξουν ή να είναι τοξικά για τα θαλάσσια είδη που κατοικούν στον βυθό (βενθικό).¹²³

Η καύση του αργού πετρελαίου παρατηρήθηκε ότι πραγματοποιείται σε 4 βασικές φάσεις. Αυτές είναι:

1. **εξάπλωση,**
2. **σταθερή καύση,**
3. **σταθερή καύση με βρασμό του νερού κάτω από το στρώμα λαδιού και**

¹²³ In-Situ Burning. ITOPF. (<https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/response-techniques/in-situ-burning/>).

4. μετάβαση στην εξαφάνιση¹²⁴

2.5.4. Το παραδείγματα του Κόλπου του Μεξικού

Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα πετρελαιοκηλίδας αφορά τον Κόλπο του Μεξικού όπου στις 20 Απριλίου του 2010 η έκρηξη της γεωτρητικής πλατφόρμας προκάλεσε μια ανεξέλεγκτη διαρροή πετρελαίου που διήρκεσε 87 ημέρες έχοντας προκαλέσει τη διαρροή περίπου 4,9 βαρελιών πετρελαίου στον κόλπο. Η διαρροή του πετρελαίου έγινε σε βάθος περίπου 1.600 μέτρων και επηρέασε 8.400 Km² του πυθμένα και 200 Km² του επιφανειακού περιβάλλοντος.¹²⁵¹²⁶

Οι επιπτώσεις της πετρελαιοκηλίδας είναι τεράστιες. ΡΑΗ βρέθηκαν μέχρι και 8 μίλια από το σημείο της έκρηξης και διαπιστώθηκε ότι προκαλούσε καρδιακή ανακοπή στα ψάρια. Θύλακες μεθανίου δημιουργούσαν ζώνες χωρίς οξυγόνο και προκάλεσαν την κατάνιξη της θαλάσσιας ζωής με μεγάλο αριθμό θανάτων ψαριών να αναφέρονται. Τα έγκυα δελφίνια εμφάνισαν προβλήματα και τα ποσοστά θνησιμότητας εκτοξεύτηκαν. Επιπλέον, πουλιά πολλών ειδών με άμεση σχέση με το νερό πέθαναν καθώς το πετρέλαιο ανέστειλε την ικανότητα τους να διατηρούν σταθερή τη θερμοκρασία του σώματος τους¹²⁷ είτε προσπάθησαν να καθαρίσουν το πετρέλαιο από το σώμα τους. Χιλιάδες χελώνες που έφτασαν από άλλα μέρη του κόσμου πέθαναν λόγω της μόλυνσης.

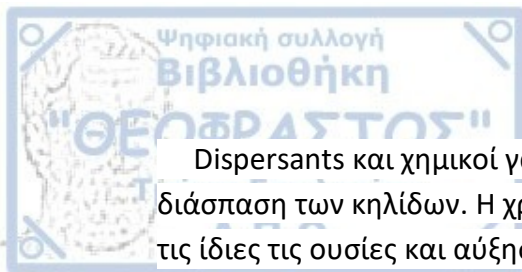
Στην επιφάνεια οι πετρελαιοκηλίδες αλληλεπιδράσαν με κοινότητες πλαγκτόν και ορυκτά σωματίδια και σχηματίστηκε ένα γαλάκτωμα πετρελαϊκού θαλάσσιου χιονιού (oiled marine snow). Το υλικό αυτό στη συνέχεια σχημάτισε ένα στρώμα στον πυθμένα της θάλασσας έκτασης 3.400 Km² και επηρέασε κοινότητες κοραλλιών μεσοφωτικών και βαθέων υδάτων. Τα κοράλλια επηρεάστηκαν σε έκταση έως και 22 Km από το φρεάτιο με μεγαλύτερη έκταση βλάβης πιο κοντά σε αυτό και λιγότερο εκτεταμένη βλάβη σε μεγαλύτερη απόσταση.

¹²⁴ Evans DD, Mulholland GW, Baum HR, Walton WD, McGrattan KB. In Situ Burning of Oil Spills. J Res Natl Inst Stand Technol. 2001 Feb 1;106(1):231-78. doi: 10.6028/jres.106.009. PMID: 27500022; PMCID: PMC4865285.

¹²⁵ Assessing the Effects of the Gulf of Mexico Oil Spill on Human Health: A Summary of the June 2010 Workshop. (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK209920/>).

¹²⁶ Rohal M., Ainsworth C., Lupher B., P. A. Montagna, C. B. Paris, Perlin N., P. M. Supren, Yoskowitz D. (2019). The effect of the Deepwater Horizon oil spill on two ecosystem services in the Northern Gulf of Mexico. Environmental Modelling and Software 133 (2020) 104793. pp 1-2.

¹²⁷ The Environmental Impact of the Deepwater Horizon Oil Spill. (<https://www.natlenvtrainers.com/blog/article/the-environmental-impact-of-the-deepwater-horizon-oil-spill>)



Dispersants και χημικοί γαλακτωματοποιητές χρησιμοποιήθηκαν για τη διάσπαση των κηλίδων. Η χρήση τους όμως, προκαλεί αύξηση της τοξικότητας από τις ίδιες τις ουσίες και αύξηση της επιφάνειας της μόλυνσης λόγω της διασποράς. Στην περίπτωση αυτή, ωστόσο, η χρήση dispersants και γαλακτωματοποιητών εμπόδισε την αποικοδόμηση των υδρογονανθράκων από μικροοργανισμούς. Το χημικά διασπαρμένο πετρέλαιο προκαλεί ανώμαλη ανάπτυξη και εκφυλισμό ιστών σε άμισχα ασπόνδυλα.¹²⁸ Τα χημικά που χρησιμοποιήθηκαν έκαναν πιο δύσκολη την αναπαραγωγή των κοραλλιών και επέφεραν θάνατο σε μικροοργανισμούς ζωτικής σημασίας για τον τροφικό ιστό.¹²⁹

¹²⁸ Cordes EE, Jones DOB, Schlacher TA, Amon DJ, Bernardino AF, Brooke S, Carney R, DeLeo DM, Dunlop KM, Escobar-Briones EG, Gates AR, Génio L, Gobin J, Henry L-A, Herrera S, Hoyt S, Joye M, Kark S, Mestre NC, Metaxas A, Pfeifer S, Sink K, Sweetman AK and Witte U (2016) Environmental Impacts of the Deep-Water Oil and Gas Industry: A Review to Guide Management Strategies. *Front. Environ. Sci.* 4:58. doi: 10.3389/fenvs.2016.00058. pp 13-14.

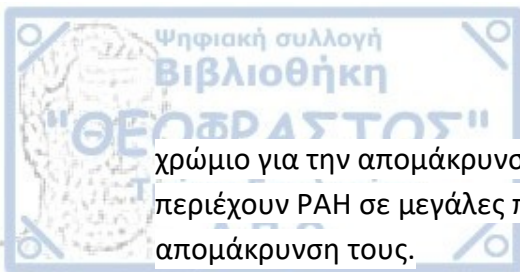
¹²⁹ Pallardy R. Deepwater Horizon oil spill. *Britannica*. (<https://www.britannica.com/event/Deepwater-Horizon-oil-spill>).

Οι έρευνες για την εύρεση κοιτασμάτων υδρογονανθράκων είναι συνεχείς καθώς οι ανάγκες σε ενέργεια αυξάνονται και για να καλυφθούν απαιτούνται μεγαλύτερες ποσότητες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Οι ερευνητικές γεωτρήσεις, τις οποίες αφορά η εργασία, αποτελούν το τελευταίο ερευνητικό στάδιο που θα επιβεβαιώσουν την ύπαρξη ή μη κοιτάσματος καθώς και άλλες παραμέτρους που αφορούν την έκταση του κοιτάσματος, την διάταξη του, τις ιδιότητες του ταμιευτήρα κ.α.

Κατά τη λειτουργία μια γεώτρησης χρησιμοποιείται πληθώρα εξοπλισμού για την διεξαγωγή των διαφόρων διαδικασιών. Αυτές είναι η περιστροφική διάτρηση, η σωλήνωση και η τσιμέντωση. Για την πραγματοποίηση της γεώτρησης σε μια βαθειά θάλασσα απαιτείται μια κινητή γεωτρητική μονάδα, συνήθως γεωτρητικό πλοίο ή ημιβυθιζόμενη εξέδρα. Ο εξοπλισμός αυτός κατά τη λειτουργία του επηρεάζει τους θαλάσσιους οργανισμούς και διάφορα πουλιά εξαιτίας του φωτός και του θορύβου που δημιουργεί. Επιπλέον, η αγκύρωση των ημιβυθιζόμενων εξόδρων καταστρέφει τον βένθο και έτσι είναι προτιμότερη η χρήση των γεωτρητικών πλοίων.

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας είναι αποτέλεσμα τόσο της ανάφλεξης αερίων όσο της καύσης που πραγματοποιείται για την λειτουργία των μηχανών diesel. Τα αέρια που απελευθερώνονται από αυτές τις διαδικασίες είναι επιβλαβή και έτσι είναι σημαντική η ανάπτυξη συστημάτων δέσμευσης αυτών των αερίων.

Οι πολφοί είναι από τα πιο σημαντικά στοιχεία μιας γεωτρητικής διαδικασίας. Υπάρχουν 3 διαφορετικά είδη πολφών. Οι πολφοί με βάση το νερό, οι πολφοί με βάση το πετρέλαιο και οι συνθετικοί πολφοί, οι οποίοι διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τις ιδιότητες τους και το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα αλλά χρησιμοποιούνται για τον ίδιο σκοπό. Την ψύξη και την λίπανση, τον καθαρισμό, την άσκηση των κατάλληλων πιέσεων και την σταθερότητα. Ο πολφός με βάση το νερό είναι περισσότερο περιβαλλοντικά αποδεκτός σε σχέση με τον πολφό με βάση το πετρέλαιο, όμως ο τελευταίος παρουσιάζει καλύτερες λιπαντικές ικανότητες, μεγαλύτερη σταθερότητα και αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι πολφοί σχηματίζονται με την προσθήκη διάφορων συστατικών (για την ρύθμιση της πυκνότητας, για την ρύθμιση του ιξώδους, thinners και dispersants, γαλακτωματοποιητές, διαβρεκτικά μέσα, οργανόφιλοι λιγνίτες) που δίνουν στον πολφό τις κατάλληλες ρεολογικές ιδιότητες. Οι πολφοί μπορεί να περιέχουν μεγάλες ποσότητες βαρέων μετάλλων, τοξικά για το περιβάλλον, οπότε χρησιμοποιούνται συστατικά όπως ο ενεργός άνθρακας, ο άργιλος, το πυρίτιο και ο ζεόλιθος για την απομάκρυνση των μετάλλων. Συμπληρωματικά, χρησιμοποιείται



χρώμιο για την απομάκρυνση του βαρίου. Οι πολφοί με βάση το πετρέλαιο που περιέχουν ΡΑΗ σε μεγάλες ποσότητες υπόκεινται σε θερμική εκρόφηση για την απομάκρυνση τους.

Η διάθεση των υγρών και στερεών αποβλήτων είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη καθώς απαιτεί την εύρεση κατάλληλης τοποθεσίας λαμβάνοντας υπόψη πολλούς παράγοντες. Σε πολύ τοξικά απόβλητα προτείνεται η διάθεση σε ηπειρωτική θέση ενώ είναι απαραίτητη η κατάλληλη επεξεργασία των αποβλήτων πριν την διάθεση έτσι ώστε να προκαλέσουν την μικρότερη δυνατή μόλυνση στο περιβάλλον και στους οργανισμούς.

Στην περίπτωση διαρροής πετρελαίου λόγω σφάλματος του εξοπλισμού ή κακής εκτίμησης θα προκληθεί τεράστια περιβαλλοντική καταστροφή. Μεγάλες ποσότητες υδρογονανθράκων θα εξατμιστούν στην ατμόσφαιρα, θα εξαπλωθούν στην επιφάνεια της θάλασσας και θα διαλυθούν σε αυτή. Οργανισμοί και ολόκληρα οικοσυστήματα θα επηρεαστούν ή θα εξαφανιστούν στην ευρύτερη περιοχή. Οι διαδικασίες για τον περιορισμό των επιπτώσεων θα πρέπει να είναι άμεσες και περιλαμβάνουν τη μηχανική ανάκτηση, τη χρήση dispersants και την επιτόπια καύση του πετρελαίου.

Τελικά, η πραγματοποίηση μιας γεώτρησης ενέχει πολλαπλούς κινδύνους για το περιβάλλον και την ομαλή λειτουργία του και όλες οι αποφάσεις που λαμβάνονται πρέπει να έχουν γνώμονα την προστασία του περιβάλλοντος.



A. R. Ismail, A. H. Aliasc, W. R. W. Sulaimana, M. Z. Jaafara, Ismaila I. (2017). Drilling Fluid Waste Management in Drilling for Oil and Gas Wells. The Italian Association of Chemical Engineering. pp 3.

Amani M., Al-Jubouri M., Shadravan A. (2012). Comparative Study of Using Oil-Based Mud Versus Water-Based Mud in HPHT Fields. Advances in Petroleum Exploration and Development, 4(2), 18-27. pp 1-11.

Amenyah Kove, E. P., Buah, W. K., Dankwa, O. K. and Mends, E. A. (2021), "Attenuation of Heavy Metals from Waste Oil-Based Drilling Mud using Locally Produced Activated Carbon", Ghana Mining Journal, Vol. 21, No. 2, pp. 55-61.

Antiaa M., A. N. Ezejiofor, C. N. Obasi, O. E. Orisakwe. (2022). Environmental and public health effects of spent drilling fluid: An updated systematic review. Journal of Hazardous Materials Advances 7 (2022) 100120. pp 4-6.

Assessing the Effects of the Gulf of Mexico Oil Spill on Human Health: A Summary of the June 2010 Workshop. (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK209920/>).

Bagum M., J. M. Ahammad, Husain T., M. E. (2021). Hossain. An experimental study to develop an environmental friendly mud additive of drilling fluid using Aloe Vera. Journal of Petroleum Science and Engineering 211 (2022) 110135.

Baker R. (2004). Oil and Natural Gas: Offshore operations, pp. 5-6. Petroleum Extension Service, University of Texas at Austin, Austin, TX.

Baker R. (2004). Oil and Natural Gas: Offshore operations, pp. 6. Petroleum Extension Service, University of Texas at Austin, Austin, TX.

Blowout Prevention Equipment Systems for Drilling Wells (2012), Upstream Segment, Fourth Edition.

Borowski G., Kujawska J., Wasąg H. (2019). Application of zeolites in removal of hazardous metal ions from drilling mud wastewater. Physicochem. Probl. Miner. Process., 55(6), 2019, 1467-1474. pp 1-8.

Broad A., M. J. Rees, A. R. Davis. (2020). Anchor and chain scour as disturbance agents in benthic environments: trends in the literature and charting a course to more sustainable boating and shipping. Marine Pollution Bulletin 161 (2020) 111683. pp 1-13.

C. J. Burke, J. A. Veil. (1995). Potential Environmental Benefits from Regulatory Consideration of Synthetic Drilling Muds. United States Department of Energy. pp 8-10.

Cordes EE, Jones DOB, Schlacher TA, Amon DJ, Bernardino AF, Brooke S, Carney R, DeLeo DM, Dunlop KM, Escobar-Briones EG, Gates AR, Génio L, Gobin J, Henry L-A, Herrera S, Hoyt S, Joye M, Kark S, Mestre NC, Metaxas A, Pfeifer S, Sink K, Sweetman AK and Witte U (2016) Environmental Impacts of the Deep-Water Oil and Gas Industry: A Review to Guide Management Strategies. Front. Environ. Sci. 4:58. doi: 10.3389/fenvs.2016.00058. pp 5-9.

Cordes EE, Jones DOB, Schlacher TA, Amon DJ, Bernardino AF, Brooke S, Carney R, DeLeo DM, Dunlop KM, Escobar-Briones EG, Gates AR, Génio L, Gobin J, Henry L-A, Herrera S, Hoyt S, Joye M, Kark S, Mestre NC, Metaxas A, Pfeifer S, Sink K, Sweetman AK and Witte U (2016) Environmental Impacts of the Deep-Water Oil and Gas Industry: A Review to Guide Management Strategies. Front. Environ. Sci. 4:58. doi: 10.3389/fenvs.2016.00058. pp 13-14.

Cordes EE, Jones DOB, Schlacher TA, Amon DJ, Bernardino AF, Brooke S, Carney R, DeLeo DM, Dunlop KM, Escobar-Briones EG, Gates AR, Génio L, Gobin J, Henry L-A, Herrera S, Hoyt S, Joye M, Kark S, Mestre NC, Metaxas A, Pfeifer S, Sink K, Sweetman AK and Witte U (2016) Environmental Impacts of the Deep-Water Oil and Gas Industry: A Review to Guide Management Strategies. Front. Environ. Sci. 4:58. doi: 10.3389/fenvs.2016.00058. pp 14.

Craveiro N., R. V. A. Alves, J. M. Silva, Vasconcelos E., F. A. Alves Jr, J. S. R. Filho. (2020). Immediate effects of the 2019 oil spill on the macrobenthic fauna associated with macroalgae on the tropical coast of Brazil. Marine Pollution Bulletin 165 (2021) 112107. pp 1-2.

Crownhart C. (2022). A US oil-drilling hotspot is kicking out far more methane than we thought. MIT Technology Review.
(<https://www.technologyreview.com/2022/03/28/1048425/perman-basin-methane-emissions/>).

D. S. Etkin, T. J. Nedwed. (2021). Effectiveness of mechanical recovery for large offshore oil spills. Marine Pollution Bulletin 163 (2021) 111848. pp 1-3.

Deepwater Drilling. PetroWiki. (https://petrowiki.spe.org/Deepwater_drilling)

Department of Petroleum and Gas Engineering, Delta State University, Abraka, P. M. B. 22, Oleh Campus, Nigeria. (2018). Plantain Peels Powder, Burnt Palm Head

Powder and Commercial Sodium Hydroxide as Additives for Water Based Drilling Mud. J. Appl. Sci. Environ. Manage. Vol. 22 (7) 1009–1012 July 2018.

Elilyas A., Özkan A., Özkan V.(2019). HEAVY METALS CONCENTRATIONS IN DRILLING FLUIDS AND DRILL CUTTINGS IN OIL EXPLORATION FIELD IN ADIYAMAN, TURKEY. 29 KASIM-1 ARALIK 2019 ŞANLIURFA. pp 1-14.

F. D. Maio, Baraldi P., Eslamian A., Zio E., Magno C., Jacinto C. (2022). A dynamic event tree for a blowout accident in an oil deep-water well equipped with a managed pressure drilling condition monitoring and operation system. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 79 (2022) 104834. pp 3.

Fingas M., Jokuty P. and Fieldhouse B. (1996). OIL SPILL BEHAVIOUR AND MODELING. Presented at Eco-Informa '96, Lake Buena Vista, Florida, 4-7 November 1996. pp 1-6.

Gaurina-Međimurec N., Simon K., Matanović D., Pašić B. OFFSHORE DRILLING AND ENVIRONMENTAL PROTECTION. pp 3-6.

Georgakopoulos A. (2020). HYDROCARBON EXPLORATION AND EXPLOITATION – Lecture Notes, pp 231-232, Aristotle University of Thessaloniki, School of Geology.

Gregory King (2020). Major Systems on a Drilling Rig.

Guilhon M., Singh P., Christiansen S., Turra A. (2022). Revisiting procedural requirements for the assessment of environmental impacts arising from the different stages of deep seabed mining: Current practices at the International Seabed Authority and recommendations for improvement. Environmental Impact Assessment Review 96 (2022) 106846. pp 1-2.

Herianto. (2017). Analysis of Offshore Drilling's Vertical Load Using Semi-Submersible Rig. Published by International Society of Ocean, Mechanical and Aerospace Scientists and Engineers. ISSN: 2442-6415. pp 1-2.

Holvik J. (1998). Basics of Dynamic Positioning. DYNAMIC POSITIONING CONFERENCE. pp 1-6.

Huanhuan W., Jin Y., Svein S., Bernt J. L., Dongyufu Z., Zhiqiang H., Fei X., Wenxing W. (2021). Mechanical analysis of drilling riser based on pipe-in-pipe mode. Applied Ocean Research 116 (2021) 102853. pp 1-2.

J. M. Neff. (2005). COMPOSITION, ENVIRONMENTAL FATES, AND BIOLOGICAL EFFECTS OF WATER BASED DRILLING MUDS AND CUTTINGS DISCHARGED TO THE MARINE ENVIRONMENT: A Synthesis and Annotated Bibliography. Prepared for

Petroleum Environmental Research Forum (PERF) and American Petroleum Institute. Pp 12-14.

J. V. Mullin, M. A. Champ. (2003). Introduction/Overview to In Situ Burning of Oil Spills. Spill Science & Technology Bulletin, Vol. 8, No. 4, pp. 323–330, 2003. pp 323-324.

Jerry M. Neff. (2005). COMPOSITION, ENVIRONMENTAL FATES, AND BIOLOGICAL EFFECTS OF WATER BASED DRILLING MUDS AND CUTTINGS DISCHARGED TO THE MARINE ENVIRONMENT: A Synthesis and Annotated Bibliography. Petroleum Environmental Research Forum (PERF) and American Petroleum Institute. pp 5-11

Journal of Petroleum Science and Engineering 209 (2022) 109905

Katende A., N. V. Boyou, Ismail I., D. Z. Chung, Sagala F., Hussein N., M. S. Ismail. (2019). Improving the performance of oil based mud and water based mud in a high temperature hole using nanosilica nanoparticles. Colloids and Surfaces A 577 (2019) 645–673. pp 1-25.

Khosravanian R., B. S. Aadnoy. (2016). Optimization of casing string placement in the presence of geological uncertainty in oil wells: Offshore oilfield case studies. Journal of Petroleum Science and Engineering 142 (2016) 141–151. pp 2.

Kuşku, H., Yiğit, M., Ergün, S., Yiğit, Ü., Taylor, N. (2018). Acoustic Noise Pollution from Marine Industrial Activities: Exposure and Impacts. Aquatic Research, 1(4), 148-161. DOI: 10.3153/AR18017. pp 1-2.

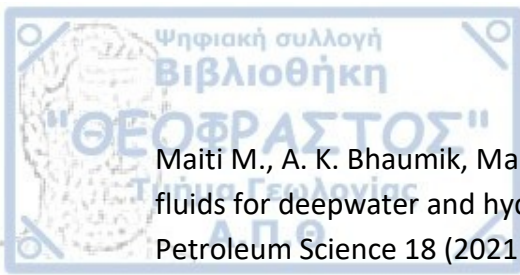
L. Mohamed, A. A. Al-Thukair. (2008). Environmental Assessments in the Oil and Gas Industry. Water Air Soil Pollut: Focus (2009) 9:99–105. pp 1-8.

Li P., Cai Q., Lin W., Chen B., Zhang B. (2015). Offshore oil spill response practices and emerging challenges. Marine Pollution Bulletin 110 (2016) 6–27. pp 7-8.

M. J. Kaiser, Snyder B. (2012). The five offshore drilling rig markets. M.J. Kaiser, B. Snyder / Marine Policy 39 (2013) 201–214. pp 2.

M. J. Holmes, C. M. Nyberg, K. L. H. Brandt, K. E. Eylands, N. J. Fiala, G. E. Dunham. (2018). MERCURY REMOVAL FROM BARITE FOR THE OIL INDUSTRY. Prepared for AAD Document Control. pp 1-2.

Mahmood S., Tobi E., Evenye E. (2020). Subsea blowout preventer (BOP): Design, reliability, testing, deployment, and operation and maintenance challenges. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 66 (2020) 104170. pp 1-3.



Maiti M., A. K. Bhaumik, Mandal A. (2021). Performance of water-based drilling fluids for deepwater and hydrate reservoirs: Designing and modelling studies. Petroleum Science 18 (2021) 1709e1728. pp 1-18.

Michel J., Fingas M. (2016). Oil Spills: Causes, Consequences, Prevention, and Countermeasures. pp 14-23.

Michel J., Fingas M. (2016). Oil Spills: Causes, Consequences, Prevention, and Countermeasures. pp 36-37.

Nediljka G. M., Katarina S., Davorin M., Borivoje P. OFFSHORE DRILLING AND ENVIRONMENTAL PROTECTION. University of Zagreb. Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering. pp 5-8.

Needaa A., Peyman P., Hamoud A., Jamil A. (2015). Controlling bentonite-based drilling mud properties using sepiolite nanoparticles. AL-MALKI Needaa et al. / Petroleum Exploration and Development, 2016, 43(4): 717–723. pp 1-7.

Niharika Vyas (2019). Top Drive Drilling: Advantages and Market Analysis.

Njuguna J., Siddique S., L. B. Kwroffie, Piromrat S., Addae-Afoakwa K., Ekeh-Adegbotolu U., Oluyemi G., Yates K., A. K. Mishra, Moller L. (2022). The fate of waste drilling fluids from oil & gas industry activities in the exploration and production operations. Waste Management 139 (2022) 362–380. pp 1-19.

ONJAKE, M. C. AND CHIKWE, T. N. (2017). RHEOLOGICAL PROPERTIES OF SOME OIL BASED MUDS USED IN RESERVOIRS IN THE NIGER DELTA, NIGERIA. GLOBAL JOURNAL OF PURE AND APPLIED SCIENCES VOL. 25, 2019: 39-44. pp 2.

Patel D., Thakar V., Pandian S., Shah M., Sircar A. (2018). A review on casing while drilling technology for oil and gas production with well control model and economical analysis. Petroleum 5 (2019) 1–12. pp 1-3.

Petroleum Extension – The University of Texas at Austin. Rotary, Kelly, Swivel, Tongs and Top Drive. First Edition pp 3.

R. Leaper, N. Hansen, M. Otto, L. Moroni, B. Dye. (2006). Meeting Deepwater Challenges with High Performance Water Based Mud. Prepared for presentation at the AADE 2006 Fluids Conference held at the Wyndam Greenspoint Hotel in Houston, Texas, April 11-12, 2006. pp 2.

Rohal M., Ainsworth C., Lupher B., P. A. Montagna, C. B. Paris, Perlin N., P. M. Supren, Yoskowitz D. (2019). The effect of the Deepwater Horizon oil spill on two

ecosystem services in the Northern Gulf of Mexico. Environmental Modelling and Software 133 (2020) 104793. pp 1-2.

S. A. Stout, J. R. Payne. (2016). Footprint, weathering, and persistence of synthetic-base drilling mud olefins in deep-sea sediments following the Deepwater Horizon disaster. S.A. Stout, J.R. Payne / Marine Pollution Bulletin 118 (2017) 328–340. pp 1-2.

Saadoun, I. M. , 2015, 'Impact of Oil Spills on Marine Life', in M. L. Larramendy, S. Soloneski (eds.), Emerging Pollutants in the Environment - Current and Further Implications, IntechOpen, London. 10.5772/60455.

Saleem S., Hu G., Li J., Hewage K., Sadiq R. (2022). Evaluation of offshore oil spill response waste management strategies: A lifecycle assessment-based framework. Journal of Hazardous Materials 432 (2022) 128659. pp 1-3.

Science & Technology Management Department of China National Petroleum Corporation (2011). Top Drive Drilling System pp 3.

Seddiki S. (2012). The Environmental impacts of offshore oil drilling : the case of BP oil spill. pp 6.

Sharif MDA, Nagalakshmi NVR, Reddy SS, Vasanth G, Uma Sankar K (2017) Drilling Waste Management and Control the Effects. J Adv Chem Eng 7: 166. doi: 10.4172/2090-4568.1000166. pp 1.

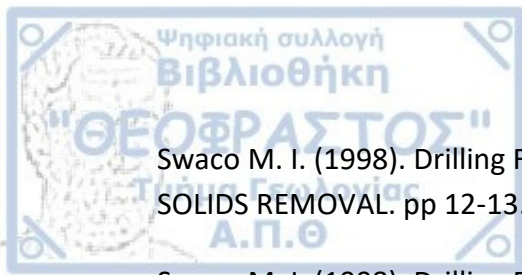
Shi L., Luo K., Wang J., Feng D., Zhang H., Cao X. (2020). Failure analysis of an offshore drilling casing under harsh working conditions. Engineering Failure Analysis 120 (2021) 105018. pp 1.

Siddique S., Kwoffie L., Addae-Afoakwa K., Yates K., Njuguna J. (2017). Oil Based Drilling Fluid Waste: An Overview on Highly Reported But Less Explored Sink For Environmentally Persistent Pollutants. 3rd International Conference on Structural Nano Composites (NANOSTRUC2016). pp 5.

Siddique S., Kwoffie L., Addae-Afoakwa K., Yates K., Njuguna J. (2017). Oil Based Drilling Fluid Waste: An Overview on Highly Reported But Less Explored Sink For Environmentally Persistent Pollutants. 3rd International Conference on Structural Nano Composites (NANOSTRUC2016). pp 3.

Swaco M. I. (1998). Drilling Fluid Engineering Manual. BLOWOUT PREVENTERS. pp 13.

Swaco M. I. (1998). Drilling Fluid Engineering Manual. Drill Bit Rotation. pp 9-10.



Swaco M. I. (1998). Drilling Fluid Engineering Manual. MUD CIRCULATION AND SOLIDS REMOVAL. pp 12-13.

Swaco M. I. (1998). Drilling Fluid Engineering Manual. pp 10.

Swaco M. I. (1998). Drilling Fluid Engineering Manual. Top Drive. pp 10.

Tipton S. (2013). Oil and Gas Cementing. EPA Technical Workshop on Well cation/Operation and Subsurface Mod Research Triangle Park, NC.

Tobi E., Mahmood S. (2020). Reliability analysis of subsea blowout preventers with condition-based

Wang Li., Yang Tang, Yufa He. (2019). Simulation and experimental analysis of critical stress regions of deep-water annular blowout preventer. Engineering Failure Analysis 106 (2019) 104161. pp 1.

Y. K. Adofo, Nyankson E., Agyei-Tuffour B. (2022). Dispersants as an oil spill clean-up technique in the marine environment: A review. Heliyon 8 (2022) e10153. pp 9-10.

Y. M. A. Welaya, Elhewy A., Hegaz M. Investigation of jack-up leg extension for deep water operations. Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng. (2015) 7:288~300. pp 1-2.

Yasin S., Elmugdad, A.A., A. E. Ahmed. (2016). Treatment of drilling mud waste water of block six oilfield plant Sudan using zeolites. International Journal of Multidisciplinary Research and Development. pp 1-5.

Yousef K., AlQallaf Y., H. A Fouzy. (2017). 4th World Congress and Expo on Recycling

Maintenance using stochastic Petri nets. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 63 (2020) 104026. pp. 1-2.

Ιστοσελίδες

Booms. Oil Spill Prevention + Response.(<https://www.oilspillprevention.org/oil-spill-cleanup/oil-spill-cleanup-toolkit/booms>).

Denchak M. (2019). Greenhouse Effect 101. NRDC.
(<https://www.nrdc.org/stories/greenhouse-effect-101>)

Diamond Bit. Energy Glossary. Schlumberger.
(https://glossary.slb.com/en/terms/d/diamond_bit)



Dispersant. Schlumberger. Energy Glossary.
(<https://glossary.slb.com/en/terms/d/dispersant>)

Dispersants. ITOFF. (<https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/response-techniques/dispersants/>).

Drilling Course (2015). Drilling Rig Systems
(<https://www.drillingcourse.com/2015/12/drilling-rig-systems.html>).

Drilling Fluid Types. PetroWiki.
(https://petrowiki.spe.org/Drilling_fluid_types#Synthetic-based_drilling_fluids).

Drilling Rig Rotary System (2017). Oil Field Team
(<https://oilfieldteam.com/en/a/learning/Drilling-Rig-Rotary-System>).

Drillships. Monitor System. (<https://www.monitor-systems-engineering.com/drillships.html>).

Drillships. Subsea Oil and Gas Directory. (<https://www.subsea.org/drilling-rigs/drillships/>).

Emissions from oil and gas production operations. PetroWiki.
(https://petrowiki.spe.org/Emissions_from_oil_and_gas_production_operations).

Eser S. Chemical Constitution of Crude Oil. College of Earth and Mineral Sciences.
(<https://www.e-education.psu.edu/fsc432/node/5>).

Fate of Oil Spills. ITOFF. (<https://www.itopf.org/es/knowledge-resources/documents-guides/fate-of-oil-spills/>).

In-Situ Burning. ITOFF. (<https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/response-techniques/in-situ-burning/>).

J. A. Dutton. Drillships. Introduction to Petroleum and Natural Gas Engineering. E-Education Institute. (<https://www.e-education.psu.edu/png301/node/910>).

Jerome J. A Review of Different Methods for Responding to an Oil Spill. Shark Research. (<https://sharkresearch.rsmas.miami.edu/a-review-of-different-methods-for-responding-to-an-oil-spill/>)

Kelly Hose, Schlumberger – Energy Glossar
(https://glossary.slb.com/en/terms/k/kelly_hose).

Libramar – Maritime Downloads .(2018). Intoduction to Offshore Rig Power from
https://www.libramar.net/news/introduction_to_offshore_rig_power/2018-10-07-3847.

Mooring Patterns. Rig Zone.
(https://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=338&c_id=



Offshore Rig Basics. Diamond Offshore

(<https://www.diamondoffshore.com/offshore-drilling-basics/offshore-rig-basics>)

Oil Mud Products Description. (2022). (<https://www.rigworker.com/fluids-2/oil-mud-products-description.html>)

Overview of Greenhouse Gases. (2022). United States Environmental Protection Agency. (<https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>).

Pallardy R. Deepwater Horizon oil spill. Britannica.

(<https://www.britannica.com/event/Deepwater-Horizon-oil-spill>).

PDC drill bits. PetroWiki. (https://petrowiki.spe.org/PDC_drill_bits).

Polycrystalline diamond compact (PDC) bit. Energy Glossary. Schlumberger.

(https://glossary.slb.com/en/terms/p/polycrystalline_diamond_compact_bit).

Production Semi-submersible. MODEC.

(<https://www.modec.com/business/floater/semisub/>)

Rattanachaikanon T. Drilling Fluids/Mud and Components.

(<https://petgeo.weebly.com/drilling-fluidsmud-and-components.html>)

Rigzone. (https://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=306&c_id=).

Roller cone bit. Energy Glossary. Schlumberger.

(https://glossary.slb.com/en/terms/r/roller_cone_bit)

Romero S. (2018). Understanding the behavior of Influxes in OBM and WBM.

(<https://www.linkedin.com/pulse/understanding-behavior-influxes-obm-wbm-sixto-romero>)

Rotary drilling rig and circulation systems. PETROBLOGGER.COM

(<http://www.ingenieriadepetroleo.com/rotary-drilling-rig-circulation-system/>).

Rotary Drilling Rig Power system. Rig Skills. (<https://rigskills.com/drilling-rig-power-system/>).

Rotary Table. Schlumberger – Oil Field

(https://glossary.oilfield.slb.com/en/terms/r/rotary_table).

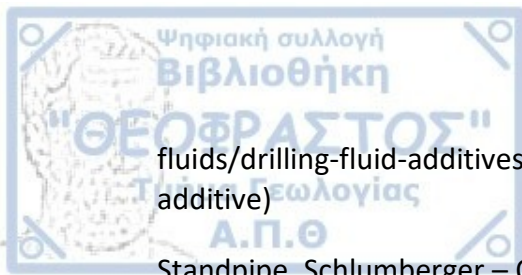
Semi-submersible Rigs. Monitor Systems. (https://www.monitor-systems-engineering.com/semi_submersible_rigs.html)

Settling Pit. Explore Energy Glossary.

(https://glossary.slb.com/en/terms/s/settling_pit0)

SP – 101 Water-based-mud fluid loss control additive. Schlumberger.

(<https://www.slb.com/drilling/drilling-fluids-and-well-cementing/drilling->



fluids/drilling-fluid-additives/filtration-reducers/sp-101-wbm-fluid-loss-control-additive)

Standpipe. Schlumberger – Oil Field (
<https://glossary.slb.com/en/terms/s/standpipe>).

The Environmental Impact of the Deepwater Horizon Oil Spill.
(<https://www.natlenvtrainers.com/blog/article/the-environmental-impact-of-the-deepwater-horizon-oil-spill>)

Thinners Mud Conditioning Agents. (2021).
(<https://www.beyonddiscovery.org/drilling-fluids/thinners-mudconditioning-agents.html>)

Types of Base Oils Used. (2022). (<https://www.rigworker.com/fluids-2/types-of-base-oils-used.html>)

Waste Disposal Regulations for Drilling Muds and Cuttings. (2016).
(<https://www.prnewswire.com/in/news-releases/waste-disposal-regulations-for-drilling-muds-and-cuttings-572566491.html>)

Water-based fluids. Drilling fluid types.
(https://petrowiki.spe.org/Drilling_fluid_types)

Weathering. ITOPF. (<https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/fate-of-oil-spills/weathering/>).

What is the Top Drive System? (2016). DrillingFormulas.com
(<https://www.drillingformulas.com/what-is-top-drive-system/>)