



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Χ. ΚΑΤΣΗΣ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕΓΑΛΟΥ ΒΑΘΟΥΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2021





ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Χ. ΚΑΤΣΗΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5263

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ
ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕΓΑΛΟΥ ΒΑΘΟΥΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,
Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας.

Επιβλέπων

Γεωργακόπουλος Ανδρέας, Καθηγητής.



© Ευάγγελος Χ. Κατσίης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας – Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ
ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕΓΑΛΟΥ ΒΑΘΟΥΣ

– Διπλωματική Εργασία

© Evangelos C. Katsis, School of Geology, Department of Mineralogy – Petrology - Mining, 2021

All rights reserved.

ENVIRONMENTAL PLANNING AND WASTE MANAGEMENT OF DEEP
OFFSHORE DRILLING – *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν 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: Πηγή: <https://www.cat.com/>



ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΤΗΝ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΓΙΑ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ....	8
1.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ.....	9
1.3 ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	10
1.3.1 ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ.....	10
1.3.2 ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	12
1.4 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	14
2.1 ΥΠΕΡΑΚΤΙΕΣ ΠΗΓΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΧΟΥ	14
2.1.1 ΠΗΓΕΣ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ – AIR GUNS	15
2.1.2 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΗΧΗΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	16
2.2 AIR GUN ARRAYS	16
2.2.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΜΕ AIR-GUN ARRAY	18
2.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΠΑΝΙΔΑ	20
2.3.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΨΑΡΙΑ ΚΑΙ ΣΤΑ ΑΣΠΟΝΔΥΛΑ	20
2.3.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΘΗΛΑΣΤΙΚΑ.....	24
2.4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΚΑΙ ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	28
2.4.1 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ (ΜΠΕ)	28
2.4.2 ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ & ΣΥΜΦΩΝΙΕΣ	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΠΕΡΑΚΤΙΕΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	33
3.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΤΙΣ ΥΠΕΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ.....	33
3.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΡΙΣΚΑ.....	35
3.2.1 ΑΡΧΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ	35
3.2.2 ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ	37
3.3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ, CUTTINGS ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	40
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	45
Βιβλιογραφία	46

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία αναφέρονται οι βασικές διαδικασίες που αφορούν τον κλάδο της εξερεύνησης για κοιτάσματα υδρογονανθράκων, κυρίως σε offshore επιχειρήσεις. Παρουσιάζονται κατά κύριο λόγο οι διαδικασίες της έρευνας με τη χρήση σεισμικών κυμάτων (offshore seismic survey) και της έρευνας με εξερευνητικές γεωτρήσεις (wildcats). Σκοπός είναι η παρουσίαση των περιβαλλοντικών κινδύνων που δημιουργούνται από τις παραπάνω διαδικασίες αλλά και οι τρόποι αντιμετώπισης αυτών. Οι σεισμικές έρευνες επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τη θαλάσσια πανίδα,, από τα μικρότερα ασπόνδυλα έως και τα μεγαλύτερα θηλαστικά. Οι σημαντικότερες επιπτώσεις αφορούν το σύστημα ακοής των θαλάσσιων οργανισμών. Από την άλλη, οι υπεράκτιες γεωτρήσεις ενέχουν περισσότερους κινδύνους για το θαλάσσιο περιβάλλον. Η σημαντικότερη απειλή εντοπίζεται στη διαχείριση και απόρριψη του χρησιμοποιημένου διατρητικού πολφού. Ο διατρητικός πολφός χωρίζεται σε 3 κατηγορίες: water-based, oil-based και synthetic-based. Σε κάθε κατηγορία πολφού, αντιστοιχούν και συγκεκριμένοι κανονισμοί και νομοθεσίες όσον αφορά τη διαχείριση και την απόρριψή τους, ανάλογα και την περιοχή που πραγματοποιείται η γεώτρηση. Οι νομοθεσίες είναι πιο αυστηρές όσον αφορά τους oil-based πολφούς, για αυτό συνήθως προτιμάται η χρήση water-based ή/και synthetic-based πολφών. Ωστόσο, κάθε κατηγορία διατρητικού ρευστού έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της και χρειάζεται την κατάλληλη επεξεργασία πρωτού απορριφθεί με ασφάλεια στο περιβάλλον.



ABSTRACT

This paper mentions the basic procedures regarding the offshore exploration for oil and gas deposits. Emphasis is given on offshore seismic surveys and exploration with the use of wildcats. The aim of this paper is to present the environmental risks and issues that arise and ways to encounter them. Seismic surveys mainly affect the marine fauna, from the smaller invertebrates to the bigger marine mammals. The most important effects concern the hearing system of marine organisms. On the other hand, offshore drilling poses more risks on the marine environment. The most important threat regards the disposal and overall management of used drilling mud. There are 3 drilling mud categories; water-based, oil-based and synthetic-based. Certain rules and regulations apply to each of the aforementioned drilling mud categories, depending on the region that the exploration procedures take place. Stricter regulations mainly apply to oil-based drilling mud and this is why the use of water-based or/and synthetic based muds is usually preferred. However, every category of drilling mud has its advantages and disadvantages and requires suitable processing before its disposal can be performed with safety.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΤΗΝ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΓΙΑ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ

Η βιομηχανία του πετρελαίου, στο σύνολό της, αποτελεί τη μεγαλύτερη βιομηχανία από οικονομικής άποψης στον κόσμο. (Kassinis, 2015) Το γεγονός ότι το πετρέλαιο κατέχει σημαντικό ποσοστό στην ενεργειακή κατανάλωση παγκοσμίως, αποδεικνύει πόσο απαραίτητο αγαθό αποτελεί για το σύγχρονο άνθρωπο. Συνεπώς, δημιουργείται συνεχώς η ανάγκη για εύρεση νέων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων, εργασία που ανατίθεται εξ ολοκλήρου στον τομέα της εξερεύνησης (exploration).

Η πετρελαιοβιομηχανία χωρίζεται σε τρεις κλάδους : (Γεωργακόπουλος)

- **Upstream** : Στον κλάδο του upstream υπάγονται όλες οι διαδικασίες της έρευνας και της παραγωγής των υδρογονανθράκων. Εναλλακτικό όνομα του κλάδου upstream είναι το «exploration and production (E&P) sector».
- **Midstream** : Στον κλάδο του midstream περιλαμβάνονται οι διαδικασίες μεταφοράς, αποθήκευσης και χονδρικής εμπορίας του αργού, μη επεξεργασμένου πετρελαίου.
- **Downstream** : Τέλος, ο κλάδος του downstream αποτελείται από τις διαδικασίες διύλισης και επεξεργασίας του αργού πετρελαίου ή του φυσικού αερίου, καθώς επίσης και με την πώληση-marketing αυτών. Συνήθως, οι κλάδοι midstream και downstream συγχωνεύονται σε έναν ενιαίο κλάδο, διατηρώντας το όνομα του τελευταίου.

Η εξερεύνηση για κοιτάσματα πετρελαίου ή/και φυσικού αερίου ορίζεται ως η αναζήτηση από επιστήμονες (κυρίως γεωλόγους πετρελαίου και γεωφυσικούς) για υπόγεια ή υποθαλάσσια κοιτάσματα υδρογονανθράκων. (Kassinis, 2015) Η διαδικασία της εξερεύνησης αποτελείται από πολλά στάδια, με αποτέλεσμα να είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα και δαπανηρή. Ενδεικτικά, μερικά από τα στάδια και με τη σειρά που πραγματοποιούνται είναι τα εξής: (Γεωργακόπουλος)

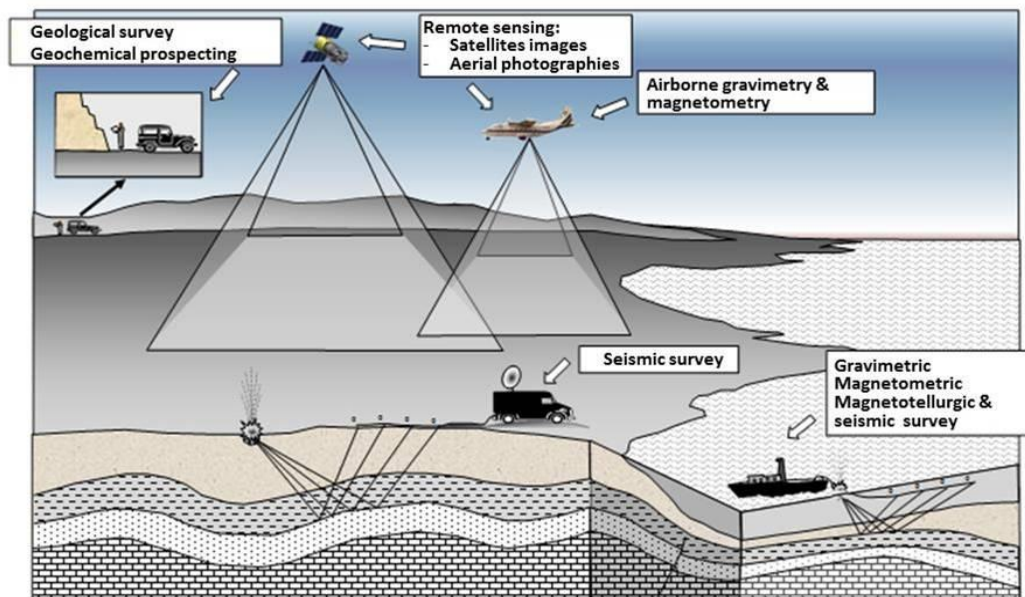
1. **Desk Study:** Δηλαδή μελέτη-δουλειά γραφείου που περιλαμβάνει τη μελέτη γεωλογικών χαρτών ή/και αεροφωτογραφιών προκειμένου να εντοπιστούν δομές και σχηματισμοί που ενδεχομένως να περιέχουν υδρογονάνθρακες (πχ. μεγάλα ρήγματα ή αντίκλινα).
2. **Γεωφυσικές Έρευνες:** Στις γεωφυσικές έρευνες περιλαμβάνονται έρευνες με μαγνητικές, βαρυτομετρικές ή σεισμικές μεθόδους.
3. **Ερευνητικές Γεωτρήσεις:** Οι ερευνητικές γεωτρήσεις (exploratory drilling ή wildcats) αποτελούν το μοναδικό αξιόπιστο μέσο που αποδεικνύει την ύπαρξη κοιτάσματος υδρογονανθράκων. Οι γεωφυσικές έρευνες καθώς και η μελέτη γραφείου μειώνουν κατά πολύ το οικονομικό ρίσκο που θα λάβει η εκάστοτε πετρελαϊκή εταιρεία, όταν και αν τελικά αποφασιστεί να διανοιχτεί γεώτρηση.

4. **Αξιολόγηση και Εκτίμηση:** Στο τελικό στάδιο της εξερεύνησης, υπολογίζεται με βάση τα συμπεράσματα όλων των ερευνών, εάν είναι οικονομικά βιώσιμη η εξόρυξη των υδρογονανθράκων του κοιτάσματος.

1.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

Οι μέθοδοι εξερεύνησης υδρογονανθράκων μπορούν να διαχωριστούν σε 3 μεγάλες κατηγορίες (Alfarsi, 2018)

- Επιφανειακές έρευνες : Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται η μελέτη γεωλογικών χαρτών της περιοχής ή η γεωλογική χαρτογράφηση αυτής σε περίπτωση που είναι απαραίτητη. Αυτή η μελέτη κρίνεται απαραίτητη για τον εντοπισμό σχηματισμών που μπορεί να αποτελούν πιθανά κοιτάσματα. Σε αυτήν την κατηγορία υπάγεται και η μελέτη αεροφωτογραφιών ή φωτογραφιών από δορυφόρους.
- Βαρυτομετρικές και αερομαγνητικές μετρήσεις: Οι μικρές διακυμάνσεις του βαρυτικού και του μαγνητικού πεδίου μπορούν να υπολογιστούν και εντοπιστούν με τις παραπάνω μετρήσεις. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατό μεταξύ άλλων να εντοπιστούν δόμοι άλατος, να ερμηνευτεί καλύτερα η τεκτονική της περιοχής, να καθοριστεί το πάχος των ιζημάτων και να προσδιοριστεί το βάθος του υποβάθρου. (Γεωργακόπουλος)
- Σεισμικές μέθοδοι διασκόπησης: Το μεγάλο πλεονέκτημα των σεισμικών μεθόδων διασκόπησης είναι ότι έχουν την ικανότητα, σε αντίθεση με τις παραπάνω μετρήσεις, να αποδώσουν εικόνες με ικανοποιητική λεπτομέρεια για μικρές περιοχές ενδιαφέροντος. Μαζί με την προηγούμενη κατηγορία μετρήσεων, αποτελούν τις «Γεωφυσικές Μεθόδους Διασκόπησης». Με λίγα λόγια, οι σεισμικές μέθοδοι διασκόπησης χαρτογραφούν λεπτομερώς τις ελαστικές ιδιότητες των σχηματισμών που βρίσκονται στο υπέδαφος, σε βάθη που φτάνουν ακόμα και μερικά χιλιόμετρα στο εσωτερικό της Γης. (Γεωργακόπουλος)



Εικόνα 1. Γεωφυσικές έρευνες για υδρογονάνθρακες. (Πηγή : www.oil-gasportal.com)

Οι παραπάνω μέθοδοι δεν επικυρώνουν με απόλυτη σιγουριά την ύπαρξη κοιτάσματος υδρογονανθράκων, παρά μόνο ενισχύουν τις ενδείξεις για την ύπαρξη αυτού. Η επιβεβαίωση και απόδειξη για την ύπαρξη υδρογονανθράκων στο υπέδαφος έρχεται αποκλειστικά και μόνο από γεωτρήσεις. (Γεωργακόπουλος) Οι γεωτρήσεις, είτε ερευνητικές είτε παραγωγικές, αποτελούν μεγάλο κεφάλαιο της βιομηχανίας πετρελαίου, αλλά η παρούσα εργασία θα ασχοληθεί μόνο με τον ερευνητικό τους χαρακτήρα και των περιβαλλοντικών ρίσκων-επιπτώσεων που αυτός εμπεριέχει.

1.3 ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι πιο διαδεδομένες γεωφυσικές μέθοδοι είναι η βαρυτομετρική, η μαγνητική και η σεισμική. Οι βαρυτομετρικές έρευνες πραγματοποιούνται με εναέρια μέσα, είτε αφορούν χερσαίες είτε υπεράκτιες περιοχές. Αντίθετα, οι μαγνητικές έρευνες πραγματοποιούνται από αέρος όταν αφορούν χερσαίες περιοχές, ενώ, όταν αφορούν θαλάσσιες, πραγματοποιούνται μέσω ειδικά εξοπλισμένων πλοίων. Σε κάθε περίπτωση, οι βαρυτομετρικές και οι μαγνητικές έρευνες προηγούνται των σεισμικών, καθώς έχουν μικρότερο κόστος και μπορούν να καλύψουν μεγάλες περιοχές, σε αντίθεση με τις σεισμικές έρευνες που πραγματοποιούνται πιο στοχευόμενα. (Kassinis, 2015)

1.3.1 ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

Το σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου των σεισμικών ανάκλασης είναι ότι μπορεί να αποδώσει εικόνες υψηλής λεπτομέρειας με μικρό σχετικά κόστος. Για την πραγματοποίηση της έρευνας, απαιτείται μια ελεγχόμενη πηγή σεισμικών κυμάτων η οποία διαφέρει, ανάλογα αν πρόκειται για χερσαία ή υπεράκτια περιοχή. Σε χερσαίες

περιοχές χρησιμοποιούνται ειδικά φορητά-δονητές (**Vibroiseis**) για την παραγωγή τεχνητών σεισμών ενώ, στην περίπτωση της θαλάσσιας εξερεύνησης, χρησιμοποιούνται αεροβόλα όπλα (**Air guns**). (Kassinis, 2015) Σεισμικά ανάκλασης μπορούν να εφαρμοστούν και στον πυθμένα της θάλασσας σε μικρά βάθη, με τη μέθοδο OBC – Ocean Bottom Cable. Η πίεση του αέρα που διοχετεύεται μέσω των θαλάμων ενός air gun κυμαίνεται μεταξύ 14-21 MPa. Για την πραγματοποίηση της υπεράκτιας σεισμικής έρευνας, χρησιμοποιούνται συστοιχίες από air guns (air gun array που μπορεί να αποτελείται από έως και 48 airguns) οι οποίες ρυμουλκούνται πίσω από ένα πλοίο. Η συστοιχία βυθίζεται κάτω από την επιφάνεια του νερού και όταν ενεργοποιηθεί, τότε απελευθερώνεται ο υπό πίεση αέρας που βρίσκεται στο εσωτερικό του κάθε air gun. Κατά αυτόν τον τρόπο, δημιουργείται ένας παλμός ακουστικής ενέργειας - ένα σεισμικό κύμα το οποίο διαδίδεται μέσα στο νερό, στα πετρώματα του πυθμένα και ανακλάται στις επαφές των πετρωμάτων και στις επιφάνειες ασυνέχειας που βρίσκονται σε αυτά. Τα air guns κατασκευάζονται από υψηλής ποιότητας ανοξείδωτο χάλυβα προκειμένου να είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στη διάβρωση. (Γεωργακόπουλος)

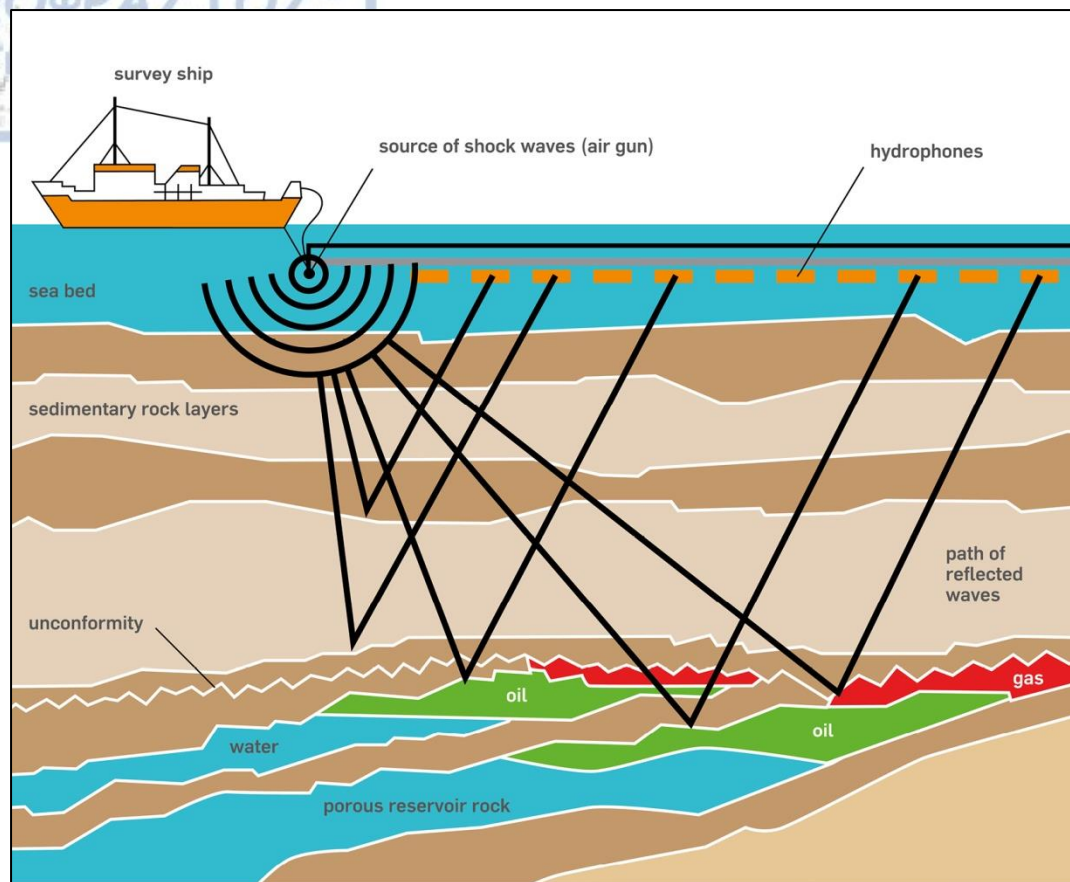
Η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης μπορεί να διαφέρει στον τρόπο διεκπεραίωσής της ανάλογα με την περιοχή πραγματοποίησής της, αλλά οι βασικές αρχές ερμηνείας και λειτουργίας της είναι όμοιες και στις δύο περιπτώσεις. Αρχικά, τα τεχνητώς προκαλούμενα σεισμικά κύματα διαδίδονται στο έδαφος και προς όλες τις κατευθύνσεις, μέχρι να συναντήσουν ένα γεωλογικό στρώμα ή μια επιφάνεια ασυνέχειας. Σε εκείνο το σημείο, κάποια από αυτά ανακλώνται προς την επιφάνεια, ενώ άλλα, διαθλώνται προς βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς. Τα **γεώφωνα** ή **υδρόφωνα** (σε χερσαία ή θαλάσσια περιοχή αντίστοιχα) που βρίσκονται σε ορισμένες αποστάσεις από την τεχνητή σεισμική πηγή, καταγράφουν τους χρόνους που χρειάζονται τα κύματα προκειμένου να επιστρέψουν στην επιφάνεια. Οι χρόνοι επιστροφής των κυμάτων εξαρτώνται από την ταχύτητα που αυτά ταξιδεύουν μέσα στον εκάστοτε γεωλογικό σχηματισμό. Επειδή κάθε γεωλογικός σχηματισμός χαρακτηρίζεται από διαφορετικές ιδιότητες, έτσι και η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων θα διαφέρει από σχηματισμό σε σχηματισμό. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργούνται εικόνες δύο διαστάσεων που με κατάλληλη ερμηνεία, μπορούν να αποδώσουν σεισμικούς χάρτες των πετρωμάτων της περιοχής ενδιαφέροντος. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας τρισδιάστατων εικόνων ή ακόμη και 4D, αν σε αυτές συμπεριληφθεί και η έννοια του χρόνου ως τέταρτη διάσταση. Η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης μπορεί να αποδώσει εικόνα σε βάθος που φτάνει μέχρι και τα 15km και το αποτέλεσμα να είναι ακρίβειας 2-20m. (Kassinis, 2015)



Εικόνα 2. Air gun array. Τα air guns κρέμονται σε ζεύγη, ενώ η παροχή αέρα γίνεται μέσω του κίτρινου λάστιχου. (Πηγή: www.sercel.com)

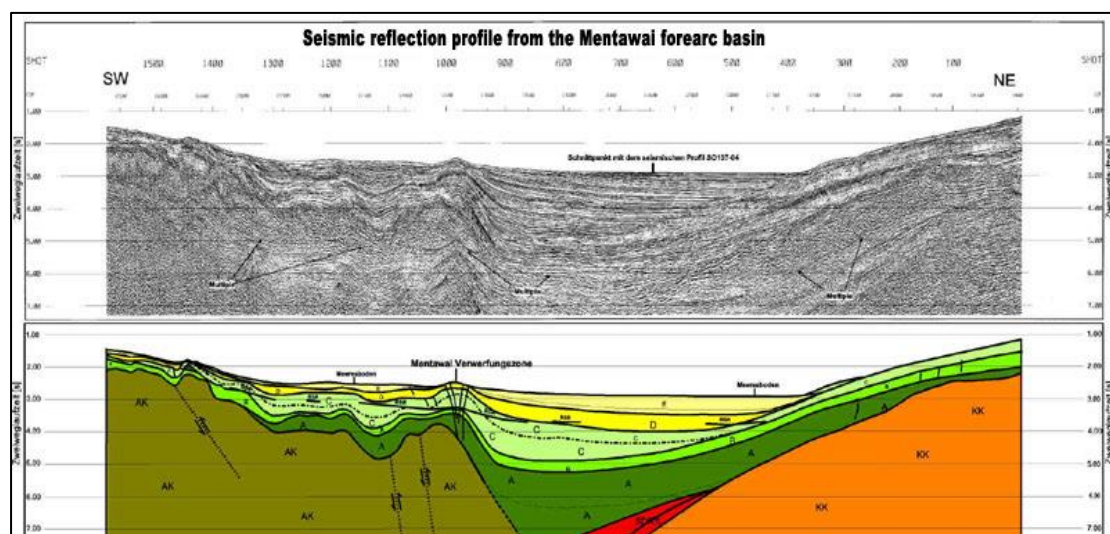
1.3.2 ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Συγκριτικά με τη χερσαία εξερεύνηση, η υπεράκτια κρίνεται πιο εύκολη, υπό την έννοια της απουσίας των φυσικών εμποδίων που εντοπίζονται λόγω μορφολογίας στην ξηρά. Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, στη θαλάσσια σεισμική έρευνα, ως πηγές χρησιμοποιούνται τα **air guns** και ως δέκτες τα υδρόφωνα. Τα υδρόφωνα, όπως και τα air guns, έλκονται πίσω από το πλοίο που πραγματοποιεί την έρευνα. Η συστοιχία των υδροφώνων ονομάζεται καταγραφικό καλώδιο ή streamer και μπορεί να αποτελείται από 96,120,160,240,320 ή περισσότερα ενεργά τμήματα που περιέχουν συστοιχίες υδροφώνων. Το κάθε streamer μπορεί να έχει μήκος 3,4,6,10 ή περισσότερα χιλιόμετρα, ενώ για τη δημιουργία τρισδιάστατων διαγραφιών μπορεί να χρησιμοποιηθούν συστοιχίες αποτελούμενες από 4,6,8 μέχρι και 20 καταγραφικών καλωδίων. Συνήθως, ένα τυπικό σκάφος για τη δημιουργία τρισδιάστατης εικόνας, ρυμουλκεί μέχρι και 10 streamers, μήκους 6km και σε απόσταση 50-150 μέτρων μεταξύ τους. (Kassinis, 2015)



Εικόνα 3. Υπεράκτια σεισμική έρευνα. (Πηγή: www.krisenergy.com)

Τα δεδομένα που συλλέγονται είναι της μορφής σεισμικών καταγραφών, τα οποία με κατάλληλη ερμηνεία, δίνουν το σεισμικό προφίλ της περιοχής. Με περαιτέρω ερμηνεία μπορεί να αποδοθεί η κατά προσέγγιση γεωλογική δομή της υπό έρευνα περιοχής.



Εικόνα 4. Σεισμικό προφίλ χερσαίας λεκάνης, με την ερμηνεία του από κάτω. (Πηγή: www.bgr.bund.de)

1.4 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

Στην περίπτωση και μόνο που υπάρχουν καλές ενδείξεις για την ύπαρξη ταμιευτήρα από τις παραπάνω γεωφυσικές έρευνες και το desk study, τότε η εξερεύνηση περνάει στο γεωτρητικό στάδιο, στο οποίο το οικονομικό ρίσκο είναι αρκετά υψηλό. Ενδεικτικά, μια υπεράκτια εξερευνητική γεώτρηση μπορεί να κοστίσει από 20εκ. ευρώ έως και 60εκ. ευρώ. Γενικότερα, το κεφάλαιο των γεωτρήσεων είναι ιδιαίτερα ευρύ. Επομένως, στην παρούσα εργασία θα γίνει μια σύντομη αναφορά στα κυριότερα σημεία ενδιαφέροντος και που μπορεί να επηρεάσουν σε μεγαλύτερο βαθμό το θαλάσσιο περιβάλλον.

Υπάρχουν πολλών ειδών γεωτρήσεις οι οποίες μπορούν να πραγματοποιηθούν είτε σε χερσαίο, είτε σε θαλάσσιο περιβάλλον. Σε υπεράκτιες γεωτρήσεις, χρησιμοποιούνται πλατφόρμες, που μπορεί να είναι διαφορετικών ειδών, ανάλογα με το βάθος του νερού και τις μετεωρολογικές συνθήκες. (Kassinis, 2015) Το βάθος που φτάνει μια γεώτρηση ποικίλλει από 2km και μπορεί να αγγίξει μέχρι και τα 10km σε περίπτωση που αυτό κρίνεται απαραίτητο. Προτού ξεκινήσει η διαδικασία της γεώτρησης, καθορίζονται η ακριβής τοποθεσία που αυτή θα πραγματοποιηθεί, το μέγεθός της, το βάθος που θα φτάσει ενώ λαμβάνονται υπ' όψη στοιχεία γεωλογίας και γεωφυσικής της περιοχής. Τέλος, πριν το τελικό στάδιο της διάνοιξης της γεώτρησης, σχεδιάζεται το πρόγραμμα διάτρησης και σωλήνωσης που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την επιτυχία και ομαλή λειτουργία της γεώτρησης. Σε αυτό το πρόγραμμα επιλέγονται ο αριθμός και το μέγεθος των σωληνώσεων ανά καθορισμένο διάστημα, το μέγεθος του κοπτικού άκρου καθώς επίσης και το είδος του πολφού διάτρησης (mud). (Γεωργακόπουλος) Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες διατρητικών πολφών: αυτοί που έχουν ως κύριο συστατικό το νερό και αυτοί που έχουν κύριο συστατικό το πετρέλαιο (**water based** και **oil based** mud αντίστοιχα). Πέραν από αυτά τα δύο είδη πολφού, χρησιμοποιείται και ένα άλλο είδος πολφού που είναι synthetic-based. Ο synthetic-based πολφός χρησιμοποιείται περισσότερο σε offshore γεωτρήσεις και τείνει να αντικαταστήσει τον oil-based, κυρίως διότι είναι περιβαλλοντικά πιο φιλικός. (Trenchlesspedia, 2020)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

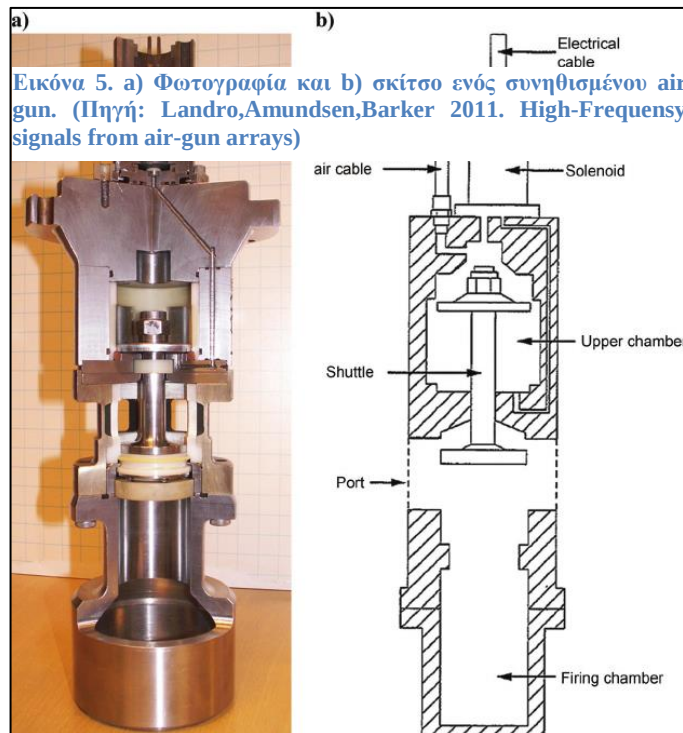
2.1 ΥΠΕΡΑΚΤΙΕΣ ΠΗΓΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΧΟΥ

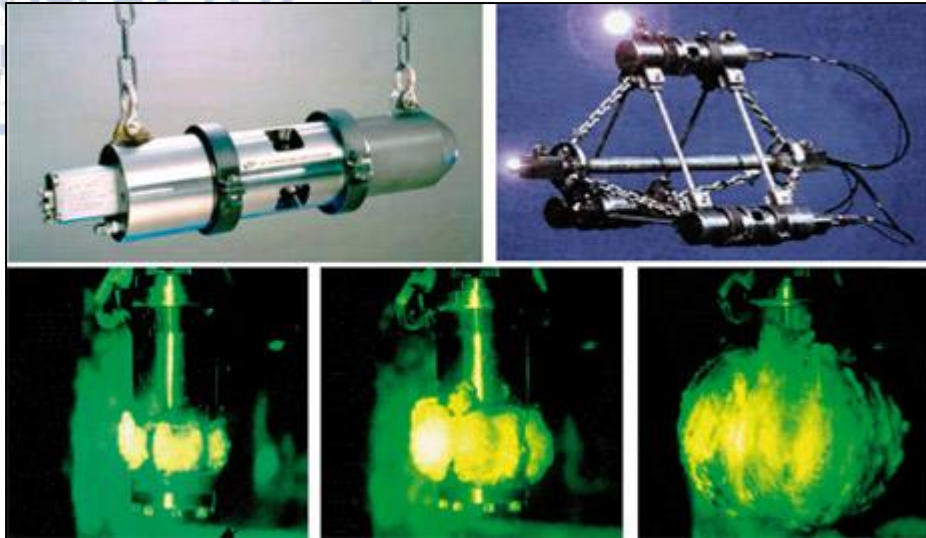
Στις πρώτες υπεράκτιες σεισμικές έρευνες, ως πηγή παραγωγής ήχου χρησιμοποιούνταν εκρηκτικές ύλες. Οι προφανείς περιβαλλοντικοί και όχι μόνο κίνδυνοι από τη χρήση εκρηκτικών σε offshore επιχειρήσεις, ώθησαν τους γεωεπιστήμονες στην αναζήτηση για εναλλακτικές πηγές παραγωγής ήχου. Πλέον, τα air gun αποτελούν την πιο πολυχρησιμοποιημένη πηγή ήχου σε offshore έρευνες, ενώ επίσης χρησιμοποιούνται και ως εναλλακτικές water guns, sonars και ηλεκτρικές πηγές παραγωγής ηχητικών κυμάτων (sparkers και boomers). (G.E. Parkes, 1986) (Houghton, 2011)

2.1.1 ΠΗΓΕΣ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ – AIR GUNS

Ένα συνηθισμένο air gun αποτελείται από δύο θαλάμους αέρα που διαχωρίζονται με μία βαλβίδα. Όταν η πίεση εξισωθεί και στους δύο θαλάμους, ο αέρας φράζεται από τη βαλβίδα. Στην περίπτωση που ο αέρας ανακατευθύνεται προς τα έξω από έναν από τους δύο θαλάμους, τότε η βαλβίδα μετατοπίζεται, απελευθερώνοντας τον υπό πίεση αέρα στο νερό. Αυτό δημιουργεί μια φούσκα αέρα στο νερό, δηλαδή το τεχνητό ηχητικό κύμα που απαιτείται για τη σεισμική διασκόπηση. (Gisiner, 2016) Ο όρος “gun” χρησιμοποιείται λανθασμένα, δίνοντας την εντύπωση πως το air gun έχει τη δυνατότητα δημιουργίας στοχευμένου ηχητικού κύματος, κάτι που δεν ισχύει. (Massa, 1989)

Η ένταση του παραγόμενου ηχητικού κύματος εξαρτάται από το μέγεθος, το σχήμα και τον όγκο των θαλάμων του air gun καθώς επίσης και από την πίεση του αέρα μέσα σε αυτούς. Όταν απαιτείται η παραγωγή ενός ισχυρότερου ηχητικού κύματος, τότε προτιμάται η χρήση πολλών μικρών πηγών παρά μιας μεγάλης. Το μέγεθος και το σχήμα των θαλάμων του air gun επίσης επηρεάζει τα χαρακτηριστικά του παραγόμενου ήχου, όπως είναι η συχνότητα του ηχητικού κύματος. Μαζί με τις συχνότητες ενδιαφέροντος, που συνήθως είναι κάτω των 100Hz, παράγονται και κύματα υψηλότερων συχνοτήτων. Αυτά τα κύματα από τη μία δημιουργούν ανεπιθύμητο θόρυβο κατά τη σεισμική διασκόπηση, από την άλλη επηρεάζουν και θαλάσσια θηλαστικά όπως τα δελφίνια, τα οποία επικοινωνούν με υψηλής συχνότητας ήχους. (Landro M., 2011) Ενδεικτικά, οι συχνότητες που χρησιμοποιούν τα δελφίνια προκειμένου να επικοινωνήσουν μεταξύ τους, έχουν εύρος από 20kHz έως και 120kHz. (DolphinCommunicationProject, 2006)





Εικόνα 6. Πάνω φαίνεται μονό air-gun και μίνι συστοιχία αποτελούμενη από 3 air-guns. Κάτω φαίνεται η φουσαλίδα που δημιουργείται από την πυροδότηση ενός air-gun 1, 1.5 και 7ms μετά την "έκρηξη". (Πηγή : www.geoexpro.com)

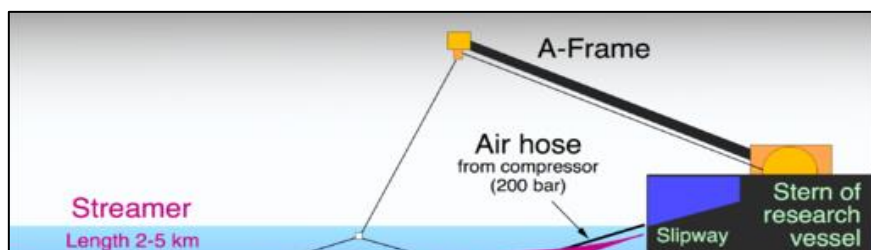
2.1.2 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΗΧΗΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Προκειμένου να μειωθούν οι επιπτώσεις της σεισμικής έρευνας στη θαλάσσια πανίδα, εναλλακτικές πηγές παραγωγής ηχητικών-σεισμικών κυμάτων ερευνώνται διαρκώς προκειμένου να αντικαταστήσουν τα air gun. (Rassenfoss, 2016) Ο όρος "Vibroseis" χρησιμοποιείται πλέον για να περιγράψει όλες αυτές τις εναλλακτικές ηχητικές πηγές. Η χρήση αυτών των πηγών επιτρέπει κατά την επεξεργασία των δεδομένων τον επαναπροσδιορισμό των χρόνων έναρξης των κυμάτων, σαν να είχαν δημιουργηθεί όλα ταυτόχρονα. Η απόδειξη των περιβαλλοντικών και ενεργειακών πλεονεκτημάτων καθώς επίσης και του μειωμένου κόστους αποτελεί ακόμα στόχο που δεν έχει επιτευχθεί και τέτοιου είδους πηγές αναζητώνται διαρκώς από τους γεωεπιστήμονες. (Rassenfoss, 2016)

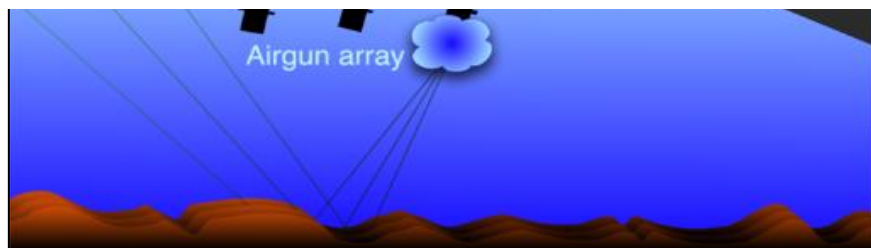
2.2 AIR GUN ARRAYS

Σπάνια -έως ποτέ- χρησιμοποιείται μόνο ένα air gun για την υπεράκτια σεισμική διασκόπηση. Συνήθως χρησιμοποιούνται συστοιχίες (arrays), αποτελούμενες από 18-48 air guns. Οι λόγοι για τους οποίους προτιμάται η χρήση των air guns κατά ομάδες και όχι μεμονωμένα είναι αρκετοί και είναι οι παρακάτω (Gisiner, 2016) :

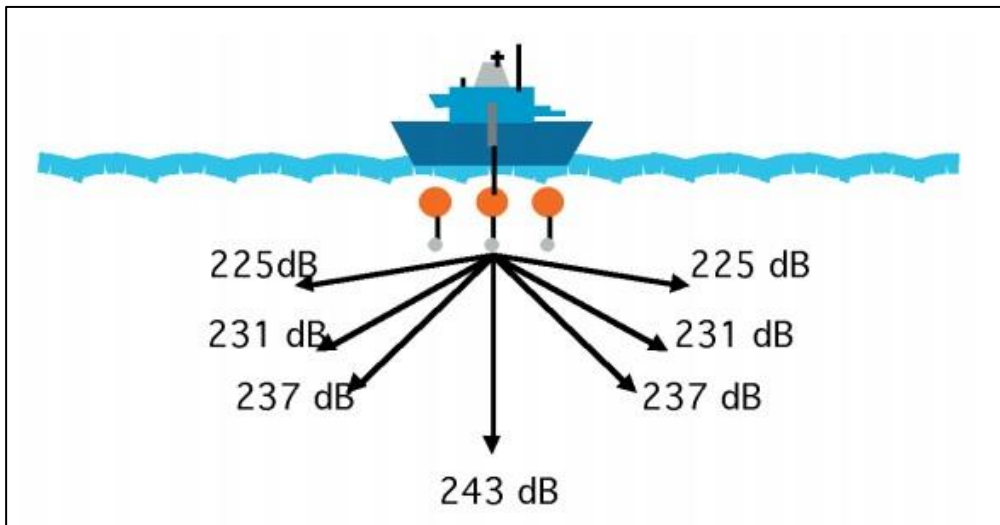
- Η χρήση συστοιχίας αποτελεί τον πιο απλό, εύκολο και οικονομικό τρόπο προκειμένου να αυξηθεί η ισχύς του παραγόμενου ηχητικού κύματος. Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως η πραγματική αρχική τιμή της ισχύος του παραγόμενου ηχητικού κύματος δεν είναι γνωστή αλλά είναι –κατά προσέγγιση– υπολογίσιμη, μέσω πραγματικών μετρήσεων που πραγματοποιούνται σε σημεία κοντά στη συστοιχία. Συνήθως, οι τιμές των μετρήσεων δίνουν ένα αποτέλεσμα κατά 10-20 dB χαμηλότερο από την τιμή του παραγόμενου κύματος. Οι μετρούμενες τιμές εξαρτώνται από την απόσταση τους από την πηγή (δηλαδή τη συστοιχία) αλλά και από τη γωνία σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο που πραγματοποιούνται. (Εικόνα 8.) (J. Caldwell, 2000)
- Η διάταξη των air-gun στο ίδιο επίπεδο επιτρέπει την «ανακατεύθυνση» του ηχητικού κύματος κυρίως προς τον πυθμένα της θάλασσας.



Εικόνα 7. Σκίτσο απεικόνισης air-gun array. Το Streamer είναι το καλώδιο καταγραφής με τα γεώφωνα. (Πηγή: commons.wikimedia.org)



- Η χρήση air-gun array επιτρέπει την ακύρωση του ήχου που δημιουργείται από την ταλάντωση των φυσαλίδων που δημιουργούνται όταν πυροδοτείται το air-gun. Κάθε επιπλέον ήχος που καταγράφεται από τα γεώφωνα συγχέεται με



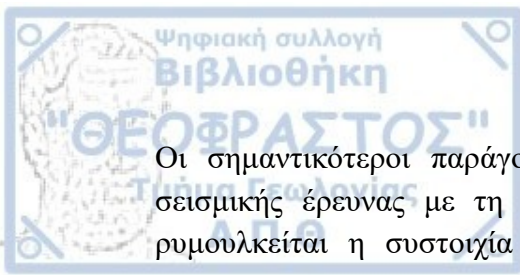
το επιθυμητό καταγεγραμμένο ηχητικό κύμα ενώ, ταυτόχρονα προσθέτει υψηλής συχνότητας ενέργεια που είναι ανεπιθύμητη κατά την καταγραφή αλλά ενδεχομένως να είναι βλαβερή και για το θαλάσσιο περιβάλλον. Με την παραγωγή ηχητικών παλμών σε διαφορετικές εντάσεις, οι παραγόμενες φυσαλίδες ταλαντώνονται σε διαφορετικές συχνότητες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η καταγραφή τους να είναι εύκολα διακριτή σε σχέση με τα υπόλοιπα καταγραφόμενα κύματα.

Η διάδοση ενός σεισμικού κύματος γίνεται προς όλες τις κατευθύνσεις, επομένως και το ηχητικό κύμα που παράγεται από κάθε air-gun διαδίδεται και προς την επιφάνεια της θάλασσας. Όταν φτάσει στην επιφάνεια της θάλασσας, ανακλάται και επιστρέφει στα υδρόφωνα όπου και καταγράφεται. Η καταγραφή αυτή εμφανίζεται με τη μορφή υποπίεσης, αμέσως μετά την καταγραφή του αρχικού παραγόμενου κύματος, που προφανώς καταγράφεται και αυτό από τα υδρόφωνα. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται συνήθως ως "ghost notch". Η συχνότητα του ghost notch κύματος εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το βάθος στο οποίο βρίσκεται η συστοιχία των air-guns. (J. Caldwell, 2000) Επομένως, το βάθος που βυθίζεται η συστοιχία, ρυθμίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε η συχνότητα του ghost notch να διαφέρει σε όσο μεγαλύτερο βαθμό γίνεται από τις συχνότητες των κυμάτων που περιέχουν την επιθυμητή πληροφορία για την πραγματοποίηση του profiling του πυθμένα. Ενδεικτικά, οι συστοιχίες βυθίζονται

Εικόνα 8. Παράδειγμα μετρούμενων τιμών έντασης του ήχου σε διάφορα σημεία γύρω από ένα air-gun array. (Πηγή : Caldwell & Dragoset, 2000)

συνήθως σε βάθος 6m από την θαλάσσια επιφάνεια, ώστε η συχνότητα του ghost notch να είναι στα 125Hz ή πολλαπλάσια αυτής. Τα επιθυμητά κύματα είναι συχνότητας έως 100Hz, συνεπώς επιτυγχάνεται μια ικανοποιητική διαφορά συχνοτήτων ώστε το ghost notch να είναι ευδιάκριτο. (Gisiner, 2016)

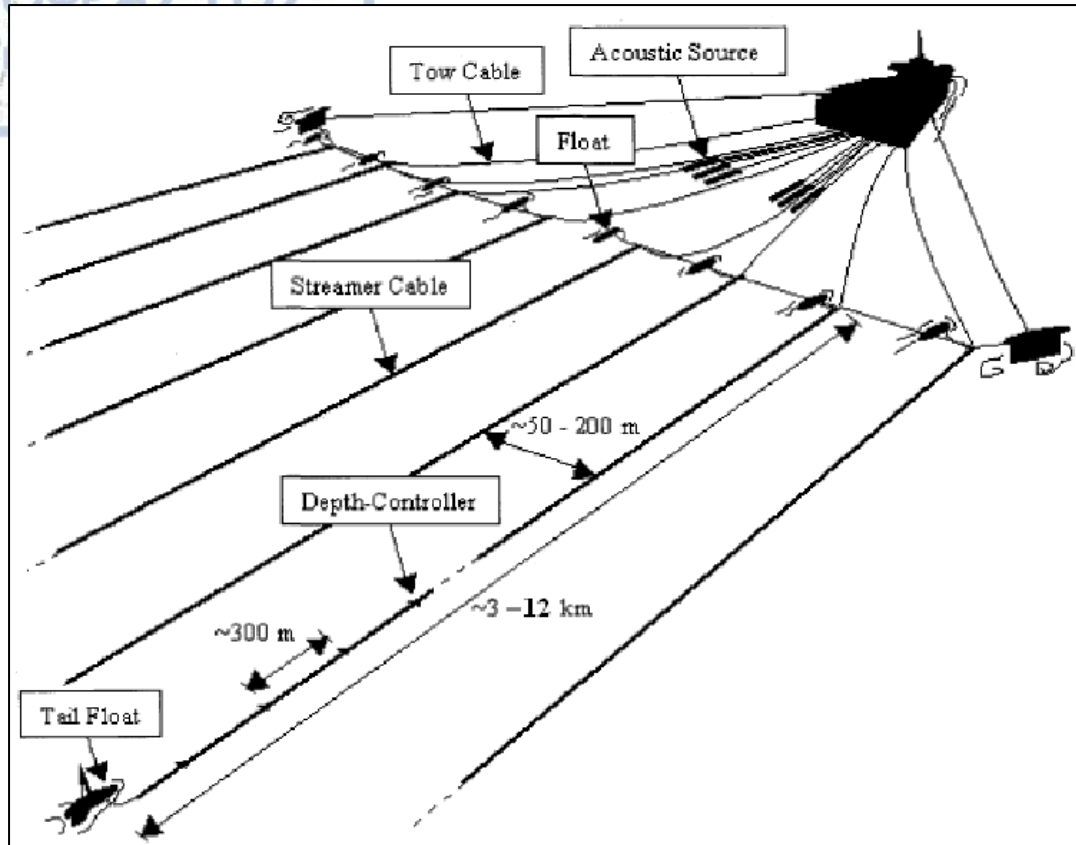
2.2.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΜΕ AIR-GUN ARRAY



Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία της υπεράκτιας σεισμικής έρευνας με τη χρήση air-gun array είναι η ταχύτητα με την οποία ρυμουλκείται η συστοιχία και η γεωμετρία με την οποία έχουν διαταχθεί τα streamers.

Συνήθως, η ταχύτητα ρυμούλκησης είναι περίπου 2,5 m/s (ή 5 κόμβοι) ώστε οι χρόνοι μεταξύ κάθε σεισμικής «εικόνας» να είναι 10-20 δευτερόλεπτα. Για να επιτευχθεί αυτό, ρυμουλκούνται δύο όμοιες μεταξύ τους συστοιχίες, η μία δίπλα στην άλλη και με μερικά μέτρα απόσταση μεταξύ τους. Έτσι, η κάθε συστοιχία ενεργοποιείται εναλλάξ, προκειμένου να υπάρχει αρκετός χρόνος για τα air-guns της άλλης συστοιχίας να επανέλθουν σε ετοιμότητα για την επόμενη μέτρηση. Στην περίπτωση που το πλοίο κινείται με ταχύτητα 2,5 m/s και η κάθε μέτρηση - «έκρηξη» γίνεται κάθε 10 δευτερόλεπτα (δηλαδή κάθε 20'' για την κάθε συστοιχία), τότε πραγματοποιείται μια μέτρηση κάθε 25 μέτρα.

Ένα σύνθητες streamer έχει μήκος 4 έως 12 χιλιόμετρα και μπορεί να φέρει 300-1000 μονάδες καταγραφής. Κάθε μονάδα καταγραφής περιέχει ένα υδρόφωνο, ένα επιταχυνσιόμετρο και ένα μετρητή βάθους. Λόγω του μεγάλου του μήκους, το streamer αρκετά συχνά παρεκκλίνει από την επιθυμητή του γεωμετρία λόγω των θαλάσσιων ρευμάτων που το παρασέρνουν. Επομένως, χρησιμοποιείται ένα δίκτυο από αναμεταδότες «ringer», το οποίο μεταφέρει την ακριβή θέση και γεωμετρία της συστοιχίας στο σύστημα πλοήγησης του ερευνητικού σκάφους. Ανάλογα με το αν επιθυμείται 2D ή 3D σεισμική εικόνα του πυθμένα, χρησιμοποιούνται αντίστοιχα 1 ή τουλάχιστον 2 streamer. Στο παρακάτω σκίτσο παρουσιάζεται μια ενδεικτική εικόνα της γεωμετρίας των air-guns και των streamer σε μια υπεράκτια σεισμική έρευνα. (Gisiner, 2016)



Εικόνα 9. Αναπαράσταση υπεράκτιας σεισμικής έρευνας. (Πηγή: Grindheim et al. "Modelling, prediction and control of towed marine seismic streamers", 2017. www.researchgate.net)

2.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΠΑΝΙΔΑ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω, για την πραγματοποίηση της υπεράκτιας σεισμικής έρευνας απαιτείται η παραγωγή ισχυρών ήχων (>230dB) χαμηλής συχνότητας (10-300 Hz) ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Τα ισχυρά αυτά ηχητικά κύματα επηρεάζουν τη θαλάσσια πανίδα στο σύνολό της, από τα ασπόνδυλα και τα μικρά ψάρια έως και τα μεγαλύτερα είδη θαλάσσιων θηλαστικών όπως τα δελφίνια, οι φάλαινες και λοιπά κητοειδή. (Carroll, Przeslawski, Duncan, Gunning, & Bruce, 2016) Μερικές από τις πιθανές επιπτώσεις στη θαλάσσια πανίδα που έχουν εντοπιστεί από έρευνες είναι η αλλαγή του περιβάλλοντος διαβίωσης, η διακοπή βιολογικά σημαντικών συμπεριφορών, η υπερκάλυψη ηχητικών σημάτων επικοινωνίας και βλάβη στην αίσθηση της ακοής. Επομένως, οι υπεράκτιες σεισμικές έρευνες μπορεί να έχουν σημαντικές και χρόνιες επιπτώσεις στον έμβιο κόσμο της θάλασσας. (Nowacek & et al., 2015)

2.3.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΨΑΡΙΑ ΚΑΙ ΣΤΑ ΑΣΠΟΝΔΥΛΑ

Πολλά από τα ζώα της θάλασσας, από τα μικρά ασπόνδυλα μέχρι και τα μεγαλύτερα κητοειδή, χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο ηχητικά κύματα προκειμένου να

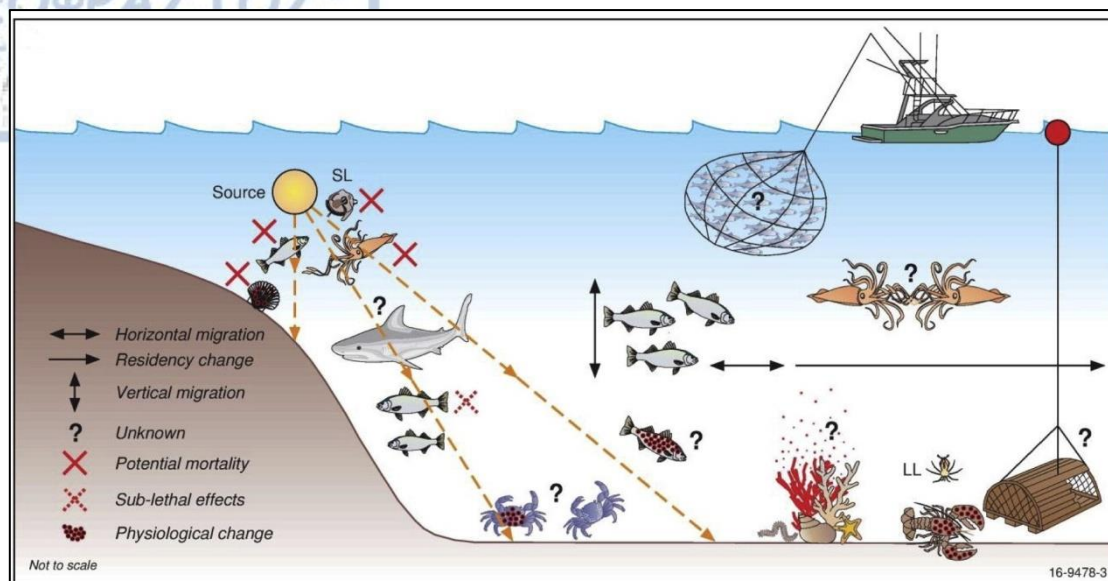
επικοινωνήσουν, να εντοπίσουν κάποιο θηρευτή και για λόγους αναπαραγωγής. (Montgomery, 2006) Οι ανθρωπογενείς ήχοι, στους οποίους συμπεριλαμβάνονται και οι ήχοι που παράγονται για την πραγματοποίηση της σεισμικής έρευνας, μπορεί να προκαλέσουν μόνιμες βλάβες στην αίσθηση της ακοής στα θαλάσσια ζώα, μειώνοντας έτσι τις πιθανότητες επιβίωσης και αναπαραγωγής τους. (A.N. Popper, 2009) Επίσης, οι παραγόμενοι ήχοι μπορεί να παρενοχλήσουν διαδικασίες αναπαραγωγής, να προκαλέσουν επιφανειακά τραύματα ή ακόμη και θάνατο σε ορισμένα είδη. Παρ'όλα αυτά, κάποια είδη μπορεί να μην επηρεαστούν καθόλου ή σε πολύ μικρό βαθμό. (A.N. Popper, 2009) Ο βαθμός που θα επηρεαστεί ένα θαλάσσιο ον από κάποιον ανθρωπογενώς παραγόμενο ήχο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η απόσταση στην οποία θα διαδοθεί το ηχητικό κύμα, η συχνότητα και η διάρκειά του, η απόσταση που βρίσκεται ο οργανισμός από την πηγή παραγωγής του κύματος καθώς επίσης και τα βιολογικά χαρακτηριστικά του οργανισμού (π.χ. ευαισθησία ακοής). (Slabbekoorn, 2016) Πάντως, οι περισσότερες ηχητικές συχνότητες που παράγονται από τα air-guns είναι μέσα στο εύρος συχνοτήτων που ακούν και χρησιμοποιούν τα περισσότερα είδη ψαριών και ασπονδύλων. (Nowacek & et al., 2015)

Όσον αφορά τα ψάρια, τα γνωστά δεδομένα είναι περιορισμένα για τις σωματικές επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσει το ωστικό κύμα που δημιουργείται από τα air-guns. Από αυτές τις λίγες έρευνες, σε καμία δεν έχει παρατηρηθεί η πρόκληση θανάτου ή θανατηφόρου τραυματισμού σε ψάρι. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η πλειονοψφία των ερευνών έχουν πραγματοποιηθεί είτε σε εργαστηριακό περιβάλλον είτε σε κλουβί, που σημαίνει ότι λίγες έχουν πραγματοποιηθεί σε πραγματικές συνθήκες ανοιχτής θάλασσας. Οι επιπτώσεις της σεισμικής έρευνας στα ασπόνδυλα έχουν μελετηθεί περισσότερο και μέχρι στιγμής δεν έχουν εντοπιστεί σημαντικές επιπτώσεις από τη χρήση ηχητικών κυμάτων χαμηλής συχνότητας. (Carroll, Przeslawski, Duncan, Gunning, & Bruce, 2016)

Παρ'όλα αυτά, η έκθεση σε ήχους υψηλής έντασης μπορεί να προκαλέσει προσωρινή απώλεια ακοής στα ψάρια, με τη μόνιμη απώλεια να μοιάζει αρκετά απίθανη, λόγω της ικανότητας των ψαριών να αναγεννούν αισθητήρια κύτταρα της ακοής. (Smith, 2016) Υπάρχουν ενδείξεις ότι ανθρωπογενώς παραγόμενοι ήχοι που ξεπερνούν κατά πολύ σε ένταση τους φυσικούς ήχους του θαλάσσιου περιβάλλοντος, δύναται να προκαλέσουν προσωρινή αύξηση του ορίου ακουστικής ικανότητας του ψαριού. (A.N. Popper, 2009) Αυτή η μεταβολή στην ακοή αναφέρεται ως TTS (Temporary Threshold Shift). Όταν ένα ψάρι παθαίνει TTS, μπορεί να παρουσιάσει μειωμένη ικανότητα στην επικοινωνία, στον εντοπισμό θηρευτών ή θηραμάτων και μειωμένη αντίληψη του κοντινού του περιβάλλοντος. (Popper & et al., 2014) Η ένταση και η διάρκεια του ήχου που είναι ικανός να προκαλέσει TTS ποικίλλει και εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες όπως είναι η συχνότητα του ηχητικού κύματος, η φυσική κατάσταση που βρίσκεται ο οργανισμός που δέχεται το κύμα και ο ρυθμός-οι φορές που εκτίθεται ο οργανισμός σε αυτό το κύμα. (A.N. Popper, 2009) Σύμφωνα με πείραμα που έγινε σε ψάρια ιχθυοτροφείου (συγκεκριμένα του είδους *pagus auratus*),

η επαναλαμβανόμενη έκθεσή τους σε υψηλής έντασης ήχους που προκαλούνται από ένα μόνο air-gun, μπορεί να προκαλέσει ιδιαίτερα σοβαρές βλάβες στο σύστημα ακοής σε αποστάσεις 5-300 m. Παρά το γεγονός ότι κανένα ψάρι δεν τραυματίστηκε θανάσιμα, ο τραυματισμός ήταν σοβαρός και ο πρώτος ενδείξεις ανάπλασης παρουσιάστηκαν τουλάχιστον 58 ημέρες μετά την έκθεση των ψαριών στο υψηλής έντασης ηχητικό κύμα. (McCauley, 2003) Παρ'όλα αυτά, έχουν πραγματοποιηθεί αντίστοιχες έρευνες σε άλλα είδη ψαριών που δεν υπήρχαν ενδείξεις για πρόκληση τραυματισμού της ικανότητας ακοής των ψαριών μετά την έκθεσή τους σε ηχητικά κύματα που έχουν προκληθεί από air-gun. (Popper A. , 2005) Είναι απαραίτητο να αναφερθεί πως η πλειοψηφία των παραπάνω ερευνών έχει πραγματοποιηθεί σε ελεγχόμενο περιβάλλον σε ψάρια ιχθυοτροφείου και όχι σε πραγματικές συνθήκες ανοιχτής θάλασσας, όπου τα αποτελέσματα είναι πολύ πιθανό να διαφέρουν. (Popper & et al., 2014)

Οι περισσότερες μελέτες σε σχέση με τις επιπτώσεις της σεισμικής έρευνας στα θαλάσσια ασπόνδυλα έχουν πραγματοποιηθεί σε μεγάλες δεξαμενές, γεγονός που πρέπει να ληφθεί υπόψη όσον αφορά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Ενδεικτικά, μελέτες που έγιναν σε 4 είδη κεφαλόποδων, έδειξαν πως μετά από δύο ώρες συνεχούς έκθεσης σε ήχους συχνότητας 50-400 Hz, τα συγκεκριμένα ασπόνδυλα παρουσίασαν τραύματα στην στατοκύστη τους (η στατοκύστη είναι ένα μικρό όργανο που βρίσκεται στα ασπόνδυλα και βοηθάει στον προσανατολισμό τους) και μειωμένη ικανότητα ακοής και επεξεργασίας ήχου. Παρόμοια αποτελέσματα είχαν και αντίστοιχες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε αστακούς. Ωστόσο, τα καβούρια δεν δείχνουν να επηρεάζονται από τους ηχητικούς παλμούς που παράγονται για την πραγματοποίηση της σεισμικής έρευνας. (Andre, 2011) (Christian, Mathieu, & Thompson, 2003)



Εικόνα 10. Σκίτσο αναπαράστασης πιθανών επιπτώσεων σε μερικούς θαλάσσιους οργανισμούς όταν εκτεθούν σε ηχητικά κύματα χαμηλής συχνότητας. SL: νεαρά χτένια, LL: νεαροί αστακοί (Πηγή: Carroll,Przeslawski et al , 2016. Marine Pollution Bulletin)

Παρά το γεγονός ότι τα νεαρά άτομα θεωρούνται πιο ευάλωτα, η έκθεσή τους σε ηχητικά κύματα σεισμικής έρευνας δεν έχει δείξει διαφοροποιήσεις στη θνησιμότητα ή στον πληθυσμό τους στα ψάρια, στα καβούρια, στους αστακούς και στα χτένια σε σχέση με αντίστοιχες μελέτες σε ενήλικους οργανισμούς. (Carroll, Przeslawski, Duncan, Gunning, & Bruce, 2016)

Εκτός από σωματικά τραύματα, τα σεισμικά κύματα δύναται να προκαλέσουν διαφοροποιήσεις στη συμπεριφορά στα ψάρια και στα ασπόνδυλα. Για παράδειγμα, μειωμένη αντίληψη περιβάλλοντος και αποφυγής θηρευτών ή αδυναμία εύρεσης τροφής. (Hawkins & Porper, 2014) Η μελέτη και παρατήρηση ωστόσο αυτών των αντιδράσεων είναι ιδιαίτερα απαιτητική και δύσκολη σε πραγματικές συνθήκες, επομένως τα συμπεράσματα βασίζονται κυρίως σε μελέτες που πραγματοποιούνται σε ελεγχόμενο περιβάλλον, συνήθως εργαστηρίου. Οι πιο συνηθισμένες αντιδράσεις που έχουν καταγραφεί σε ψάρια έχουν να κάνουν κυρίως με μεταβολές στο σχηματισμό και τη θέση ενός κοπαδιού αλλά και στην ταχύτητα κολύμβησης. (Fewtrell & McCauley, 2012) Τέτοιου είδους αντιδράσεις έχουν παρατηρηθεί σε ψάρια σε μεγάλες αποστάσεις από την πηγή παραγωγής του ηχητικού κύματος. Ενδεικτικά, σε είδη λαυρακιού και χελιού έχουν παρατηρηθεί αντιδράσεις σε απόσταση 2.5 και 5 χλμ. αντίστοιχα. (Santulli, Modica, & et al, 1999) (Hassel, Knutsen, Dalen, & et al, 2004) Η πιο συνηθισμένη αντίδραση σύμφωνα με τις λίγες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε ρεαλιστικές συνθήκες ανοιχτής θάλασσας, δείχνει τα ψάρια να έχουν την τάση να μετακινηθούν σε μεγαλύτερα βάθη , δηλαδή πιο μακριά από την πηγή – airgun. (Carroll, Przeslawski, Duncan, Gunning, & Bruce, 2016)

2.3.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΘΗΛΑΣΤΙΚΑ

Τα ισχυρά ηχητικά κύματα μπορεί να έχουν ποικίλες επιπτώσεις και στα θαλάσσια θηλαστικά και κήτη, οι οποίες μπορούν να διαχωριστούν στις παρακάτω κατηγορίες : (Gordon, Frantzis, Potter, & Simmonds, 2003)

1. Σωματικά τραύματα.
2. Προβλήματα στην αντίληψη.
3. Μεταβολές στη συμπεριφορά.
4. Έμμεσες επιπτώσεις.

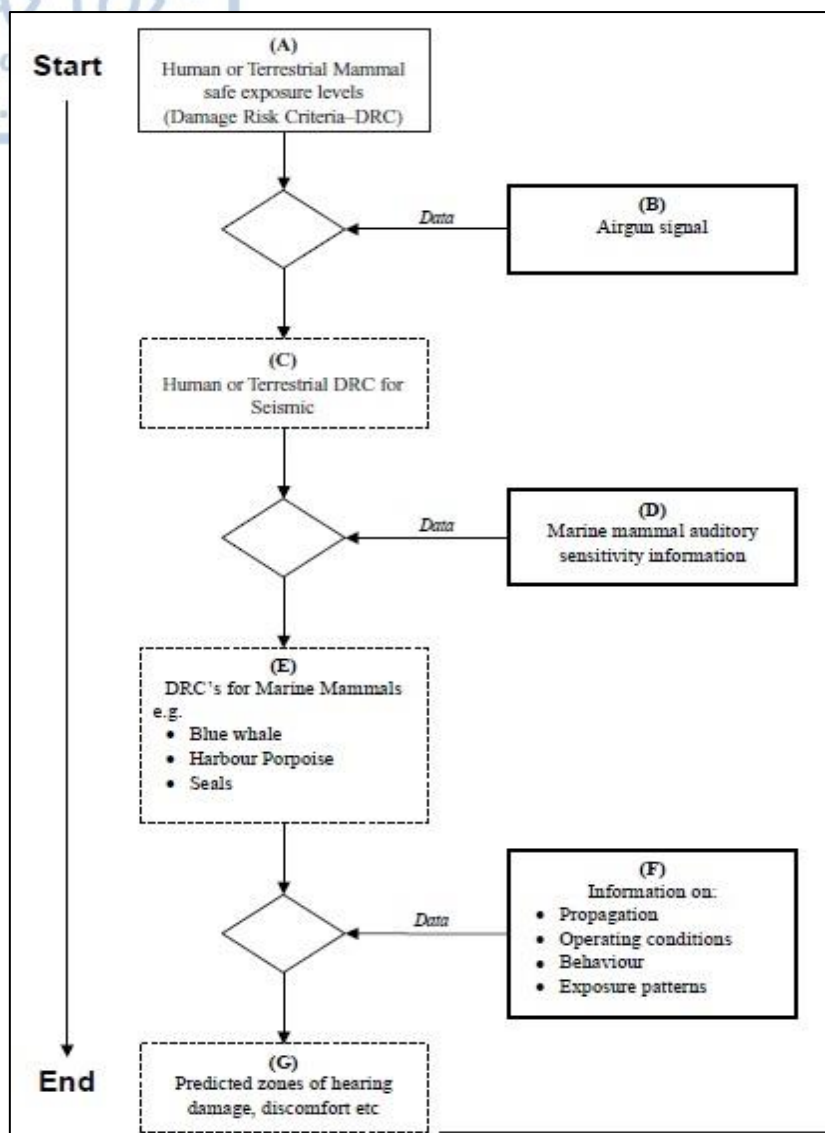
Πιθανά σωματικά τραύματα μπορεί να περιλαμβάνουν επιφανειακό τραυματισμό στο σώμα, σοβαρή ζημιά στην ακοή και TTS. Τα προβλήματα στην αντίληψη αναφέρονται κυρίως στην επικάλυψη σημαντικών ηχητικών κυμάτων από τα blasts των airguns για την επικοινωνία, τον ηχοεντοπισμό και προσανατολισμό των θηλαστικών, τον εντοπισμό θηράματος και στην αποφυγή κινδύνων. Όσον αφορά τις πιθανές μεταβολές στη συμπεριφορά, αυτές αναφέρονται κυρίως σε αποφυγή περιοχών (που πραγματοποιούνται οι έρευνες) και ενόχληση στη διαδικασία του ζευγαρώματος. Τέλος, στις έμμεσες επιπτώσεις συγκαταλέγεται η μειωμένη διαθεσιμότητα θηραμάτων, τα οποία λόγω των παραγόμενων θορύβων έχουν απομακρυνθεί από την περιοχή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μειωμένη πρόσληψη τροφής για τους μεγάλους θαλάσσιους θηρευτές. (Gordon, Frantzis, Potter, & Simmonds, 2003)

Ο πιο εύκολος τρόπος να μελετηθούν οι αντιδράσεις των θαλάσσιων θηλαστικών αλλά και οι επιπτώσεις που έχει η υπεράκτια σεισμική έρευνα σε αυτά είναι σε συνθήκες αιχμαλωσίας των ζώων. Παρ'όλα αυτά, αυτός ο τρόπος μελέτης πραγματοποιείται σε πολύ μικρό δείγμα οργανισμών με αποτέλεσμα, οι αναμενόμενες αντιδράσεις των άγριων-ελεύθερων ατόμων να βασίζονται πάνω σε αυτές τις παρατηρήσεις. Είναι αρκετά πιθανό, οι αντιδράσεις των άγριων ατόμων να διαφέρουν σε σχέση με τις αντιδράσεις αυτών που βρίσκονται σε αιχμαλωσία. Επειδή όμως η παρατήρηση σε πραγματικές συνθήκες είναι αρκετά δύσκολη, τα περισσότερα συμπεράσματα βασίζονται σε έρευνες σε συνθήκες αιχμαλωσίας. (Gordon, Frantzis, Potter, & Simmonds, 2003)

Παλαιότερα, η χρήση εκρηκτικών υλών ως σεισμικές πηγές ήταν συνήθης και στις υπεράκτιες έρευνες. Οι εκρηκτικές ύλες όμως, εκτός από σεισμικές πηγές, ήταν και πηγές κινδύνου τόσο για τη θαλάσσια πανίδα, όσο και για τους ανθρώπους που πραγματοποιούσαν τις έρευνες. Επομένως, πλέον χρησιμοποιούνται αποκλειστικά airguns που αποδεδειγμένα έχουν μικρότερες επιπτώσεις και είναι λιγότερα επικίνδυνα για όλους. Μέχρι τώρα, δεν υπάρχουν αποδείξεις ότι τα σεισμικά κύματα που έχουν παραχθεί από airguns μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά τραύματα στα θαλάσσια θηλαστικά. Η πιθανότητα πρόκλησης επιφανειακού τραυματισμού στο δέρμα των κητοειδών από το σεισμικό παλμό μοιάζει μικρή, όμως ακόμα δεν έχει ερευνηθεί εις βάθος. (Crum & Mayo, 1996)

Τα σεισμικά κύματα μπορεί να αναγκάσουν τα θαλάσσια θηλαστικά να παρεκκλίνουν της αρχικής τους πορείας ή να ακολουθήσουν ακανόνιστα-ασυνήιστα μοτίβα κολύμβησης. Σε αυτοψίες που έχουν πραγματοποιηθεί σε φάλαινες, έχουν παρατηρηθεί αιμορραγίες στα αυτιά και εσωτερικές αιμορραγίες στο εσωτερικό του συστήματος ακοής. (Evans & England, 2001) Πάντως, δεν είναι επιβεβαιωμένο κατά πόσο αυτές οι επιπτώσεις είναι πρώτου βαθμού, δηλαδή άμεσες, ή έχουν προκληθεί λόγω αφύσικης συμπεριφοράς του ζώου, η οποία όμως οφείλεται στον ξαφνικό θόρυβο από τα airguns. Για παράδειγμα, οι αιμορραγίες μπορεί να οφείλονται σε πανικό και έντονο stress, που με τη σειρά τους οδηγούν το θαλάσσιο θηλαστικό σε απότομη μείωση ή αύξηση του βάθους κολύμβησης. Με την απότομη μεταβολή του βάθους, τα αυτιά δεν προλαβαίνουν να προσαρμοστούν στις διαφορετικές συνθήκες πίεσης με αποτέλεσμα να παρατηρούνται οι παραπάνω τραυματισμοί. Δύο αξιοσημείωτα συμβάντα ενισχύουν τις παραπάνω υποθέσεις: Το 2002, 2 Ζιφιοί (beaked whales) εντοπίστηκαν νεκρές στον κόλπο της Καλιφόρνια, κοντά στην περιοχή που το σκάφος "RV Maurice Ewing" πραγματοποιούσε σεισμική έρευνα με τη χρήση μεγάλης airgun array. (Malakoff, 2002) Παρομοίως, μια φάλαινα του ίδιου είδους βρέθηκε το 2000 στα νησιά Γκαλαπάγκος, κοντά σε περιοχή που διερευνούσε το ίδιο σκάφος. (Gentry, 2002) Παρά το γεγονός ότι σε καμία περίπτωση από τις δύο δεν βρέθηκαν ισχυρές αποδείξεις πως οι θάνατοι των κητών συνδέονται με την ερευνητική δραστηριότητα του σκάφους, η δικαστική αρχή των Η.Π.Α. προχώρησε σε περιορισμούς για αντίστοιχες μελλοντικές έρευνες.

Όπως και στα ψάρια, έτσι και στα θαλάσσια θηλαστικά, ο μεγαλύτερος κίνδυνος που αντιμετωπίζουν από τους σεισμικούς παλμούς που παράγονται για την πραγματοποίηση της υπεράκτιας σεισμικής έρευνας είναι η παροδική ή μόνιμη βλάβη ακοής (Temporary Threshold Shift-TTS και Permanent Threshold Shift-PTS). Στην περίπτωση του TTS, η ακοή μπορεί να επανέλθει πλήρως μετά από μερικά λεπτά ή ώρες. Διαφορετικά, σε περίπτωση που το θαλάσσιο θηλαστικό εκτεθεί επανειλημμένα σε ηχητικά κύματα ικανά να προκαλέσουν TTS, είναι πιθανό να προκληθεί μόνιμη βλάβη στην ακουστική ικανότητά του (PTS). Επίσης, PTS μπορεί να προκληθεί αμέσως και από ιδιαίτερα ισχυρούς ηχητικούς παλμούς. Ωστόσο, πρόσφατα ευρήματα από έρευνες δείχνουν πως η πιο συνηθισμένη επίπτωση είναι το TTS. (Kastelein, Helder-Hoek, & Van de Voorde, 2017), (Finneran & Schlundt, 2013), (Reichmuth, Southall, & Bergman, 2015) Ακόμα όμως δεν έχει καθοριστεί ένα όριο πάνω από το οποίο ο ηχητικός παλμός είναι ικανός να προκαλέσει τον οποιοδήποτε τραυματισμό. Επομένως, δεν μπορεί να καθοριστεί σε ποιες συχνότητες και εντάσεις είναι ασφαλής η παραγωγή τεχνητών ηχητικών παλμών στις υπεράκτιες έρευνες. Οι προσπάθειες καθορισμού αυτών των ορίων γίνονται συνήθως με τη μέθοδο του «extrapolation» (εικόνα 11) με τα λίγα γνωστά δεδομένα για τα θαλάσσια θηλαστικά και σε συνδυασμό με ήδη γνωστά δεδομένα από θηλαστικά της ξηράς, όπως πχ είναι ο άνθρωπος.



Εικόνα 11. Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας extrapolation μέσω γνωστών δεδομένων. (Πηγή: Gordon et al. Marine Technology Society Journal 2003.)

Πρόσφατη έρευνα των Kavanagh, Nykanen et al. (2019) έδειξε πως κατά τη διάρκεια διεκπεραίωσης σεισμικής έρευνας, μειώνονται σε πολύ μεγάλο βαθμό οι εμφανίσεις φαλαινών στην υπό έρευνα περιοχή. Συγκεκριμένα, οι εμφανίσεις των συγκεκριμένων κητοειδών μειώθηκαν σε ποσοστά >50% κατά τη διάρκεια που τα airguns ήταν σε λειτουργία. (Kavanagh, Nykanen, Hunt, & Richardson, 2019)

Ο ανθρωπογενής θόρυβος στις θάλασσες μπορεί να υπερκαλύψει τους ήχους που χρησιμοποιούν τα θαλάσσια θηλαστικά για να επικοινωνήσουν (ηχητική συγκάλυψη ή masking). Έχει παρατηρηθεί πως όταν συμβαίνει αυτό, οι φάλαινες μεταβάλλουν είτε την ένταση, είτε τη διάρκεια, είτε τη συχνότητα στην οποία εκπέμπουν ηχητικά κύματα, προκειμένου να επιτύχουν την επικοινωνία. (Lesage & Barrette, 1999) Παρόμοιες αντιδράσεις έχουν παρατηρηθεί και σε δελφίνια. (Buckstaff, 2004) Αντίθετα, έχουν παρατηρηθεί και εντελώς διαφορετικές αντιδράσεις. Θαλάσσια θηλαστικά είτε μειώνουν τους ήχους που εκπέμπουν, είτε παύουν εντελώς την

επικοινωνία για εβδομάδες, ακόμα και μήνες. Κάτι τέτοιο, δύναται να επηρεάσει διαδικασίες τροφής, ζευγαρώματος και να επιφέρει προβλήματα κοινωνικής αποδοχής του ατόμου στο κοπάδι. (Soto, Johnson, Madsen, & Tyack, 2006) Σύμφωνα με έκθεση του International Whaling Commission, σε κοπάδι φαλαινών του είδους *Balaenoptera physalus*, περίπου 250 αρσενικού γένους φάλαινες έπαυσαν το «τραγούδι» τους όταν βρέθηκαν κοντά σε ερευνητικό σκάφος που πραγματοποιούσε σεισμική έρευνα. Οι φάλαινες «ξανατραγούδησαν» μέρες μετά τη λήξη της ερευνητικής δραστηριότητας. Θεωρείται πως το «τραγούδι» των φαλαινών σχετίζεται με διαδικασίες ζευγαρώματος. (IWC (International Whaling Commission), 2007)

Οι αντιδράσεις που σχετίζονται με τα βάθη κολύμβησης, το ρυθμό κατάδυσης-ανάδυσης και τις καταδύσεις με σκοπό την εύρεση τροφής, διαφέρουν από είδος σε είδος. Έχει παρατηρηθεί σε φάλαινες φυσητήρες (sperm whales) πως όταν βρίσκονται κοντά σε σκάφος σεισμικής έρευνας, είτε πραγματοποιούν συντομότερες καταδύσεις με σκοπό την εύρεση τροφής, είτε δεν επιχειρούν καθόλου καταδύσεις. (Soto, Johnson, Madsen, & Tyack, 2006) (IWC (International Whaling Commission), 2007) Οι θαλάσσιοι ελέφαντες παρουσίασαν αυξημένο ρυθμό κατάδυσης αλλά μειωμένο ρυθμό ανάδυσης, σε μια κίνηση πιθανότατα αποφυγής ανεπιθύμητου θορύβου (Costa, Crocker, & Gedamke, 2003), ενώ, οι γκριζες φάλαινες αύξησαν την ταχύτητα κολύμβησης και τις αναδύσεις αναπνοής. (IWC (International Whaling Commission), 2007) Τα Μυστακοκήτη έδειξαν αυξημένη τάση κολύμβησης κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας ενώ, τα οδοντοκήτη, προτίμησαν τη γρηγορότερη κολύμβηση. (Stone & Tasker, 2006)

Από τις πιο συνηθισμένες αντιδράσεις πάντως είναι η απομάκρυνση από την πηγή του θορύβου ή ακόμα και η προσωρινή αλλαγή του τόπου διαβίωσης, σε περίπτωση που αυτός βρίσκεται κοντά στην περιοχή που πραγματοποιείται σεισμική έρευνα. Επίσης, όταν κάποια σεισμική έρευνα βρίσκεται στη διαδρομή που ακολουθούν οι φάλαινες όταν μεταναστεύουν, έχει παρατηρηθεί πως το κοπάδι παρεκκλίνει από το συνηθισμένο «μονοπάτι», προκειμένου να αποφύγει τον ανεπιθύμητο θόρυβο. (Stone & Tasker, 2006)

Παραπάνω έχει γίνει αναφορά στο temporary threshold shift (TTS), δηλαδή στην προσωρινή βλάβη ή και απώλεια ακοής που μπορεί να προκληθεί στα θαλάσσια θηλαστικά, όταν αυτά εκτεθούν σε ήχους ισχυρής έντασης ή διάρκειας. Η Cook (2006), συγκρίνοντας αποτελέσματα ερευνών που πραγματοποιήθηκαν σε ελεύθερα και μη δελφίνια, συμπέρανε πως τα δελφίνια που βρίσκονται σε συνθήκες αιχμαλωσίας παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία. (Cook, 2006) Οι βλάβες στην ακοή των κητών είναι ικανές να αποβούν έμμεσα θανατηφόρες, αφού τα θαλάσσια θηλαστικά χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο ηχοεντοπισμό για την «πλοήγησή» τους και όχι τόσο άλλες αισθήσεις, όπως η όραση. Μεγάπτερες φάλαινες (humpback whales) έχουν βρεθεί θανάσιμα μπλεγμένες σε δίχτυα ψαρέματος, κοντά σε περιοχή που πραγματοποιούνταν σεισμική έρευνα με εκρηκτικές ύλες. Δεν είναι επιβεβαιωμένο σε ποιο βαθμό οι φάλαινες χρησιμοποιούν τον ήχο ώστε να εντοπίσουν και να αποφύγουν εμπόδια όπως είναι τα δίχτυα, αλλά τα γεγονότα αυτά φαίνεται ότι

ποιηθούν για την έρευνα και την εκμετάλλευση των υδρογονανθράκων της περιοχής, καθώς επίσης και ο πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους, πρέπει να αναλυθούν εκτενώς στην Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. Σε αυτές τις διαδικασίες, συμπεριλαμβάνεται και η σεισμική έρευνα και οι επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει στην τοπική θαλάσσια πανίδα.

Παρά το γεγονός πως στην Ελλάδα δεν υπάρχουν νομικές υποχρεώσεις για το μετριασμό της ενόχλησης και των επιπτώσεων στη θαλάσσια ζωή από την πραγματοποίηση σεισμικής έρευνας με χρήση airgun, σε πρόσφατες ΜΠΕ (2016) για τις περιοχές του Ιονίου και Νότια της Κρήτης γίνονται αναφορές σε πρωτόκολλα που έχουν υιοθετήσει χώρες όπως η Βρετανία και οι ΗΠΑ. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός πως υπάρχουν αρκετές διαφορές μεταξύ των μέτρων που προτείνονται από πρωτόκολλο σε πρωτόκολλο. Ενδεικτικά, μερικές από τις σημαντικότερες διαφοροποιήσεις μεταξύ τους αφορούν τα εξής :

1. **Ζώνη ασφαλείας:** Το μέγεθος της ζώνης ασφαλείας κυμαίνεται από 500(JNCC,MMS,IFC) έως και 3000 μέτρα (Αυστραλιανό πρωτόκολλο). Η ζώνη ασφαλείας αναφέρεται στην απόσταση στην οποία είναι ασφαλή τα θαλάσσια θηλαστικά από την πρόκληση ακουστικού τραύματος από τα airguns. Τα ως τώρα στοιχεία δείχνουν πως μια ζώνη ασφαλείας στα 500m είναι αρκετή για την αποφυγή τέτοιου τραυματισμού.
2. **Διακοπή λειτουργίας συστοιχίας:** Οι οδηγίες σε σχέση με τη διακοπή ή όχι της λειτουργίας της συστοιχίας airgun σε περίπτωση που κάποιο κήτος ή χελώνα εισέλθει στη ζώνη ασφαλείας διαφέρουν. Τα πρωτόκολλα των ΗΠΑ, Αυστραλίας και MMS προβλέπουν διακοπή λειτουργίας σε τέτοια περίπτωση για την αποφυγή τραυματισμού στο ζώο που έχει εισέλθει εντός της προβλεπόμενης ακτίνας ασφαλείας. Ωστόσο, οι κατευθυντήριες γραμμές του JNCC (Joint Nature Conservation Committee) δεν συνιστούν κάτι τέτοιο.
3. **Νυχτερινή λειτουργία:** Σύμφωνα με τα ως τώρα γνωστά δεδομένα, δεν προβλέπονται κάποιες ειδικές απαιτήσεις για τις νυχτερινές δραστηριότητες. Παρ'όλα αυτά, προτείνονται τρόποι παρακολούθησης της ζώνης ασφαλείας κατά τη διάρκεια των ερευνών που πραγματοποιούνται τη νύχτα. Το JNCC προτείνει τη χρήση παθητικών ακουστικών μέσων εντοπισμού των θαλάσσιων θηλαστικών τη νύχτα (σύστημα PAMGUARD) ενώ, τα πρωτόκολλα της Αυστραλίας και του MMS (US Minerals Management Service) προβλέπουν περιορισμούς. Οι οδηγίες της Αυστραλίας επιβάλλουν την οπτική παρακολούθηση με τη χρήση οργάνων νυχτερινής όρασης και οι οδηγίες του MMS επιτρέπουν τη νυχτερινή έρευνα με βασική προϋπόθεση την παθητική ακουστική μέθοδο παρακολούθησης.

Αξίζει να σημειωθεί πως η νυχτερινή οπτική παρακολούθηση έχει αρκετά περιορισμένο εύρος λόγω μειωμένης ορατότητας. Επομένως, είναι πιθανό να μην είναι δυνατός ο έγκαιρος εντοπισμός ενός θαλάσσιου θηλαστικού που έχει εισέλθει στην προβλεπόμενη ζώνη ασφαλείας. Συνεπώς, προτείνεται η χρήση διαδικασίας "soft-start", δηλαδή ομαλής εκκίνησης της συστοιχίας, προκειμένου να δοθεί χρόνος

στα θαλάσσια θηλαστικά αλλά και στα ψάρια της περιοχής, να απομακρυνθούν από το ερευνητικό σκάφος. (Ελληνικό Κεντρο Θαλάσσιων Ερευνών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, & Arcenviro, 2016)

Σε μεγάλο βαθμό, οι κίνδυνοι και οι πιθανές επιπτώσεις στη θαλάσσια ζωή από την πραγματοποίηση σεισμικής έρευνας που αναφέρονται σε μια Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, έχουν καλυφθεί παραπάνω. Φυσικά, οι αναφορές που γίνονται σε μία ΜΠΕ είναι πιο στοχευμένες και αφορούν συγκεκριμένα είδη της τοπικής θαλάσσιας πανίδας που ενδεχομένως να επηρεαστούν από τη σεισμική έρευνα και τη μετέπειτα ερευνητική και εξορυκτική διαδικασία.

2.4.2 ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ & ΣΥΜΦΩΝΙΕΣ

Στις Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, αναφέρονται εις βάθος όλες οι νομοθεσίες, συμφωνίες και συμβάσεις που ο ενδιαφερόμενος φορέας είναι υποχρεωμένος να ακολουθήσει. Αυτά τα πρωτόκολλα δεν αφορούν μόνο την προστασία της θαλάσσιας πανίδας, αλλά κυρίως αφορούν την προστασία των θαλάσσιων υδάτων από ρύπανση πάσας μορφής. Παρακάτω θα αναφερθούν μερικές από τις κυριότερες συμβάσεις-συμφωνίες, όπως αυτές αναφέρονται σε πρόσφατες ΜΠΕ, που στοχεύουν στην προστασία του περιβάλλοντος από τις υπεράκτιες ανθρώπινες δραστηριότητες.

- **MARPOL 73/78:** Η διεθνής σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης από πλοία, ή αλλιώς MARPOL 73/78, αποτελεί μία από τις σημαντικότερες συμβάσεις και αφορά την πρόληψη της ρύπανσης των θαλασσών λόγω λειτουργίας πλοίων ή θαλάσσιων ατυχημάτων. Συντάχθηκε και ψηφίστηκε το 1973 από τον IMO (International Maritime Organization–Παγκόσμιος Ναυτιλιακός Οργανισμός) αλλά τελικά τέθηκε σε πλήρη ισχύ το 1983. Μεσολάβησε μια μετατροπή του αρχικού πρωτοκόλλου το 1978 λόγω σημαντικών ατυχημάτων με δεξαμενόπλοια τα έτη 1976-77. Η σύμβαση καθορίζει τους τρόπους διαχείρισης ρυπογόνων υλικών στα πλοία και υπό ποιες προϋποθέσεις είναι εφικτή η ασφαλής απόρριψή τους στη θάλασσα. Όλα τα πλοία των χωρών που έχουν υπογράψει τη MARPOL 73/78 είναι υποχρεωμένα να ακολουθούν το πρωτόκολλο που ορίζεται από τη σύμβαση, ανεξάρτητα από τις περιοχές που πλέουν. (Μαρκιανός-Δανιόλος, 2013) (Wikipedia) Στην Ελλάδα, η κύρωση της Διεθνούς Σύμβασης MARPOL 73/78 πραγματοποιήθηκε με το νόμο 1269/1982 (ΦΕΚ 89/Α/21.7.1982) και από πιο πρόσφατες υπουργικές αποφάσεις, όπου η Ελλάδα αποδέχτηκε και εφάρμοσε όποιες τροποποιήσεις είχαν γίνει το 1978 στην αρχική συμφωνία της MARPOL. (Ελληνικό Κεντρο Θαλάσσιων Ερευνών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, & Arcenviro, 2016)
- **Σύμβαση OPRC:** Η σύμβαση OPRC (International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response & Co-operation) συντάχθηκε από τον IMO

το 1990 και τέθηκε σε ισχύ το Μάιο του 1995. Η OPRC αναφέρεται στη συντονισμένη και συνεργατική αντιμετώπιση της ρύπανσης των θαλάσσιων υδάτων από το πετρέλαιο. Κύριοι στόχοι της σύμβασης OPRC είναι η πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης, η επαρκής αντιμετώπιση ατυχημάτων και η συνεργασία μεταξύ των χωρών που έχουν υπογράψει τη σύμβαση για την επίτευξη των δύο προηγούμενων στόχων. (I.M.O.)

- **Σύμβαση του ΟΗΕ για το Δίκαιο της Θάλασσας (UNCLOS):** Η σύμβαση UNCLOS (United Nations Convention on the Law of the Sea) συντάχθηκε και συμφωνήθηκε το 1982 αλλά τέθηκε σε ισχύ το 1994. Στόχος της είναι να προστατεύσει το θαλάσσιο περιβάλλον από διάφορες μορφές ρύπανσης όπως είναι η απόρριψη ρύπων από πλοία. Στην Ελλάδα, η σύμβαση UNCLOS επικυρώθηκε το 1995 (Ν.2321/95 ΦΕΚ 136^Α/23.6.1995). (Ελληνικό Κεντρο Θαλάσσιων Ερευνών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, & Arcenviro, 2016)
- **Διεθνής Σύμβαση της Βαρκελώνης:** Η πλήρης ονομασία της σύμβασης είναι Διεθνής Σύμβαση της Βαρκελώνης για την προστασία της Μεσογείου θάλασσας από τη ρύπανση, υπογράφηκε το 1976 και τροποποιήθηκε το 1980. Στόχος της παραπάνω σύμβασης είναι η μείωση της ρύπανσης της θαλάσσιας περιοχής της Μεσογείου. Η σύμβαση της Βαρκελώνης κυρώθηκε στην Ελλάδα με σχετικά ΦΕΚ αρχικά το 1978 και τέθηκε σε ολοκληρωτική ισχύ το 2002. (Ελληνικό Κεντρο Θαλάσσιων Ερευνών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, & Arcenviro, 2016)
- **Σύμβαση Στοκχόλμης:** Η Σύμβαση της Στοκχόλμης για τους έμμενους οργανικούς ρύπους (POPs – Persistent Organic Pollutants) στοχεύει στην προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας από οργανικούς ρύπους που δεν διασπώνται εύκολα και συσσωρεύονται στους ζωντανούς οργανισμούς. Είναι τοξικοί και μεταφέρονται μέσω νερού και αέρα. Στην Ελλάδα η σύμβαση της Στοκχόλμης κυρώθηκε το 2006 με σχετικό ΦΕΚ. (Ελληνικό Κεντρο Θαλάσσιων Ερευνών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, & Arcenviro, 2016)
- **Οδηγία 2004/35/ΕΚ:** Κύριος στόχος της Ευρωπαϊκής αυτής οδηγίας είναι η δημιουργία ενός πλαισίου ευθύνης για την αποφυγή καταστροφών ή/και την αποκατάσταση αυτών στην πανίδα, τη χλωρίδα και στους φυσικούς τόπους διαβίωσης. Οι καταστροφές αυτές μπορεί να είναι είτε άμεσες είτε έμμεσες και οι υπεύθυνοι φορείς λογοδοτούν στις δημόσιες αρχές της περιοχής σε περίπτωση που δεν έχουν λάβει τα απαραίτητα μέτρα πρόληψης ή αποκατάστασης. Στην Ελλάδα, η οδηγία 2004/35 υιοθετήθηκε με Προεδρικό Διάταγμα το 2009 (ΦΕΚ 190/Α) με τίτλο «Περιβαλλοντική ευθύνη για την πρόληψη και την αποκατάσταση των ζημιών στο περιβάλλον». (Ελληνικό Κεντρο Θαλάσσιων Ερευνών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, & Arcenviro, 2016)
- **Οδηγία 2013/30/ΕΚ:** Η οδηγία 2013/30 αφορά την ασφάλεια στις υπεράκτιες δραστηριότητες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Πρόκειται για οδηγία του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου που ψηφίστηκε το 2013 και προτείνει τρόπους παρακολούθησης των δραστηριοτήτων που αφορούν τους υδρογονάνθρακες,

χωρίς όμως να θέτει αυστηρότερους περιορισμούς. Κύριος στόχος της οδηγίας 2013/30 είναι να εξετάζει κατά πόσο είναι ικανός ο ανάδοχος φορέας, τόσο οικονομικά όσο και τεχνικά, να ανταπεξέλθει στα απαραίτητα μέτρα για την πρόληψη και αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης. Αξιοσημείωτη είναι η ίδρυση νέα ανεξάρτητης αρχής που θα επιβλέπει τα παραπάνω και θα έχει τη δυνατότητα να προβεί ακόμα και στην απαγόρευση της έναρξης των δραστηριοτήτων.

Ανεξάρτητα από τις παραπάνω συμβάσεις και Ευρωπαϊκές συμφωνίες, υπάρχουν μερικές ακόμα διεθνείς συμφωνίες που είναι άξιες αναφοράς. Από τις πιο σημαντικές, είναι η συμφωνία ACCOBAMS (Agreement on the Conservation of Cetaceans of the Black Sea, Mediterranean Sea and contiguous Atlantic area) η οποία υπογράφηκε στις 24 Νοεμβρίου του 1996 αλλά τέθηκε σε εφαρμογή την 1^η Ιουνίου 2001. Κύριος στόχος του ACCOBAMS είναι η μείωση του συνόλου των απειλών που δέχονται τα κητοειδή των ανωτέρω θαλάσσιων περιοχών (Μαύρη Θάλασσα, Μεσόγειος Θάλασσα και Ευρωπαϊκά παράλια Ατλαντικού). Ουσιαστικά, μέσω του ACCOBAMS, τα κράτη που έχουν υπογράψει και συμφωνήσει, αποδέχονται την εφαρμογή πιο αυστηρών κριτηρίων για τις υπεράκτιες δραστηριότητες από τις ήδη προϋπάρχουσες νομοθεσίες. Αυτά τα κριτήρια προκύπτουν από ένα συνδυασμό μεταξύ της σύμβασης της Βαρκελώνης για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος και της βιοποικιλότητας της Μεσογείου, της σύμβασης της Βόννης για την προστασία των αποδημητικών-μεταναστευτικών ειδών άγριων ζώων, της σύμβασης της Βέρνης για την προστασία της Ευρωπαϊκής άγριας ζωής και των φυσικών τόπων διαβίωσης αυτής και τέλος της σύμβασης του Βουκουρεστίου για την προστασία της Μαύρης Θάλασσας κατά της μόλυνσης. Η συμφωνία ACCOBAMS περιλαμβάνει όλη τη Μαύρη Θάλασσα, ολόκληρη τη Μεσόγειο, την περιοχή γύρω από τα στενά του Γιβραλτάρ καθώς επίσης και τη θαλάσσια περιοχή Δυτικά της Ισπανίας και της Πορτογαλίας, δηλαδή τμήμα του Ατλαντικού Ωκεανού. Μέχρι στιγμής, το ACCOBAMS στοχεύει να προστατεύσει 28 γνωστά είδη κητοειδών που έχουν εντοπιστεί στις παραπάνω θαλάσσιες περιοχές, όπως διάφορα είδη δελφινιού και φάλαινας. Από το 2018, τη συμφωνία έχουν υπογράψει 24 κράτη που έχουν ακτογραμμή στις παραπάνω θάλασσες, μερικές εκ των οποίων είναι οι Ελλάδα, Γαλλία, Μαρόκο, Τουρκία και Ιταλία. Τέλος, να σημειωθεί ότι η χώρα μας είναι μέλος της συμφωνίας από την πρώτη στιγμή που αυτή υπογράφηκε. (accobams.org)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΠΕΡΑΚΤΙΕΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, μοναδική απόδειξη για την ύπαρξη κοιτάσματος υδρογονανθράκων αποτελεί η γεώτρηση. Λόγω του εξαιρετικά υψηλού οικονομικού κόστους μιας γεώτρησης, ερευνητικής ή μη, προτού η ενδιαφερόμενη εταιρία προχωρήσει σε αυτή, πραγματοποιεί όλες τις παραπάνω ερευνητικές διαδικασίες, προκειμένου να προσδιορίσει όσο ακριβέστερα γίνεται την πιθανή τοποθεσία του κοιτάσματος στο υπέδαφος. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούν ορισμένες βασικές έννοιες και διαδικασίες που σχετίζονται με τις υπεράκτιες γεωτρήσεις, καθώς επίσης και οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι που εντοπίζονται σε αυτές.

3.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΤΙΣ ΥΠΕΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

Με την ολοκλήρωση των προκαταρκτικών ερευνών (τηλεπισκόπηση, σεισμικές, βαρυτομετρικές κλπ) και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων τους από τους γεωλόγους, οι τελευταίοι παραδίδουν τα ευρήματα και τις συντεταγμένες που βρίσκονται οι πιθανές παραγωγικές ζώνες (pay zones) στους μηχανικούς διάτρησης (drilling engineers). Αρμοδιότητα των μηχανικών διάτρησης είναι η δημιουργία ενός αναλυτικού πλάνου για όλα τα στάδια της διαδικασίας της γεώτρησης. Σε αυτό το πλάνο περιλαμβάνονται η ακριβής τοποθεσία όρυξης στην επιφάνεια, το τελικό βάθος που θα φτάσει η γεώτρηση (Total Depth), το μέγεθος των κοπτικών άκρων (bits), οι ιδιότητες του διατρητικού πολφού («λάσπης» - drilling fluid/mud) και οι σωληνώσεις (casings) που θα χρησιμοποιηθούν. Κατά την ανάπτυξη του σχεδίου γεώτρησης, υπολογίζεται και το κόστος του προϋπολογισμού για την πραγματοποίησή της. Οι γεωτρήσεις αποτελούν μια εξαιρετικά δαπανηρή δραστηριότητα και ενέχουν υψηλό οικονομικό ρίσκο για κάθε εταιρία. (Γεωργακόπουλος)

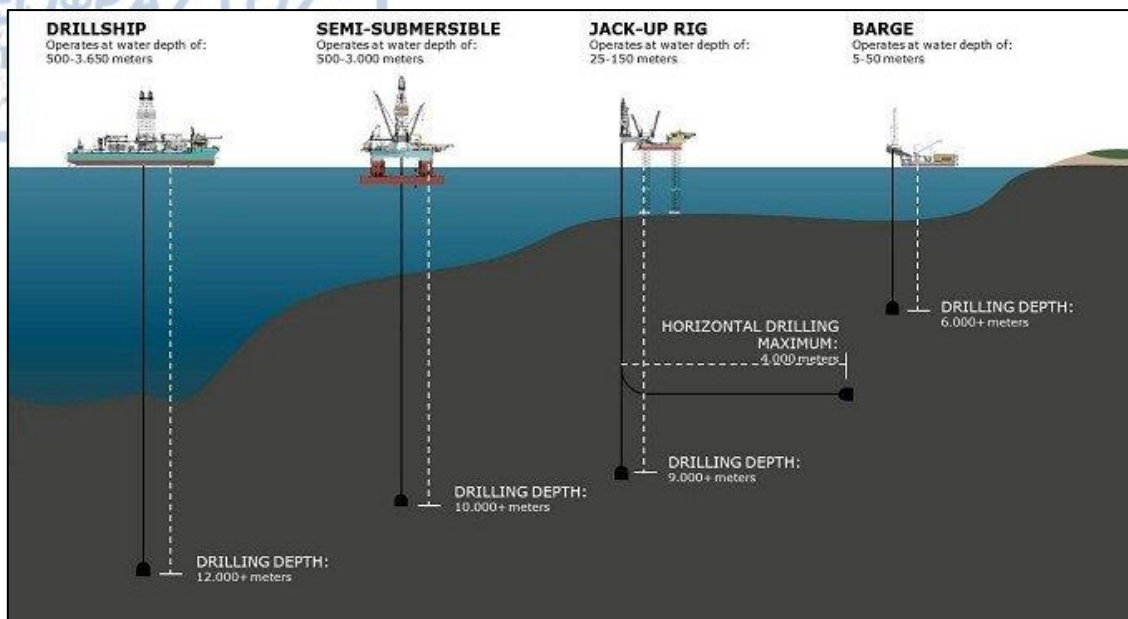
Με τον όρο «εξερευνητική γεώτρηση» περιγράφεται μια γεώτρηση που πραγματοποιείται είτε σε πιθανό κοίτασμα υδρογονανθράκων με σκοπό την επιβεβαίωση της ύπαρξής του (wildcat well), είτε σε ήδη επιβεβαιωμένο κοίτασμα προκειμένου να εκτιμηθεί η ποσότητα των αποθεμάτων του ταμιευτήρα και οι συνθήκες που επικρατούν σε αυτόν, ώστε να πραγματοποιηθεί με ασφάλεια η εξόρυξή τους (appraisal well). (Kassinis, 2015) Μια γεώτρηση πετρελαίου ή/και φυσικού αερίου, αρχικά προσφέρει πρόσβαση στο κοίτασμα υδρογονανθράκων στο υπέδαφος και ταυτόχρονα προσφέρει την ασφαλή μεταφορά των υδρογονανθράκων στην επιφάνεια. (Γεωργακόπουλος)

Η διαδικασία μια εξερευνητικής–επιβεβαιωτικής γεώτρησης μπορεί να περιλαμβάνει πυρηνοληψίες, διαγραφίες και σχετικές στρωματογραφικές δοκιμές για περαιτέρω ανάλυση της δομής του υπεδάφους. Να σημειωθεί πως οι γεωτρήσεις στρωματογραφικών δοκιμών είναι γεωτρήσεις μικρού βάθους (~500 μέτρα) και δεν προσφέρουν τη δυνατότητα μετατροπής τους σε παραγωγικές. Οι διαγραφίες που πραγματοποιούνται παράλληλα με τη διάνοιξη της γεώτρησης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τις ηλεκτρικές διαγραφίες (wireline logging) και τις διαγραφίες

γεωτρητικής λάσπης (mud-logging). Μέσω της ηλεκτρικής διαγραφίας μπορούν να προκύψουν δεδομένα σχετικά με τον κορεσμό των σχηματισμών σε υδρογονάνθρακες και άλλα γεωφυσικά χαρακτηριστικά. Ηλεκτρική διαγραφή μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε πριν την τοποθέτηση σωληνώσεων (διαγραφή ανοικτής οπής) είτε μετά την τοποθέτηση των casings (διαγραφή θωρακισμένης οπής). Με τις διαγραφίες γεωτρητικής λάσπης, περιγράφονται τα πετρώματα με βάση τα θρύμματα (cuttings) που παρασύρονται στην επιφάνεια από την κυκλοφορία του πολφού στη γεώτρηση (mud circulation). Ωστόσο, η σημαντικότερη παράμετρος που καταγράφεται κατά το mud-logging είναι οι μεταβολές στις συγκεντρώσεις του formation gas, του πρώτου αερίου που σχηματίζεται σε έναν ταμιευτήρα. (Kassinis, 2015)

Ανάμεσα στις αποφάσεις που καλούνται να λάβουν οι μηχανικοί της γεώτρησης σε σχέση με τη διαδικασία της γεώτρησης για το είδος των σωληνώσεων, το βάθος της γεώτρησης και το είδος των κοπτικών άκρων, είναι και ο καθορισμός του είδους του ρευστού διάτρησης. Το είδος και οι ιδιότητες του διατρητικού πολφού εξαρτώνται κυρίως από τη γεωλογία της περιοχής, από το πρόγραμμα διαγραφιών της γεώτρησης και τον τελικό στόχο αυτής. (Γεωργακόπουλος) Άλλοι παράγοντες που καθορίζουν τον τύπο του ρευστού διάτρησης που θα χρησιμοποιηθεί είναι το κόστος και οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Υπάρχουν πολλών ειδών διατρητικά ρευστά, που διαχωρίζονται ανάλογα με το κύριο συστατικό τους, το οποίο συνήθως είναι είτε το νερό (water based mud) είτε το πετρέλαιο (oil based mud). (Society of Petroleum Engineers & PetroWiki) Λόγω των περιβαλλοντικών περιορισμών, οι water based πολφοί χρησιμοποιούνται σε αρκετά μεγαλύτερο βαθμό πλέον σε σχέση με τους oil based. (Γεωργακόπουλος) Τα περιβαλλοντικά ρίσκα ανάλογα με τον τύπο του διατρητικού ρευστού και η αντιμετώπιση αυτών θα αναλυθούν παρακάτω.

Υπάρχουν πολλών ειδών πλατφόρμες (ή αλλιώς υπεράκτια γεωτρήματα) που χρησιμοποιούνται για τις θαλάσσιες γεωτρήσεις. Οι κινητές αυτές μονάδες γεώτρησης, διεθνώς γνωστές ως MODUs (Mobile Offshore Drilling Units), διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες και επιλέγονται ανάλογα με τις συνθήκες που θα πραγματοποιηθεί η γεώτρηση (Εικόνα 12). Το κυριότερο κριτήριο αποτελεί το βάθος του νερού στην τοποθεσία της γεώτρησης. Οι πλατφόρμες τύπου jack-up, που χρησιμοποιούνται περισσότερο σε σχέση με άλλου είδους πλατφόρμες, διαθέτουν 3 ή 4 «πόδια» με τα οποία σταθεροποιούνται στον πυθμένα της θάλασσας και προσφέρουν δυνατότητα γεώτρησης σε βάθη νερού που δεν ξεπερνούν τα 120 μέτρα. Άλλα είδη υπεράκτιων μονάδων γεώτρησης αποτελούν οι ημι-βυθιζόμενες πλατφόρμες (Semi-Submersible Rigs), οι οποίες δεν στηρίζονται στον πυθμένα της θάλασσας και σταθεροποιούνται με ένα σύστημα αγκυροβολήσης, και τα γεωτρητικά σκάφη που αμφότερα μπορούν να πραγματοποιήσουν γεώτρηση σε μεγάλα βάθη (έως και 3.650 μέτρα).



Εικόνα 12. Είδη Υπεράκτιων Γεωτρυπάνων (Πλατφόρμες- MODUs). Πηγή: www.subsea.org/drilling-rigs

3.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΡΙΣΚΑ

3.2.1 ΑΡΧΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

Σε γενικές γραμμές, η διαδικασία της ανόρυξης μια γεώτρησης είναι η ίδια, είτε αυτή πραγματοποιείται σε χερσαίο είτε σε θαλάσσιο περιβάλλον. Ο τρόπος και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι διαφορετικές, ανάλογα με την περίπτωση, αλλά η διαδικασία και η διαδοχή των δραστηριοτήτων είναι παρόμοια, αν όχι ίδια. Δεν θα γίνει εκτενής ανάλυση της ερευνητικής γεωτρητικής διαδικασίας, παρά μόνο κάποια βασικά στάδια και θα δοθεί έμφαση κυρίως σε αυτά που ενέχουν περιβαλλοντικούς κινδύνους.

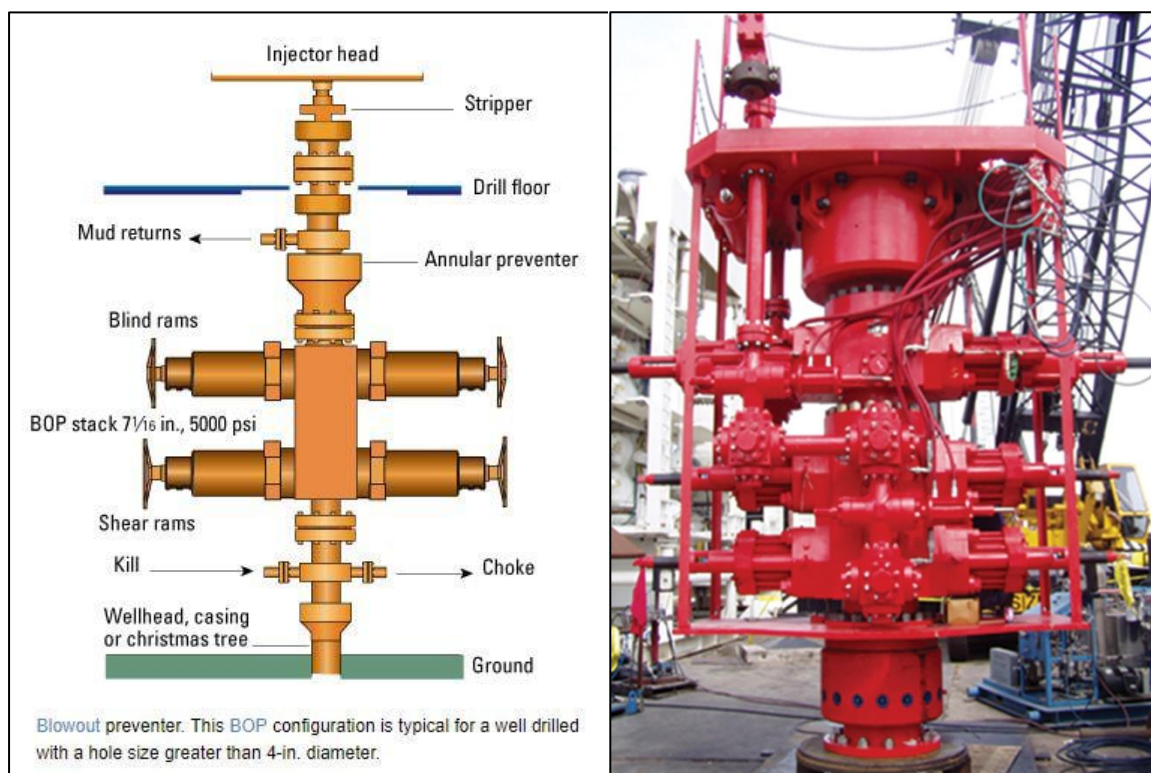
Αφού πρώτα πραγματοποιηθεί ο σχεδιασμός της γεώτρησης από τους μηχανικούς διάτρησης και έχουν ληφθεί υπ'όψιν όλες οι απαραίτητες παράμετροι, μπορεί να ξεκινήσει η γεωτρητική διαδικασία. Στο πλάνο-σχεδιασμό της γεώτρησης περιλαμβάνονται το πρόγραμμα διάτρησης και σωλήνωσης, το πρόγραμμα κοπτικού διάτρησης, το πρόγραμμα του διατρητικού πολφού και το συνολικό κόστος της γεώτρησης. (Γεωργακόπουλος)

Τα κυριότερα στάδια στην εκκίνηση μια γεώτρησης είναι τα εξής : (Kassinis, 2015)

1. Τοποθέτηση της σωλήνωσης που εκτελεί το ρόλο του οδηγού.
2. Διάνοιξη της οπής στην επιφάνεια του εδάφους
3. Τοποθέτηση σωλήνωσης και τιμέντωση της επιφανειακής γεώτρησης
4. Εγκατάσταση του αποτροπέα εκρήξεων BOP (Blow-Out Preventer).

Ο μηχανισμός ασφαλείας BOP είναι ύψιστης σημασίας για την περαίωση της γεώτρησης σε ασφαλείς συνθήκες, τόσο για τους εργαζόμενους όσο και για το περιβάλλον. Το Blow-Out Preventer αποτελεί μια εξειδικευμένη βαλβίδα που

τοποθετείται στο ανώτερο τμήμα της οπής της γεώτρησης. Η βασική του λειτουργία είναι να φράζει τη δίοδο ρευστών από και προς το εσωτερικό της γεώτρησης, επιτρέποντας την ελεγχόμενη ροή τους. Οι υδρογονάνθρακες μέσα στο κοίτασμα βρίσκονται υπό πίεση. Χωρίς τη χρήση BOP, μόλις η γεώτρηση δημιουργούσε τις πρώτες ρωγμές στο cap rock, οι πιθανότητες βίαιης διαφυγής των υδρογονανθράκων θα ήταν αρκετά υψηλές. Μια τέτοια κατάσταση στη θάλασσα, θα προκαλούσε το σχηματισμό πετρελαιοκηλίδας. Με τη χρήση του BOP όμως, οι πιθανότητες αυτές σχεδόν μηδενίζονται. Εν ολίγοις δηλαδή, το σύστημα αποτροπής εκρήξεων ή αλλιώς BOP περιορίζει τα ρευστά της γεώτρησης μέσα σε αυτήν, προσφέροντας ταυτόχρονα τη δυνατότητα προσθήκης ή απορρόφησης, σε ελεγχόμενες ποσότητες και συνθήκες. (Schlumberger, 2020)

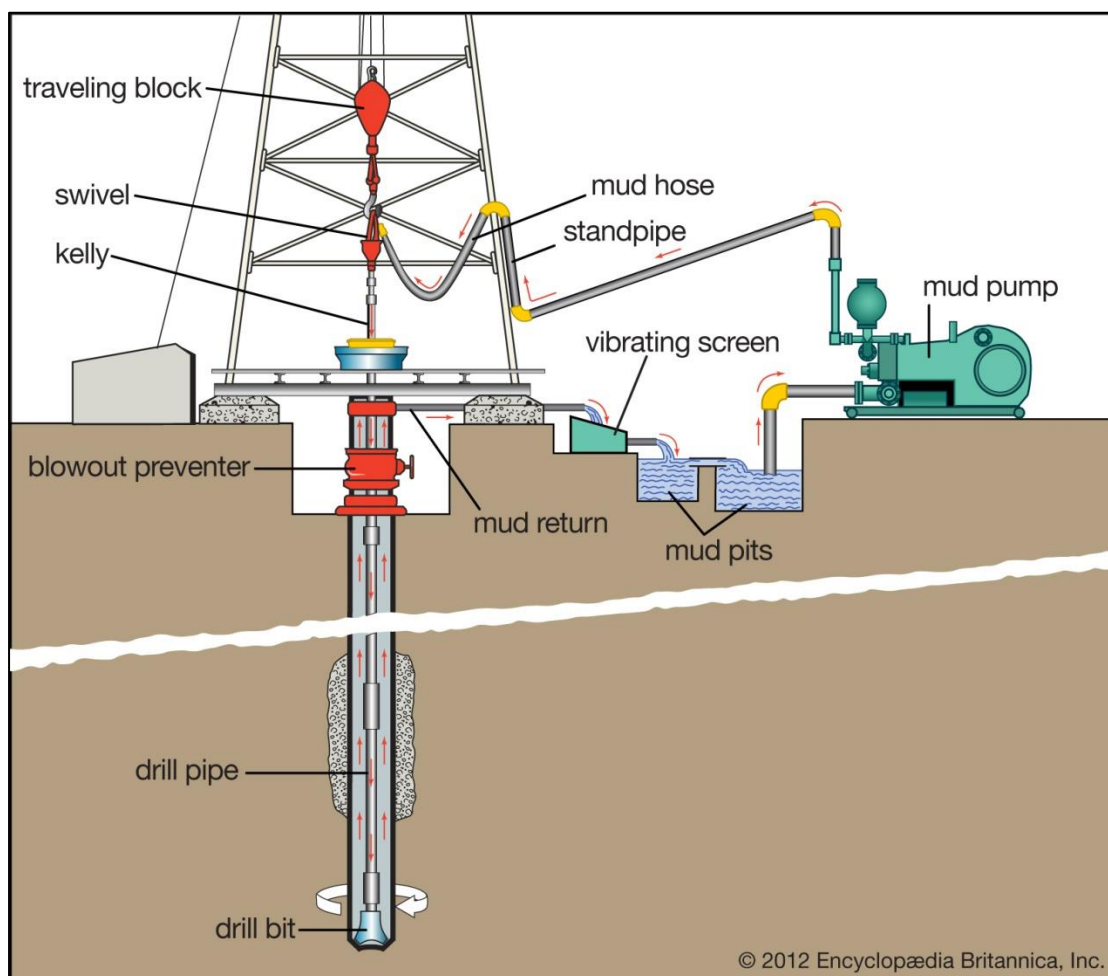


Εικόνα 13. α) Σκίτσο συστήματος αποτροπής εκρήξεων - BOP. β) BOP σε πραγματικές συνθήκες.
Πηγή: α) Schlumberger Oilfield Glossary , β) Kingwell Oilfield

Μετά την ολοκλήρωση των επιφανειακών εργασιών, η γεώτρηση συνεχίζει κανονικά προς τα κάτω με την εγκατάσταση σωλήνωσης και τσιμέντωσης των τοιχωμάτων της οπής, μέχρι να φτάσει το επιθυμητό βάθος. Συνήθως, οι γεωτρήσεις πετρελαίου, είτε ερευνητικές είτε παραγωγικές, πραγματοποιούνται με την τεχνική της περιστροφικής διάνοιξης λόγω του μεγάλου απαιτούμενου βάθους. Κατά την περιστροφική διάνοιξη, ολόκληρη η διατρητική στήλη μαζί με το κοπτικό άκρο, που βρίσκεται τοποθετημένο στο κάτω άκρο της, περιστρέφεται τροφοδοτούμενη με ενέργεια από μηχανισμούς στην επιφάνεια. Μέσω της διατρητικής στήλης, διοχετεύεται λάσπη (ή διατρητικό ρευστό ή πολφός, drilling mud/fluid) η οποία εξυπηρετεί σε πολλές λειτουργίες. (Kassinis, 2015)

3.2.2 ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ

Σε όλες τις γεωτρήσεις, κατά τη διάνοιξή τους, χρησιμοποιείται διατρητικό ρευστό ή πολφός ή λάσπη (drilling fluid/mud). Η κυκλοφορία της λάσπης σε μια γεώτρηση ξεκινά στην επιφάνεια, από όπου προωθείται μέσα στη γεωτρητική στήλη μέχρι το κατώτερο σημείο της, που βρίσκεται το κοπτικό άκρο. Εκεί, ψεκάζεται στο σημείο επαφής του κοπτικού άκρου με τα πετρώματα και επιστρέφει στην επιφάνεια, από το εξωτερικό της διατρητικής στήλης. Κατά την άνοδο της λάσπης στην επιφάνεια, παρασύρονται και θρύμματα (cuttings) της γεώτρησης τα οποία, διαχωρίζονται στην επιφάνεια από τη λάσπη και μπορούν να προσφέρουν πολύτιμη γεωλογική πληροφορία για το υπέδαφος. (Γεωργακόπουλος)



Εικόνα 14. Σχηματική αναπαράσταση του συστήματος κυκλοφορίας του διατρητικού ρευστού μιας γεώτρησης. (Πηγή: britannica.com/technology/drilling-mud)

Ο ρόλος της λάσπης στη γεωτρητική διαδικασία είναι πολυπρόσωπος και ιδιαίτερα σημαντικός. Υπάρχουν διάφορα είδη διατρητικών ρευστών, ωστόσο στην πλειοψηφία τους, οι λειτουργίες που προσφέρουν είναι οι ίδιες. Παρακάτω θα αναφερθούν ορισμένες από τις σημαντικότερες λειτουργίες αλλά και χαρακτηριστικά των διατρητικών ρευστών: (Γεωργακόπουλος) (Hughes, 1995)

1. Απομάκρυνση των θρυμμάτων από το κατώτερο τμήμα της γεώτρησης και μεταφορά τους στην επιφάνεια.
2. Σε περίπτωση διακοπής της κυκλοφορίας της λάσπης στη γεώτρηση, η ήδη υπάρχουσα λάσπη στη γεώτρηση έχει την ιδιότητα διατήρησης των θρυμμάτων σε αιώρηση.
3. Λειτουργεί ως σταθεροποιητής της πίεσης μέσα στη γεώτρηση. Η υδροστατική πίεση που ασκεί ο διατρητικός πολφός στα τοιχώματα της γεώτρησης, είναι μεγαλύτερη από την πίεση που ασκούν οι γεωλογικοί σχηματισμοί σε αυτά. Κατά αυτόν τον τρόπο, αποτρέπεται η εισροή ρευστών από τους σχηματισμούς μέσα στη γεώτρηση. Επιπρόσθετα, αυτή η ιδιότητα του πολφού, μειώνει τις πιθανότητες για ένα blow-out.
4. Καθαρίζει, ψύχει και λιπαίνει το κοπτικό άκρο, μειώνοντας τις δυνάμεις τριβής που αναπτύσσονται από την περιστροφή του.
5. Υποστηρίζει και σταθεροποιεί τα τοιχώματα της γεώτρησης. Ο πολφός, ανάλογα και με τη σύστασή του σαφώς, δημιουργεί μια επίστρωση στα τοιχώματα της γεώτρησης. Έτσι, πληρώνει τις ρωγμές των σχηματισμών και αυξάνει τη συνοχή τους, μειώνοντας σε σημαντικό βαθμό την πιθανότητα καταπτώσεων.

Υπάρχουν δύο συνηθισμένοι τύποι διατρητικού πολφού που διακρίνονται ανάλογα με το αν το κύριο συστατικό είναι το νερό (water-based mud) ή το πετρέλαιο (Oil-based mud). Πέρα από αυτούς τους δύο τύπους, υπάρχουν και οι συνθετικοί πολφοί (synthetic-based) που θεωρητικά αποτελούν υποκατηγορία των oil-based. Στην πιο απλοποιημένη της μορφή, η λάσπη που χρησιμοποιείται αποτελείται από τη ρευστή φάση (νερό ή πετρέλαιο ή άλλο συνθετικό υγρό) και τη στερεή φάση. Η στερεή φάση αυξάνει το ιξώδες του πολφού μέχρι την επιθυμητή τιμή του και αποτελείται από μίγμα ορυκτών, συνήθως αργιλικών. Κάθε πολφός προσφέρει τις ίδιες λειτουργίες, με τις διαφορές να εντοπίζονται στις αποδόσεις. Επομένως, αναλόγως των απαιτήσεων που έχει κάθε γεώτρηση, γίνεται και η επιλογή του κατάλληλου μίγματος. (Hughes, 1995)

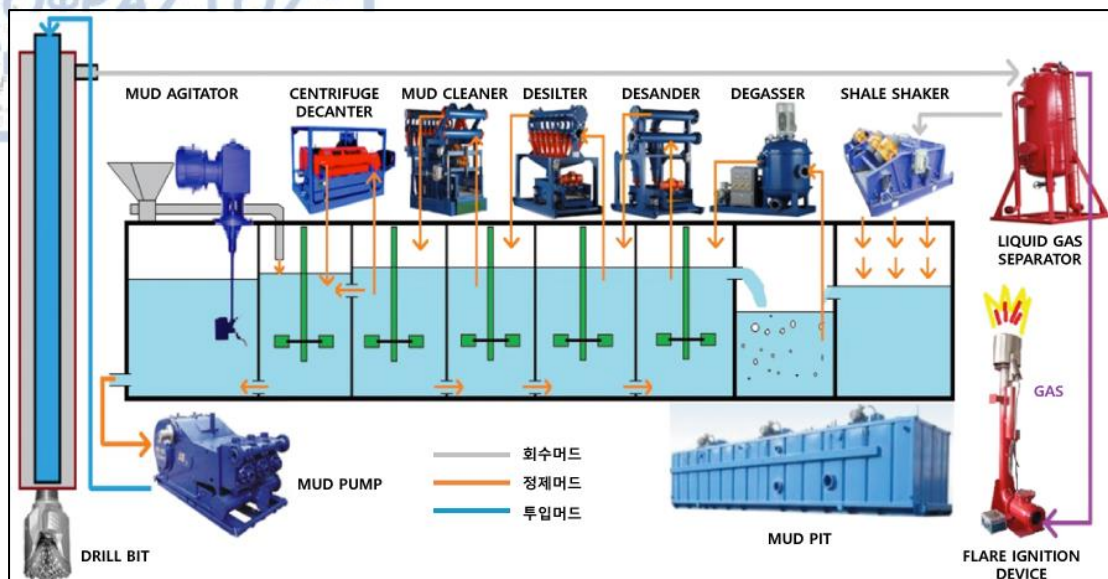
Οι πολφοί με βάση το νερό (Water-based muds) χρησιμοποιούνται στην πλειοψηφία των περιπτώσεων. Η ρευστή φάση μπορεί να αποτελείται από γλυκό ή θαλασσινό νερό και άρμη, ανάλογα με τις αναμενόμενες συνθήκες στη γεώτρηση. Το γεγονός αυτό καθιστά αυτήν την κατηγορία πολφών ως την πλέον περιβαλλοντικά φιλική και πιο εύκολα αποδεκτή από νομοθεσίες ανά τον κόσμο. Ωστόσο, οι oil-based muds είναι πιο ανθεκτικοί στις υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες που επικρατούν όσο αυξάνεται το βάθος της γεώτρησης σε σχέση με τους water-based. Συνεπώς, οι απαιτήσεις και οι συνθήκες σε κάθε γεώτρηση παίζουν το ρόλο τους στην επιλογή πολφού. Είναι δυνατή η χρήση water-based πολφού στα αρχικά στάδια της γεώτρησης και η χρήση oil-based πολφού στα επόμενα στάδια, όταν θα έχει αυξηθεί αρκετά το βάθος της γεώτρησης. (Petrowiki, 2015)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η χρήση των διατρητικών πολφών σε μια γεώτρηση αποσκοπεί στη διευκόλυνση της περαίωσής της. Είναι γνωστό πως με την αύξηση του βάθους, μεταβάλλονται οι συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Αυτές οι μεταβολές επιδρούν στις ιδιότητες του διατρητικού ρευστού. Οι oil-based πολφοί είναι πιο ανθεκτικοί σε συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας και έχουν την ικανότητα να διατηρούν πιο σταθερές τις ιδιότητες τους (ιξώδες, πυκνότητα κλπ) σε σύγκριση με τους water-based. Επίσης, οι oil-based πολφοί προσφέρουν καλύτερη ευστάθεια στα τοιχώματα της γεώτρησης και παρέχουν δυνατότητα γρηγορότερης διάτρησης σε σχέση με τους water-based. Ωστόσο, λόγω των παραπάνω, η τιμή ανά βαρέλι των πολφών με βάση το πετρέλαιο είναι υψηλότερη σε σύγκριση με αυτήν των πολφών με βάση το νερό. Όμως, το γεγονός πως οι oil-based πολφοί προσφέρουν τη δυνατότητα καθαρισμού και επαναχρήσης σε αντίθεση με τους water-based, αντισταθμίζει σε μεγάλο βαθμό τη διαφορά κόστους. (Amani, Shadravan, & Al-Jubouri, 2012)

Από τα προαναφερθέντα κριτήρια επιλογής του κατάλληλου είδους διατρητικού ρευστού, ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο έχουν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και οι νομοθεσίες που σε αρκετές χώρες περιορίζουν σημαντικά —ή ακόμη απαγορεύουν εντελώς— τη χρήση oil-based πολφών.

Country	WBF and Cuttings	OBF and Cuttings	SBF and Cuttings	Monitoring Requirements
Australia	- Discharge is allowed, subject to 1% oil limit and/or 17% KCl content (exploratory drilling). PredischARGE sampling is required. - Risk assessments are required. - Operators submit environmental plan(s) that are binding once accepted.	1% oil limit effectively eliminates discharge.	- No specific regulatory language is in place. - In Western Australia, a 10% dry weight limit on SBF-cuttings discharges applies. - Monitoring requirements for IO-cuttings discharges are determined on a case-by-case basis. - General acceptability of SBF is not resolved.	- Monitoring currently is not required. - Monitoring may be a component of the environmental plan that is submitted by the operator.
Brazil	- No specific regulatory language. - Discharge is allowed.	- No specific regulatory language. - Discharge plans require Inst. Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) approval. - Approval of a low-toxicity, mineral-oil-based fluid is unlikely.	- No specific regulatory language is in place. - Discharge plans require IBAMA approval. - Industry workshop currently is formulating guidelines.	
Canada	1996 guidelines (under review) allow unrestricted WBF discharge. - Cuttings may be discharged if reinjection is unfeasible.	- Specific approval is required to use OBFs. - Imposes aromatic-content and toxicity limits. - Cuttings discharge is allowed if reinjection is unfeasible, subject to 15% oil-on-cuttings (OOC) limit. - Cuttings from diesel and highly aromatic oils are prohibited. - Nova Scotia has a 1% OOC limit as of 1999.	- Cuttings discharge is allowed if reinjection is unfeasible, subject to a 15% OOC limit. - SBF bulk discharges are prohibited. - Nova Scotia has a 1% OOC limit as of 1999. - The Newfoundland agency stipulates that SBF cuttings may be discharged where reinjection is unfeasible (including paraffins). The cuttings volume should be reduced to lowest possible level that allows efficient solids control.	Offshore Waste Treatment Guidelines require environmental-effects and compliance monitoring.
China	- Discharge is allowed. - Use of oil is minimal or eliminated. - Notification and sample are required before discharge of oil-containing fluid. Fee is required for discharge of fluid with oil content of <10%. - Discharge is prohibited if oil content is >10%. - No dispersants may be added before discharge.	- Cuttings discharge is allowed, subject to OOC restrictions. Fluid discharge is prohibited. - OOC must be <10%; agency approval and discharge fee are required.	Regulation is not established.	No monitoring requirements are in place for exploratory drilling.

Εικόνα 15. Μερικά παραδείγματα από κανονισμούς χωρών για τη χρήση Water-based fluids (WBF), Oil-based fluids (OBF) και Synthetic-based fluids (SBF) και την διαχείριση των παραγόμενων cuttings. (Πηγή: www.petrowiki.spe.org)



Εικόνα 16. Σχηματική αναπαράσταση ενός mud treatment συστήματος. (Πηγή: Woomin Tech)

Ένα σύστημα καθαρισμού διατρητικού πολφού αποτελείται συνήθως από το shale shaker, το degasser, τα hydrocyclones και το mud cleaner. Οι λειτουργίες τους αφορούν κυρίως το διαχωρισμό στερεής από υγρή φάση, το καθένα σε διαφορετικά μεγέθη κόκκων και σωματιδίων. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα νανοσωματίδια τα οποία δεν δεσμεύονται από τις παραπάνω διαδικασίες και όταν βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες αποτελούν περιβαλλοντικό ρίσκο. Για αυτό το λόγο, αναπτύσσονται ηλεκτροχημικές μέθοδοι δέσμευσης και απορρόφησης αυτών των σωματιδίων, ώστε να είναι πιο ασφαλής η απόρριψη ή η επαναχρήση του διατρητικού πολφού. (Shuixiang, Wen, & Chuan, 2018)

Οι παραπάνω διαδικασίες είναι ιδιαίτερα σημαντικές διότι σε περίπτωση που τα drilling wastes και το produced water απορριφθούν ακατέργαστα στο θαλάσσιο περιβάλλον, υπάρχει αυξημένη πιθανότητα τα τοξικά συστατικά που περιέχουν να σχηματίσουν συσσωματώματα και να βυθιστούν γρηγορότερα. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «κροκίδωση» (Flocculation) και έχει σημαντικό ρόλο στη μεταφορά σωματιδίων στο νερό. Η κροκίδωση μπορεί να προκαλέσει αυξημένες ποσότητες τοξικών σωματιδίων στην ευρύτερη περιοχή γύρω από την πλατφόρμα και σε βάθη στα οποία τρέφονται θαλάσσιοι οργανισμοί όπως τα χτένια. Τα συσσωματώματα αυτά δεν έχουν εντοπιστεί μέσα στους οργανισμούς αλλά, περισσότερο φαίνεται να δυσκολεύουν τη διαδικασία της εύρεσης τροφής. Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις των ανωτέρω ουσιών δεν έχουν μόνιμο χαρακτήρα και σε χρονικά διαστήματα ημερών ή/και μηνών διαλύονται και παρασύρονται από τα θαλάσσια ρεύματα. (Cranford & Lee, 2002)

Μπορεί οι water-based λάσπες να είναι πιο φιλικές ως προς το περιβάλλον σε σύγκριση με τις oil-based και τις synthetic-based, ωστόσο το κυριότερο ζήτημα εντοπίζεται στα χημικά πρόσθετα που χρησιμοποιούνται σε αυτές. Ενδεικτικά, μερικά από αυτά είναι πολυμερή, γαλακτωματοποιητές και υλικά όπως ο Βαρύτης ή ο Μπεντονίτης. Σε περίπτωση απόρριψης χωρίς την κατάλληλη επεξεργασία, υπάρχει

κίνδυνος σοβαρής μόλυνσης του περιβάλλοντος κοντά στο χώρο της γεώτρησης. Οι συνηθέστερες μέθοδοι επεξεργασίας του drilling waste είναι οι παρακάτω:

- Αφυδάτωση και απόθεση μέσα στην οπή της γεώτρησης σαν υλικό πλήρωσης.
- Συμπαγοποίηση ή/και χημική στερεοποίηση.
- Μικροβιολογική επεξεργασία.
- Αποτέφρωση.

Πέρα από τα παραπάνω, αρκετά συνηθισμένη είναι η ανακύκλωση-επαναχρήση της λάσπης στην ίδια γεώτρηση. Με αυτόν τον τρόπο, μειώνεται η συνολική χρησιμοποιούμενη ποσότητα πολφού και κατά συνέπεια, ο τελικός όγκος του waste που χρήζει επεξεργασίας και απόρριψης. Συγκεκριμένα για τους water-based πολφούς, κατόπιν κατάλληλου διαχωρισμού της ρευστής από τη στερεή φάση, η πρώτη μπορεί με ασφάλεια να απορριφθεί στο περιβάλλον ενώ, η στερεή φάση, μπορεί είτε να απορριφθεί σε κατάλληλα διαμορφωμένη χωματερή ή να χρησιμοποιηθεί σαν πρόσθετα στην παρασκευή τσιμέντου ή τούβλων. (Mishra, 2020)

Στην εικόνα 16 παρουσιάστηκε ένα τυπικό σύστημα καθαρισμού γεωτρητικής λάσπης, το οποίο ουσιαστικά διαχωρίζει τη στερεή από την υγρή φάση. Η σειρά κατά την οποία τοποθετούνται τα μηχανήματα είναι συγκεκριμένη και γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να δεσμεύονται τα στερεά σε φθίνουσα σειρά μεγέθους. Πιο αναλυτικά, η διαδικασία είναι η παρακάτω: (Mishra, TrenchlessPedia, 2021)

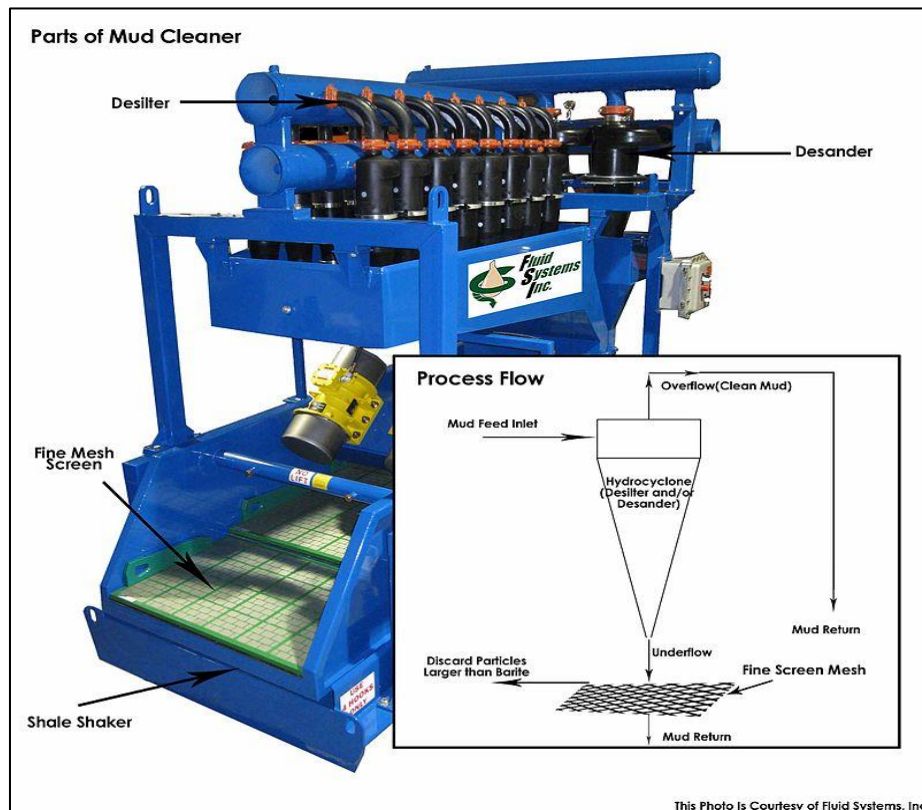
- 1) **Shale Shaker** : Το shale shaker δεσμεύει τα μεγάλα κομμάτια από τα cuttings που βρίσκονται στο μίγμα της λάσπης που έχει εξέλθει από τη γεώτρηση. Η απόδοσή του εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τις ιδιότητες του πολφού, την ποσότητα και το είδος των cuttings που έχουν δημιουργηθεί.
- 2) **Sand Trap** : Το sand trap είναι κατασκευασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπει στα μικρότερα cuttings που έχουν περάσει από το shale shaker να καταβυθίζονται ενώ, ταυτόχρονα, προκαλείται υπερχειλίση. Η υγρή φάση με τα αιωρούμενα σωματίδια-cuttings που ξεφεύγει σκοπίμως από το sand trap, κατευθύνεται απευθείας στο degasser. Τα sand traps είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά στη διαχείριση water-based πολφών.
- 3) **Degasser** : Ο ρόλος του degasser είναι να απελευθερώνει τα δεσμευμένα αέρια που συνήθως βρίσκονται παγιδευμένα στον πολφό στις γεωτρήσεις που σχημάτίζονται με πετρέλαιο.
- 4) **Hydrocyclones** : Τα hydrocyclones (εικόνα 17) διαχωρίζονται στα desanders και στα desilters, ανάλογα με τη διάμετρό τους. Τα desanders έχουν διάμετρο 6 ίντσες (~15cm) ή και λίγο μεγαλύτερη ενώ, τα desilters έχουν μικρότερες διαμέτρους. Η λειτουργία τους βασίζεται στις φυγοκεντρικές δυνάμεις που αναπτύσσονται λόγω του σχήματός τους. Οι δυνάμεις αυτές ωθούν τα στερεά στα τοιχώματα και στον πυθμένα του hydrocyclone ενώ, το επεξεργασμένο υλικό διαρρέει από το άνω τμήμα του.
- 5) **Mud Cleaners** : Το μίγμα με τα μεγαλύτερα στερεά που διαφεύγει από το κάτω τμήμα του hydrocyclone, κατευθύνεται στο mud cleaner (εικόνα 18).

Το mud cleaner αποτελείται από ένα συνδυασμό hydrocyclones και ειδικά πλέγματα-στήτες με απώτερο σκοπό τη δέσμευση στερεών μικρότερων των 74μm.

- 6) **Centrifuges** : Ο ρόλος των centrifuges (φυγοκεντρητές) είναι η απομάκρυνση των μικροσωματιδίων στερεών που έχουν απομείνει στη γεωτρητική λάσπη. Η λειτουργία του είναι παρόμοια με αυτή των hydrocyclones αλλά στην περίπτωση του centrifuge, αναπτύσσονται πολύ μεγάλες ταχύτητες δίνοντας έτσι την ικανότητα να απομακρύνει στερεά μεγέθους ακόμη και 5-7μm.



Εικόνα 17. Hydrocyclones. (Πηγή: www.jaspereng.com)



Εικόνα 18. Mud Cleaner. (Πηγή: www.wikipedia.com)

Το συνολικό κόστος των παραπάνω διαδικασιών εξαρτάται κυρίως από τη μεταφορά και τον εξοπλισμό που χρειάζεται για την πραγματοποίησή της και φυσικά, το εξειδικευμένο προσωπικό που θα φέρει εις πέρας την επεξεργασία της γεωτρητικής λάσπης. Παρά το γεγονός ότι πρόκειται για μια χρονοβόρα διαδικασία, η σωστή επεξεργασία και περιβαλλοντικά φιλική απόρριψη της γεωτρητικής λάσπης είναι μια βιώσιμη διαδικασία για τις πετρελαϊκές εταιρίες. Η ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των διατρητικών ρευστών ή/και των cuttings, πέρα από τα περιβαλλοντικά οφέλη της, μειώνει το συνολικό κόστος της γεώτρησης. Εκτός των παραπάνω πλεονεκτημάτων, η ασφαλής απόρριψη του πολφού αποτελεί υποχρέωση βάσει νόμου στις περισσότερες –αν όχι σε όλες– των περιπτώσεων. (Mishra, Trenchless Pedia, 2020)

Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι νομοθεσίες εκφράζονται κυρίως μέσω του International Association of Oil & Gas Producers (IOGP) , που αποτελείται από 45 πετρελαϊκές εταιρίες οι οποίες λειτουργούν σε περισσότερες από 80 χώρες. Ωστόσο, υπάρχουν και οργανισμοί που περιορίζουν τη λειτουργία-εποπτεία τους σε μικρότερες περιοχές. Τέτοιοι είναι το United Kingdom Offshore Operators Association (UKOOA) και το Norwegian Oil Industry Association (OLF). Οι δύο παραπάνω οργανώσεις ασχολούνται κυρίως με τις πετρελαϊκές δραστηριότητες στη Βόρεια Θάλασσα. Αντίστοιχες οργανώσεις υπάρχουν και στις ΗΠΑ με πιο αξιοσημείωτη την U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Αξιοσημείωτη είναι η δραστηριότητα της EPA προκειμένου να προστατευτεί το θαλάσσιο περιβάλλον στον κόλπο του Μεξικό. Η χρήση πολφών με βάση το νερό (WBF) παράγει περισσότερα απόβλητα και σε σύγκριση με τους synthetic-based πολφούς (SBF), η γεώτρηση προχωράει με πιο αργούς ρυθμούς. Αυτό οφείλεται στις ιδιότητες του κάθε πολφού και έχει ως αποτέλεσμα την κατανάλωση περισσότερων καυσίμων και την παραγωγή περισσότερων καυσαερίων. Επομένως, μπορεί εκ πρώτης όψεως οι WBF να φαίνονται πιο φιλικόι προς το περιβάλλον, αλλά λαμβάνοντας υπόψη όλα τα δεδομένα, η EPA αποφάσισε πως οι SBF αποτελούν την καλύτερη επιλογή όσον αφορά τον κόλπο του Μεξικό. (Lake)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διαδικασία της ανεύρεσης κοιτασμάτων υδρογονανθράκων είναι χρονοβόρα και ιδιαίτερα υψηλού κόστους για έναν πετρελαϊκό οργανισμό. Όπως σε κάθε ανθρώπινη παρέμβαση στη φύση, έτσι και στην περίπτωση των ερευνητικών διαδικασιών υπάρχουν σημαντικά περιβαλλοντικά ρίσκα τα οποία οι πετρελαϊκές εταιρίες οφείλουν και είναι υποχρεωμένες να αντιμετωπίσουν. Η αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων περισσότερο αφορά την πρόληψη και την αποφυγή πρόκλησης ρύπανσης στα θαλάσσια περιβάλλοντα όπου και πραγματοποιούνται οι ερευνητικές διαδικασίες, είτε πρόκειται για έρευνες με χρήση σεισμικών κυμάτων, είτε πρόκειται για ερευνητικές γεωτρήσεις (wildcats).

Οι έρευνες που πραγματοποιούνται με τη χρήση σεισμικών πηγών (airguns) επηρεάζουν κυρίως τον έμβιο κόσμο στο θαλάσσιο περιβάλλον και δεν προκαλούν κάποια αξιοσημείωτη ρύπανση. Ωστόσο, είναι σημαντική η προστασία των ψαριών και των θαλάσσιων θηλαστικών καθώς από τις σεισμικές έρευνες είναι πιθανή η πρόκληση σημαντικού τραυματισμού της ακοής, αίσθηση που χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό από την πλειοψηφία των θαλάσσιων όντων. Η αποφυγή τέτοιων τραυματισμών είναι εφικτή με διαδικασίες όπως η σταδιακή αύξηση της έντασης των παραγόμενων σεισμικών παλμών και η διαρκής παρακολούθηση της υπό έρευνα περιοχής από ειδικό προσωπικό.

Στην περίπτωση των γεωτρητικών ερευνητικών διαδικασιών η κατάσταση είναι πιο περίπλοκη και απαιτεί μεγαλύτερης προσοχής. Πέραν των καυσαερίων που παράγονται κατά τη διάνοιξη της γεώτρησης και του κινδύνου διαρροής υδρογονανθράκων, που αποτρέπεται με τη χρήση Blow-out Preventer (BOP), η σημαντικότερη περιβαλλοντική απειλή εντοπίζεται στο χρησιμοποιημένο γεωτρητικό πολφό και στην απόρριψη αυτού. Στην περίπτωση των water-based πολφών, η απόρριψη συνήθως μπορεί να γίνει κατόπιν επεξεργασίας απευθείας στο θαλάσσιο περιβάλλον ακίνδυνα. Ωστόσο, στις περιπτώσεις των oil-based και synthetic-based χρειάζονται πιο περίπλοκες και χρονοβόρες διαδικασίες επεξεργασίας προκειμένου η απόρριψη να πραγματοποιηθεί με ασφάλεια και σεβασμό προς το περιβάλλον. Η σημαντικότερη αφορά το διαχωρισμό της ρευστής από την στερεή φάση. Κατόπιν διαχωρισμού, η κάθε φάση μπορεί να απορριφθεί ή να επαναχρησιμοποιηθεί, ανάλογα με τη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, το σχεδιασμό και το πλάνο του οργανισμού που πραγματοποιεί τη γεώτρηση.

Σε κάθε περίπτωση, τα περιβαλλοντικά ρίσκα είναι υπαρκτά αλλά και σε μεγάλο ποσοστό αντιμετωπίσιμα. Αναμφίβολα, θα υπάρξουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις δραστηριότητες που αφορούν την έρευνα για υδρογονάνθρακες. Ωστόσο, είναι χρέος των εταιριών ο μετριασμός αυτών και ο σεβασμός προς το θαλάσσιο περιβάλλον στο σύνολό του.

Βιβλιογραφία

A.N. Popper, M. H. (2009). The effects of human generated sound on fish. Στο M. H. A.N. Popper.

accobams.org. (n.d.). ACCOBAMS. Ανάκτηση Οκτώβριος 2020, από ACCOBAMS: <https://accobams.org/>

Alfarsi, H. (2018). *Profolus*. Ανάκτηση από Profolus: <https://www.profolus.com/topics/types-oil-and-gas-exploration-methods/>

Amani, M., Shadravan, A., & Al-Jubouri, M. (2012, January). Comparative Study of Using Oil-Based Mud Versus Water-Based Mud in HPHT Fields. *ResearchGate*.

American Petroleum Institute(API). (2013). *Seismic Surveys and Marine Mammals*.

Andre, M. (2011). Στο Andre, Sole, Lenoir, Durfort, Quero, Mas, και συν., *Low-Frequency Sounds Induce Acoustic Trauma In Cephalopods*. (σσ. 489-493).

Buckstaff, K. (2004). Effects of watercraft noise on the acoustic behavior of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Sarasota Bay, Florida. *Marine Mammal Science*, σσ. 709-725.

Carroll, A., Przeslawski, R., Duncan, A., Gunning, M., & Bruce, B. (2016, Νοέμβριος). A critical review of the potential impacts of marine seismic survey on fish and invertebrates. *Marine Pollution Bulletin*.

Christian, J., Mathieu, A., & Thompson, D. (2003). Effects Of Seismic Energy On Snow Crabs. *Environmental Funds Project No.144*.

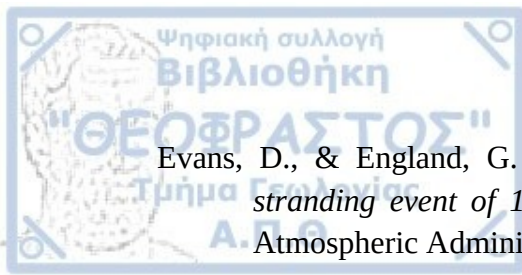
Cook, M. (2006). *Behavioral and Auditory Evoked Potential (AEP) hearing measurements in odontocete cetaceans*. (Ph.D. dissertation). St. Petersburg: University of South Florida.

Costa, D., Crocker, D., & Gedamke, J. (2003). The effect of low-frequency sound source on the diving behaviour of juvenile northern elephant seals. *Journal of the Acoustic Society of America*. 113, σσ. 1155-1165.

Cranford, P., & Lee, K. (2002). Interactions between Offshore Oil and Gas operations and the Marine Environment. *ResearchGate*.

Crum, L., & Mayo, Y. (1996). Acoustically enhanced bubble growth at low frequencies and its implications for human diver and marine mammal safety. *Acoustic Society*, σσ. 2898-2907.

DolphinCommunicationProject. (2006, Αύγουστος 22). *Dolphin Communication Project*. Ανάκτηση Σεπτέμβριος 17, 2020, από www.dolphincommunicationproject.org



Evans, D., & England, G. (2001). *Joint interim report Bahams marine mammal stranding event of 15-16 March 2000*. Ουάσινγκτον: National Oceanic and Atmospheric Administration and the Department of the Navy.

Fewtrell, J., & McCauley, R. (2012). Impact of air gun noise on the behaviour of marine fish and squid. *Marine Pollution Bulletin* 64, σσ. 984-993.

Finneran, J., & Schlundt, C. (2013). *Temporary threshold shift (TTS) in odontocetes in response to multiple air gun impulses*.

G.E. Parkes, L. (1986). Στο L. H. G.E. Parkes, *The Marine Seismic Source*. Springer Netherlands.

Gentry, R. (2002). *Mass stranding of Beaked whales in the Galapagos Islands*.

Gisiner, R. C. (2016). Sound And Marine Seismic Surveys. *Acoustics Today*.

Gordon, J., Frantzis, A., Potter, J. R., & Simmonds, M. (2003, Δεκέμβριος). A Review Of The Effects Of Seismic Surveys On Marine Mammals. *Marine Technology Society Journal*.

Hassel, A., Knutsen, T., Dalen, J., & et al. (2004). Influence of seismic shooting on the lesser sandeel. *ICES J. Mar.Sci.* 61, σσ. 1165-1173.

Hawkins , A., & Popper, A. (2014). Assessing The Impacts Of Underwater Sounds On Fish And Other Forms Of Marine Life. *Acoustics Today* 10, σσ. 30-41.

Houghton, P. (2011). Looking Beyond Just Seismic! Gravity Gradiometry and Its Application in Complex. *Geo ExPro*.

Hughes, B. (1995). Drilling Engineering Workbook. Στο *Drilling Engineering Workbook : A Distributed Learning Course* (σσ. 2-3). Houston: INTEQ.

I.M.O. (n.d.). I.M.O. Ανάκτηση 2020, από I.M.O.: [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-on-Oil-Pollution-Preparedness,-Response-and-Co-operation-\(OPRC\).aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-on-Oil-Pollution-Preparedness,-Response-and-Co-operation-(OPRC).aspx)

Ismail, A., & Alias, A. (2017, Μάρτιος 20). Drilling fluid waste management in drilling for oil and gas wells. *Chemical Engineering Transactions*.

IWC (International Whaling Commission). (2007). Report of the Scientific Committee. Report of the Standing Working Group on Environmental Concerns. *Journal of Cetacean Research and Management*. 9 , σσ. 272-296.

J. Caldwell, W. D. (2000). A brief overview of seismic air-gun arrays. Στο W. D. J. Caldwell, *Geophysics* (σσ. 898-902).

Kassinis, S. (2015). *About Oil & Gas. Petrochemistry,Upstream,Midstream and Downstream*.

- Kastelein, R. A., Helder-Hoek, L., & Van de Voorde, S. (2017, Οκτώβριος). Temporary hearing threshold shift in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after exposure to multiple airgun sounds. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 142, σσ. 2430-2442.
- Kavanagh, A., Nykanen, M., Hunt, W., & Richardson, N. (2019, Δεκέμβριος 16). Seismic surveys reduce cetacean sightings across a large marine ecosystem. *Scientific Reports*. 9.
- Lake, L. (n.d.). *PetroWiki*. Ανάκτηση 2021, από PetroWiki: https://petrowiki.spe.org/PEH:Drilling_Fluids#Environmental_Considerations
- Landro M., A. L. (2011). High-frequency signals from air-gun arrays. *Geophysics* 76.
- Lesage, V., & Barrette, C. (1999). The effect of vessel noise on the vocal behavior of belugas in the St. Lawrence River Estuary, Canada. *Marine Mammal Science*. 15, σσ. 65-84.
- Malakoff, D. (2002). Suit ties whale deaths to research cruise. *Science*.
- Massa, F. (1989, Νοέμβριος). Sonar Transducers: A History. Στο F. Massa, *Sea Technology*.
- McCauley, R. (2003). Στο McCauley, Fewtrell, & Popper, *High Intensity Anthropogenic Sound Damages Fish Ears* (σσ. 638-642).
- Mishra, T. (2020, Οκτώβριος 21). *Trenchless Pedia*. Ανάκτηση από Trenchless Pedia: <https://www.trenchlesspedia.com/disposal-of-used-drilling-fluid/2/4341>
- Mishra, T. (2021, Αύγουστος 23). *TrenchlessPedia*. Ανάκτηση από Trenchless Pedia: <https://www.trenchlesspedia.com/the-key-principles-of-effective-solids-control/2/4737>
- Montgomery, J. (2006). Sound as an orientation cue for the pelagic larvae of red fish and decapod crustaceans. Στο J. Montgomery, *Advances In Marine Biology* (σσ. 143-196). Academic Press.
- Nowacek, D., & et al. (2015). Marine seismic surveys and ocean noise: time for coordinated and prudent planning. *Ecol Environ*.
- Petrowiki. (2015). *Petrowiki*. Ανάκτηση από Petrowiki: https://petrowiki.spe.org/Drilling_fluid_types
- Popper, A. (2005). Στο Popper, Smith, Cott, Hanna, MacGillivray, Austin, και συν., *Effects Of Exposure To Sesmic Airgun Use On Hearing Of Three Fish Species* (σσ. 3958-3971).



Popper, A., & et al. (2014). *Sound Exposure Guidelines For Fishes And Sea Turtles: A Technical Report Prepared by ANSI-Accredited Standards Committee*. Springer International Publishing.

Rassenfoss, S. (2016, Ιανουάριος 1). Offshore Seismic Feeling Pressures to Change. *JPT - Journal Of Petroleum Technology*.

Reichmuth, C., Ghoul, A., & Sills, J. (2016, Οκτώβριος). Low-frequency temporary threshold shift not observed in spotted or ringed seals exposed to single air gun impulses. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 140, σσ. 2646-2646.

Reichmuth, C., Southall, B., & Bergman, A. G. (2015, Σεπτέμβριος). Temporary threshold shift not found in ice seals exposed to single airgun impulses. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 138, σσ. 1760-1760.

Romano, T., Keogh, M., Kelly, C., & Fenk, P. (2004). Anthropogenic sound and marine mammal health: Measures of the nervous and immune systems before and after intense sound exposure. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 61, σσ. 1124-1134.

Santulli, A., Modica, A., & et al. (1999). Biochemical responses of European sea bass to the stress induced by offshore experimental seismic prospecting. *Marine Pollution Bulletin* 38, σσ. 1105-1114.

Schlumberger. (2020). *Schlumberger*. Ανάκτηση 2020, από Schlumberger Oilfield Glossary: <https://www.glossary.oilfield.slb.com/en/terms/b/bop>

Shuixiang, X., Wen, R., & Chuan, Q. (2018). An Electrochemical adsorption method for the reuse of water-based drilling fluids. *ScienceDirect*.

Slabbekoorn, H. (2016). Aiming for progress in understanding noise impact on fish: complementary need for indoor and outdoor studies. Στο H. Slabbekoorn, *The Effects Of Noise On Aquatic Life II* (σσ. 1057-1065). Νέα Υόρκη: Springer.

Smith, M. (2016). Relationship between hair cell loss and hearing loss in fishes. Στο M. Smith, *The Effects Of Noise On Aquatic Life II* (σσ. 1067-1074). Springer.

Society of Petroleum Engineers, & PetroWiki. (n.d.). *PetroWiki*. Ανάκτηση 2020, από PetroWiki: https://petrowiki.org/Drilling_fluid_types

Soto, N., Johnson, M., Madsen, P., & Tyack, P. (2006). Does intense ship noise disrupt foraging in deep-diving Cuvier's beaked whales? *Marine Mammal Science*. 22, σσ. 690-699.

Stone, C., & Tasker, M. (2006). The effect of seismic airguns on cetaceans in UK waters. *Journal of Cetacean Research and Management*. 8, σσ. 255-263.

Todd, S., & Stevick, P. (1996). Behavioural effects to underwater explosions in humpback whales. *Canadian Journal of Zoology*. 74, σσ. 1661-1672.

Trenchlesspedia. (2020, Ιανουάριος 10). *Trenchlesspedia*. Ανάκτηση από <https://www.trenchlesspedia.com/>:
<https://www.trenchlesspedia.com/definition/4566/synthetic-based-drilling-mud-sbm>

Weilgart, L. S. (2007). A brief review of known effects of noise on marine mammals. *International Journal Of Comparative Psychology*. 20, σσ. 159-1668.

Wikipedia. (n.d.). *Wikipedia*. Ανάκτηση 2020, από MARPOL 73/78: https://en.wikipedia.org/wiki/MARPOL_73/78

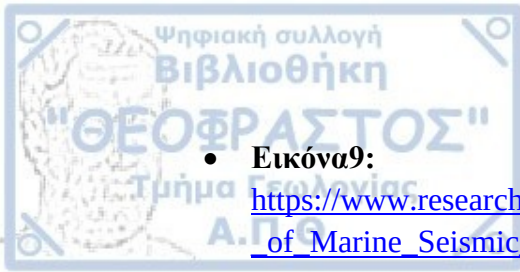
Γεωργακόπουλος, Α. (n.d.). *Κοιτασματολογία Πετρελαίου*. Θεσσαλονίκη.

Ελληνικό Κεντρο Θαλάσσιων Ερευνών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, & Arcenviro. (2016). *Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Για Την Έρευνα Και Εκμετάλλευση Υδρογονανθράκων*.

Μαρκιανός-Δανιόλος, Ι. (2013). Η συμβολή του Δημόσιου Ναυτικού Δικαίου στην ποιοτική ναυτιλία. *Ναυτικά Χρόνια*, σσ. 72-78.

Πηγές Εικόνων

- **Εικόνα1:** <http://www.oil-gasportal.com/upstream/petroleum-exploration/>
- **Εικόνα2:** <https://www.sercel.com/products/Pages/g-gun-2.aspx>
- **Εικόνα3:** <https://www.rambuenergy.com/2015/02/krisenergy-begins-2d-seismic-recording-in-west-papua/>
- **Εικόνα4:** [https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/GG_Geophysik/Marine_Geophysik/Seismik/Bilder/interpretation1_p_en.html?view=render\[NeuesFenster\]](https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/GG_Geophysik/Marine_Geophysik/Seismik/Bilder/interpretation1_p_en.html?view=render[NeuesFenster])
- **Εικόνα5:** https://www.researchgate.net/publication/260638943_High-frequency_signals_from_air-gun_arrays
- **Εικόνα6:** <https://www.geoexpro.com/articles/2010/01/marine-seismic-sources-part-I>
- **Εικόνα7:** https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Airgun-array_hg.png
- **Εικόνα8:** https://www.researchgate.net/publication/274520752_Brief_overview_of_seismic_air-gun_arrays



- **Εικόνα9:** https://www.researchgate.net/publication/319879591_Bond_Graph_Modelling_of_Marine_Seismic_Cables
- **Εικόνα10:** https://www.researchgate.net/publication/311441406_A_critical_review_of_the_potential_impacts_of_marine_seismic_surveys_on_fish_invertebrates
- **Εικόνα11:** https://www.researchgate.net/publication/233685851_A_Review_of_The_Effects_of_Seismic_Surveys_on_Marine_Mammals
- **Εικόνα12:** <https://www.subsea.org/drilling-rigs/>
- **Εικόνα13:**
 - α) https://glossary.oilfield.slb.com/Terms/b/blowout_preventer.aspx
 - β) <https://www.txintlfreight.com/blow-out-preventer-oil-and-gas-logistics/>
- **Εικόνα14:** <https://www.britannica.com/technology/drilling-mud>
- **Εικόνα15:** https://petrowiki.spe.org/PEH:Drilling_Fluids#Environmental_Considerations
- **Εικόνα16:** <http://eng.woomintech.com/mud-treatment-system/>
- **Εικόνα17:** <https://www.jaspereng.com/basics-of-a-hydrocyclone/>
- **Εικόνα18:** https://en.wikipedia.org/wiki/Mud_cleaner