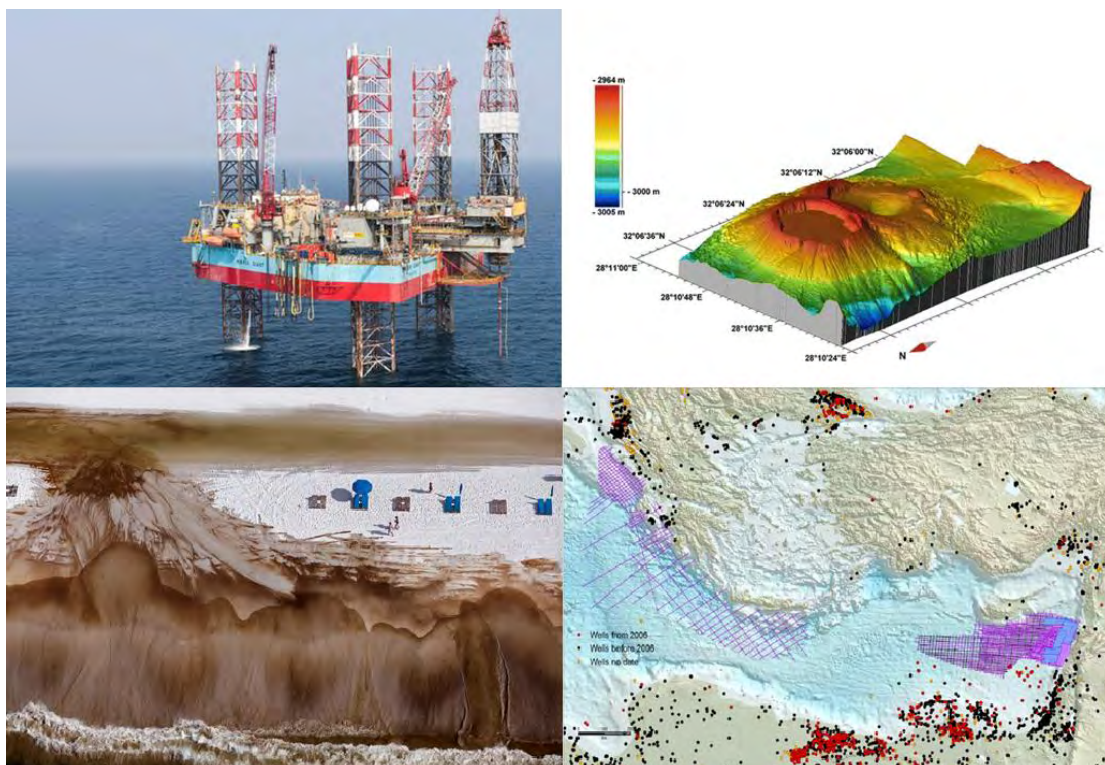




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Γεωκίνδυνοι και περιβαλλοντικές επιπτώσεις εξόρυξης  
υποθαλάσσιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων. Η περίπτωση  
της νοτιοανατολικής Μεσογείου»**



**Παναγιώτης Π. Βεργούλης**

*Μηχανικός Μεταλλείων- Μεταλλουργός Ε.Μ.Π.*

*MSc Περιβάλλον και Ανάπτυξη Ε.Μ.Π.*

**Επιβλέπων Καθηγητής: Εφραιμίδης Γεώργιος**

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των  
απαιτήσεων για την απόκτηση του  
Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

**Βόλος, 2020**

© 2020 Παναγιώτης Βεργούλης

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Η παρούσα εργασία εγκρίθηκε από τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής:

.....  
Εφραιμίδης Γεώργιος,  
Επίκ. Καθηγητής Π.Θ.

.....  
Καλλιόγλου Πολυξένη,  
Λέκτορας Π.Θ.

.....  
Κατσαρδή Βανέσσα,  
Επικ. Καθηγήτρια Π.Θ.

Βόλος, 2020

*Στον παππού μου,  
Παναγιώτη*

## Ευχαριστίες

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με την βοήθειά τους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα κ. Γεώργιο Εφραιμίδη, Επίκουρο Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την πολύτιμη καθοδήγησή του, την εμπιστοσύνη και τη συνεχή υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια της ερευνητικής διαδικασίας, καθώς επίσης και για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος που μου έδωσε την δυνατότητα να ασχοληθώ με έναν ιδιαίτερα ενδιαφέροντα επιστημονικό τομέα.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα δύο μέλη της τριμελούς επιτροπής την Λέκτορα κα. Πολυξένη Καλλιόγλου και την Επίκουρη Καθηγήτρια κα. Βανέσσα Κατσαρδή για την βοήθειά τους.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την υποστήριξή τους σε ολόκληρο το διάστημα των σπουδών μου και την Μάρω Πανάγου για την αμέριστη και ουσιαστική συμπαράστασή της καθ' όλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου αυτής.

# **Γεωκίνδυνοι και περιβαλλοντικές επιπτώσεις εξόρυξης υποθαλάσσιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων. Η περίπτωση της νοτιοανατολικής Μεσογείου.**

Παναγιώτης Βεργούλης

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Επιβλέπων Καθηγητής: Εφραιμίδης Γεώργιος, Επίκουρος Καθηγητής Π.Θ.

## **Περίληψη**

Αντικείμενο της παρούσας διεπιστημονικής διπλωματικής εργασίας, που εκπονήθηκε στο πλαίσιο των προπτυχιακών σπουδών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, είναι η παρουσίαση των κύριων υποθαλάσσιων γεωκινδύνων, καθώς επίσης και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της εκμετάλλευσης υποθαλάσσιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων. Σκοπός της εργασίας είναι η διεπιστημονική προσέγγιση του θέματος. Αναλυτικότερα, στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια εισαγωγή αναφορικά με τα υποθαλάσσια κοιτάσματα υδρογονανθράκων και τα διαφορετικά είδη θαλάσσιων εξεδρών εξόρυξης. Στη συνέχεια, στο κεφάλαιο 2 περιγράφονται οι κύριοι υποθαλάσσιοι γεωκίνδυνοι, δηλαδή οι υποθαλάσσιες κατολισθήσεις, οι σεισμοί, τα τσουνάμι, οι υδρίτες αερίων και τα ηφαίστεια ιλύος. Στο κεφάλαιο 3 γίνεται αναφορά στα μεγαλύτερα ατυχήματα, που έχουν συμβεί κατά την εξόρυξη υποθαλάσσιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων, τις επιπτώσεις στα οικοσυστήματα, τα μέτρα αποκατάστασης του περιβάλλοντος και την κοινωνική αποδοχή των εξορύξεων τέτοιου τύπου στην Ελλάδα. Στο κεφάλαιο 4, αρχικά πραγματοποιείται μια ιστορική αναδρομή της έρευνας υδρογονανθράκων, που έχει λάβει χώρα στη νοτιοανατολική Μεσόγειο, έπειτα παρουσιάζονται τα κοιτάσματα, η γεωλογία του πετρελαϊκού συστήματος και οι γεωκίνδυνοι της ευρύτερης περιοχής της νοτιοανατολικής Μεσογείου. Τέλος, στο κεφάλαιο των συμπερασμάτων εκτός των προτάσεων για περαιτέρω μελλοντική έρευνα του θέματος, γίνεται μια συγκριτική ανάλυση των περιοχών στις οποίες εντοπίζονται τα σημαντικότερα κοιτάσματα υδρογονανθράκων (και οι αντίστοιχες εξέδρες εξόρυξης) της νοτιοανατολικής Μεσογείου σε σχέση με τους ισχυρότερους γεωκινδύνους των περιοχών αυτών.

# **Geohazards and environmental impacts of mining of offshore hydrocarbon deposits. The southeast Mediterranean Sea case.**

Panagiotis Vergoulis

Department of Civil Engineering, University of Thessaly

Professor: George Efremidis, Assistant Professor, U.Th.

## **Abstract**

The purpose of this interdisciplinary thesis, written as part of the undergraduate studies of the Department of Civil Engineering of the University of Thessaly, is the presentation of the main underwater geohazards, as well as the environmental impacts of the exploitation of underwater hydrocarbon deposits. The purpose of this thesis is the interdisciplinary approach on the subject. More specifically, in the first chapter, there is an introduction to underwater hydrocarbon deposits and the different types of offshore platforms. Then, in chapter 2, there is a description of the main underwater geohazards, i.e. submarine landslides, earthquakes, tsunamis, gas hydrates and mud volcanoes. In chapter 3, there is a report on the biggest accidents that have happened while mining underwater hydrocarbon deposits, the impact on the ecosystems, environmental remedial measures and social acceptance of this kind of mining in Greece. In chapter 4, initially there is a historical overview of hydrocarbon research, which was conducted in the Southeast Mediterranean Sea, then, there is a presentation of the deposits, the geology of the petroleum system and the geohazards of the wider Southeast Mediterranean region. Finally, in the conclusions, besides the suggestions for future, further research on the subject, there is a comparative analysis of the regions with the most important hydrocarbon deposits (and the corresponding mining platforms) of the Southeast Mediterranean Sea to the most important geohazards of these regions.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ..</b>	<b>11</b>
1.1 Εισαγωγή .....	11
1.2 Κοιτάσματα υδρογονανθράκων παγκοσμίως.....	14
1.3 Εξόρυξη υποθαλάσσιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων .....	17
1.4 Θαλάσσιες εξέδρες εξόρυξης υδρογονανθράκων .....	21
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΩΚΙΝΔΥΝΟΙ.....</b>	<b>38</b>
2.1 Εισαγωγή.....	38
2.2 Υποθαλάσσιοι γεωκίνδυνοι και θαλάσσιες εξέδρες εξόρυξης .....	39
2.3 Υποθαλάσσιες κατολισθήσεις.....	46
2.4 Σεισμοί.....	67
2.5 Τσουνάμι.....	68
2.6 Υδρίτες αερίων .....	71
2.6 Ηφαίστεια ιλύος.....	74
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ .....</b>	<b>83</b>
3.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις εξόρυξης υποθαλάσσιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων .....	83
3.2 Ατυχήματα.....	90
3.3 Επιπτώσεις σε οικοσυστήματα .....	95
3.4 Μέτρα αποκατάστασης περιβάλλοντος.....	102
3.5 Κοινωνική αποδοχή εξόρυξης υποθαλάσσιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων στην Ελλάδα 105	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΡΕΥΝΑ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΚΙΝΔΥΝΟΙ ΣΤΗΝ ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ .....</b>	<b>110</b>
4.1 Ιστορική αναδρομή έρευνας υδρογονανθράκων και κοιτάσματα στη νοτιοανατολική μεσόγειο .....	110
4.1.1 Έρευνα υδρογονανθράκων και κοιτάσματα στην Ελλάδα .....	111
4.1.2 Έρευνα υδρογονανθράκων και κοιτάσματα στην Κύπρο .....	120
4.1.3 Έρευνα υδρογονανθράκων και κοιτάσματα στο Ισραήλ και στην Αίγυπτο .....	125
4.2 Γεωλογία πετρελαϊκού συστήματος της Νοτιοανατολικής Μεσογείου .....	133
4.3 Γεωκίνδυνοι στην ευρύτερη περιοχή της Νοτιοανατολικής Μεσογείου .....	142
4.3.1 Υποθαλάσσιες κατολισθήσεις .....	142
4.3.2 Σεισμοί.....	144
4.3.3 Τσουνάμι.....	146



4.3.4 Υδρίτες αερίων.....	150
4.3.5 Ηφαίστεια ιλύος.....	155
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>170</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....</b>	<b>173</b>

**1973, Λευκή Βίβλος No.25, *Petroleum activity and its position in the Norwegian society***

**Οι πετρελαϊκοί πόροι ανήκουν στο Νορβηγικό λαό και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη μιας "ποιοτικά καλύτερης κοινωνίας" σε μακροπρόθεσμη βάση.**

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ

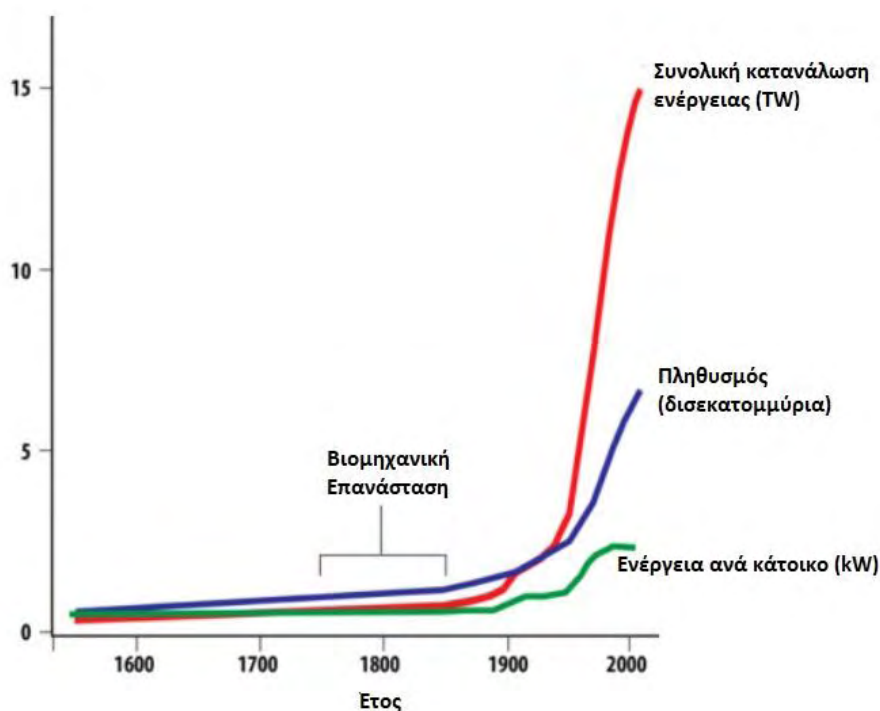
## ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

Πριν από 2.500 χρόνια ο Ηρόδοτος έγραφε: «εἴη δ' ἂν πᾶν, ὄκου καὶ ἐν Ζακύνθῳ ἐκ λίμνης καὶ ὕδατος πίσσαν ἀναφερομένην αὐτὸς ἐγὼ ὤρων. [4.195.3] εἰσὶ μὲν καὶ πλεῦνες αἱ λίμναι αὐτόθι, ἢ δ' ὧν μεγίστη αὐτέων ἐβδομήκοντα ποδῶν πάντη, βάθος δὲ διόργυιός ἐστι.»

«Τίποτε ὁμως δεν αποκλείεται, αφού είδα με τα μάτια μου να βγάζουν πίσσα από τα νερά λίμνης στη Ζάκυνθο, [4.195.3] όπου υπάρχουν και άλλες πολλές λίμνες, κι η πιο μεγάλη τους αυτή που, από όποια μεριά κι αν μετρηθεί, έχει μάκρος εβδομήντα πόδια, ενώ το βάθος της είναι δυο οργιές.»

### 1.1 Εισαγωγή

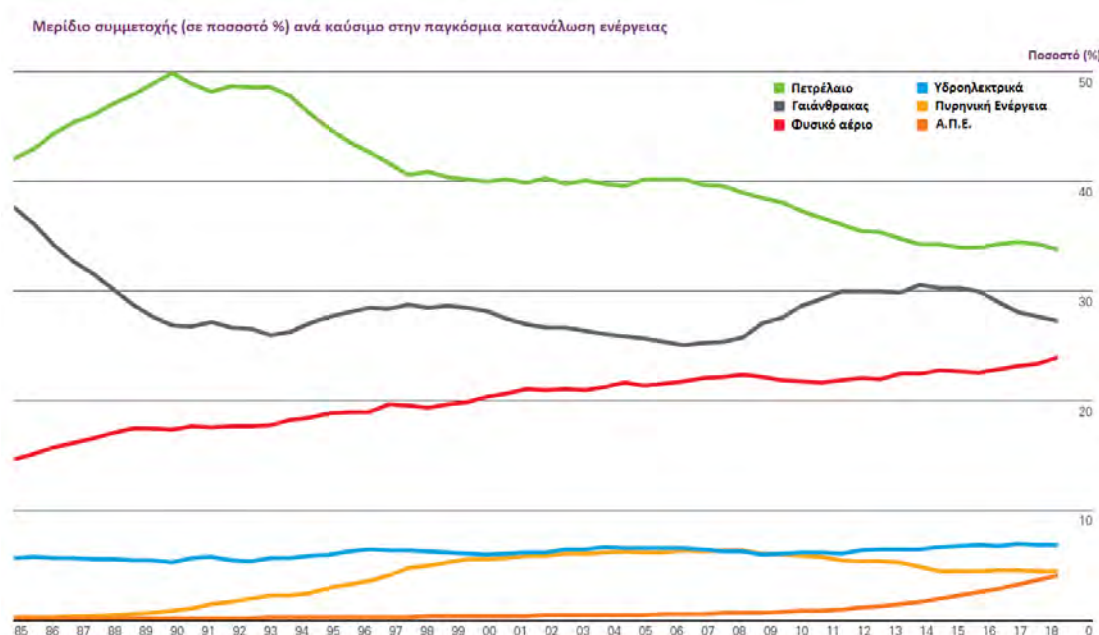
Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού της γης και η σχετική βελτίωση του βιοτικού επιπέδου του ανθρώπου, ειδικά ύστερα από το τέλος της βιομηχανικής επανάστασης, είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (Σταματάκη, 2004), (εικόνα 1).



**Εικόνα 1:** Η πληθυσμιακή εξέλιξη σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας (Πηγή: Morand & Lajaunie, 2018) Ίδια επεξεργασία.

Το πετρέλαιο παραμένει μέχρι και σήμερα η κύρια ενεργειακή πηγή παγκοσμίως (Σταματάκη, 2004), ενώ μαζί με τους γαιάνθρακες, που σημείωσαν μεγάλη πτώση το 2018, και το φυσικό αέριο, που έχει σταθερά ανοδική πορεία,

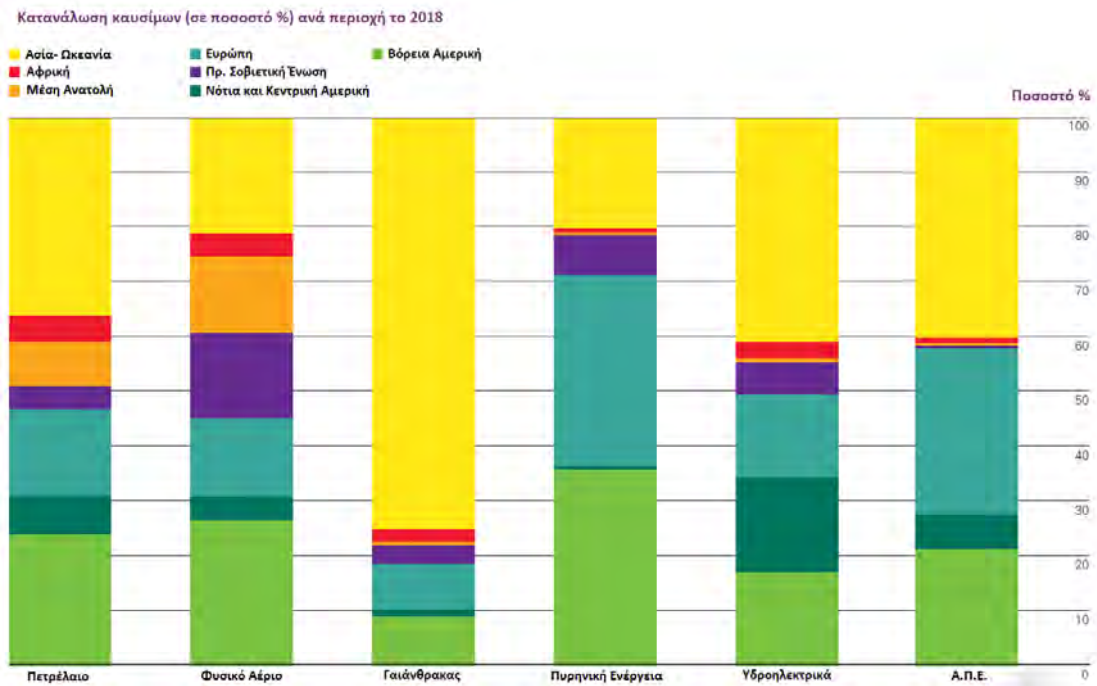
εξυπηρετούν περισσότερο από το 80% των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών, (εικόνα 2), (British Petroleum, 2019).



**Εικόνα 2:** Μερίδιο συμμετοχής ανά καύσιμο στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας (Πηγή: British Petroleum, 2019) Ίδια επεξεργασία.

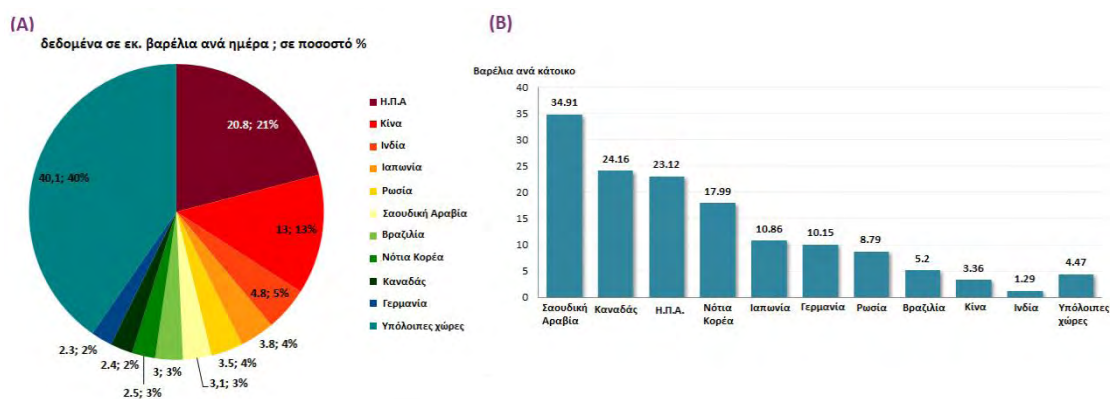
Οι υδρογονάνθρακες χρησιμοποιήθηκαν από την ανθρωπότητα από τους αρχαιότερους χρόνους για διάφορες χρήσεις (Γεωργακόπουλος, 1990). Στη Βίβλο έγινε για πρώτη φορά αναφορά στο πετρέλαιο, καθώς λέγεται πως ο Νώε πριν την έλευση του κατακλυσμού επάλειψε την Κιβωτό με κάποιο υλικό ασφατικής σύστασης (Μανδαλενάκη, 2016). Επιπρόσθετα, το 480 π.Χ., ο Ηρόδοτος αναφέρει πως στη Ζάκυνθο και συγκεκριμένα στην τοποθεσία Κερί, γινόταν ανάβλυση πετρελαίου (Νικολάου, 2001). Ωστόσο, και στη Μεσοποταμία κοντά στην πόλη Χιτ του Ευφράτη ποταμού, οι Σουμέριοι, οι Ασσύριοι και οι Βαβυλώνιοι, πριν από τουλάχιστον 5.000 χρόνια, χρησιμοποιούσαν τις μεγάλες επιφανειακές διαρροές πετρελαίου της περιοχής (Γιαλούρης & Καρύδης, 2010).

Όπως φαίνεται στην εικόνα 3, το 2018 η κατανάλωση πετρελαίου της Ασίας της Ωκεανίας και της Βόρειας Αμερικής άγγιξε το 60% της παγκόσμιας κατανάλωσης πετρελαίου. Η συντριπτική πλειοψηφία των γαιανθράκων χρησιμοποιήθηκε για παραγωγή ενέργειας στην Ασία και σχεδόν τα δύο τρίτα της πυρηνικής ενέργειας, παγκοσμίως, παράχθηκαν στην Βόρεια Αμερική (British Petroleum, 2019).



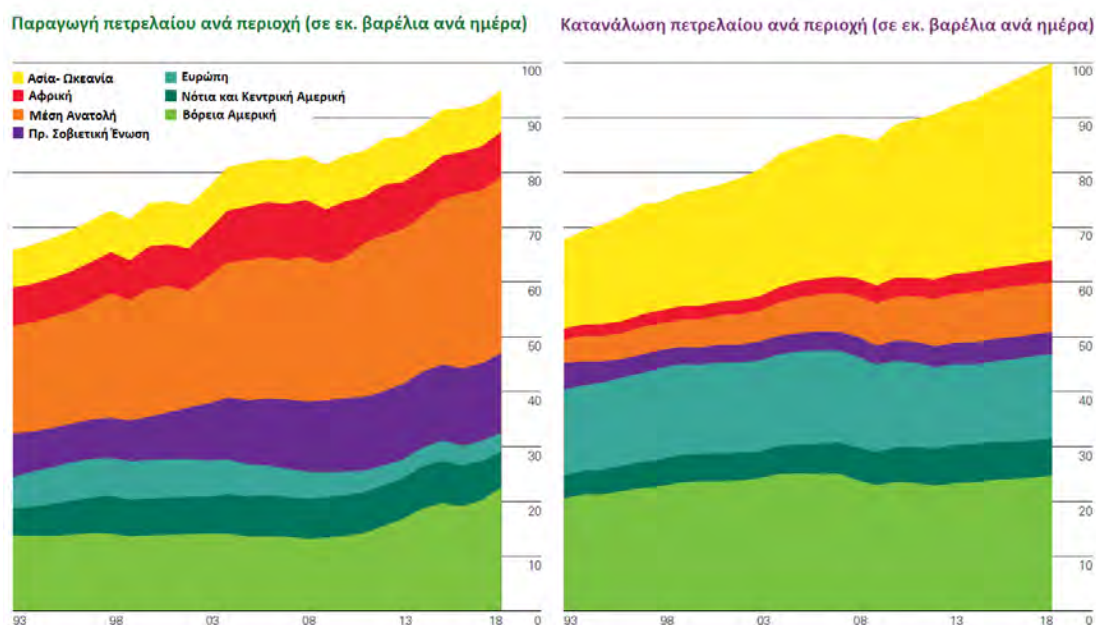
**Εικόνα 3:** Κατανάλωση καυσίμων ανά περιοχή το 2018 (Πηγή: British Petroleum, 2019) Ίδια επεξεργασία.

Αναφορικά με την κατανάλωση πετρελαίου σε επίπεδο κρατών, παρουσιάζονται τα επόμενα δυο σχήματα. Αξίζει να σημειωθεί πως η Κίνα αν και είναι η δεύτερη χώρα σε κατανάλωση, με περίπου 13 εκ. βαρέλια πετρελαίου ημερησίως, κατατάσσεται 9<sup>η</sup> στην αντίστοιχη κατάταξη κατανάλωσης ανά κάτοικο, εξαιτίας του εξαιρετικά μεγάλου πληθυσμού της (εικόνα 4), (Eni, 2019).



**Εικόνα 4:** Κατανάλωση πετρελαίου των δέκα χωρών με την υψηλότερη κατανάλωση πετρελαίου σε παγκόσμια κλίμακα: (A) ανά χώρα και (B) ανά κάτοικο της κάθε χώρας (Πηγή: Eni, 2019) Ίδια επεξεργασία.

Τέλος, όπως γίνεται αντιληπτό από την ανάγνωση της εικόνας 5, η μεγαλύτερη παραγωγή πετρελαίου σε παγκόσμια κλίμακα πραγματοποιείται στην περιοχή της Μέσης Ανατολής, την στιγμή κατά την οποία η μέγιστη κατανάλωση αφορά την διαρκώς και με ταχύτατους ρυθμούς αναπτυσσόμενη οικονομία της Ασίας.



**Εικόνα 5:** Παραγωγή και κατανάλωση πετρελαίου ανά περιοχή (Πηγή: British Petroleum, 2019) Ίδια επεξεργασία.

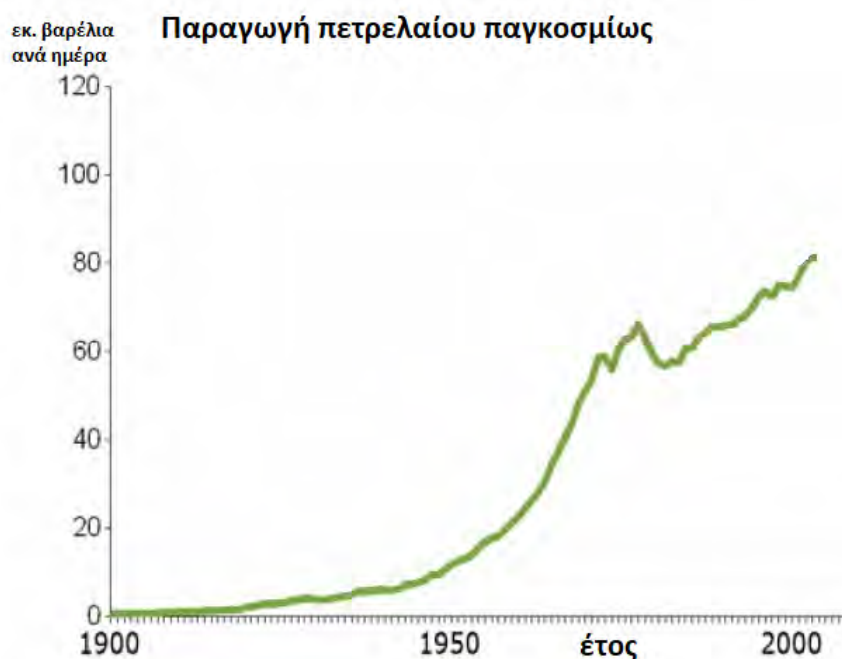
## 1.2 Κοιτάσματα υδρογονανθράκων παγκοσμίως

Κάθε πετρελαϊκό σύστημα διαθέτει: α) μητρικά πετρώματα, που υπό κάποιες προϋποθέσεις γεννούν τους υδρογονάνθρακες, β) ταμιευτήρες (είναι γνωστοί και ως «δεξαμενή» του κοιτάσματος), που αποθηκεύουν τους υδρογονάνθρακες, γ) παγίδες, που συγκεντρώνουν και διατηρούν περιορισμένους τους υδρογονάνθρακες σε ορισμένες περιοχές και δ) κάλυμμα- αδιαπέρατο πέτρωμα (cap rock), που σφραγίζει στεγανοποιώντας και προφυλάσσουν τους υδρογονάνθρακες. (Νικολάου, 2013α). Ιδιαίτερα σημαντικός, για την κατανόηση των παραπάνω εννοιών, είναι ο μηχανισμός της μετανάστευσης του πετρελαίου. Ο μηχανισμός αυτός μέχρι και σήμερα δεν έχει γίνει απόλυτα κατανοητός, ωστόσο είναι κοινά αποδεκτό πως το πετρέλαιο μεταναστεύει από το μητρικό πέτρωμα, σε έναν γεωλογικό σχηματισμό όπου παγιδεύεται (δηλαδή στην παγίδα). Εντυπωσιακό είναι το γεγονός πως πιστεύεται πως το ποσοστό του πετρελαίου, το οποίο παγιδεύεται σε κάποια παγίδα, είναι

μικρότερο του 10% της συνολικής ποσότητας πετρελαίου που δημιουργείται από το μητρικό πέτρωμα (Σταματάκη, 2004).

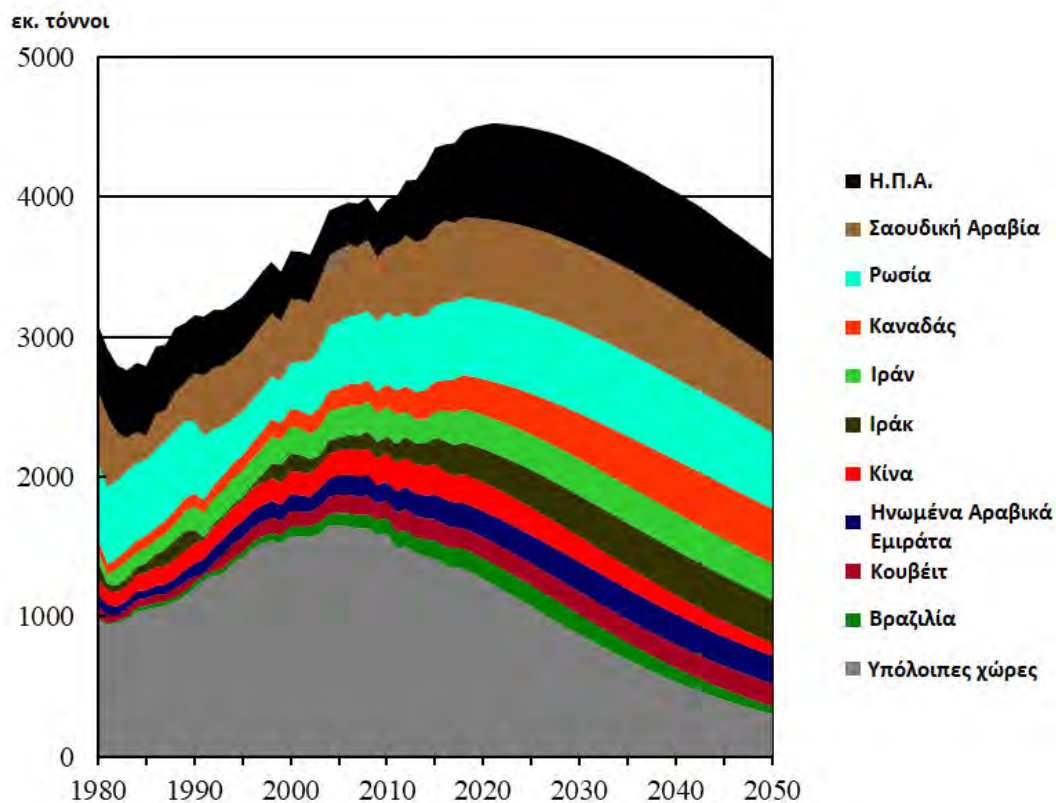
Αξίζει να αναφερθεί πως μόνον οι γεωτρήσεις μπορούν να πιστοποιήσουν τελικά ένα κοιτάσμα υδρογονανθράκων. Οι γεωλογικές, γεωφυσικές και σεισμικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται από τις εταιρίες προκειμένου να βρεθούν οι κατάλληλοι γεωτρητικοί στόχοι και να εντοπιστούν οι πετρελαιοπιθανές περιοχές. Πολύ συχνά πιθανά κοιτάσματα, δηλαδή πόροι που δεν έχουν πιστοποιηθεί ακόμα από καμία γεώτρηση, αναφέρονται ως κοιτάσματα εσφαλμένα, καθώς το ενδεχόμενο να μην υφίστανται είναι υπαρκτό. Ο παράγοντας της αβεβαιότητας επηρεάζει σημαντικά την έρευνα των παγκόσμιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων.

Η πρώτη εξόρυξη πετρελαίου στη σύγχρονη ιστορία θεωρείται ότι έλαβε χώρα το 1859 στην περιοχή Titusville της Pennsylvania από τον Αμερικανό συνταγματάρχη Έντουιν Ντρέικ, ο οποίος άντλησε πετρέλαιο από βάθος περίπου 21 m (Σταματάκη, 2003). Από το 1859 μέχρι το 1873 η μικρή κοιλάδα της δυτικής Πενσυλβανίας μετατράπηκε στην πρώτη πετρελαιοπαραγωγό περιοχή στον κόσμο, αντλώντας 56 εκ. βαρέλια πετρελαίου, (Μπογάτσας, 2011). Από το 1900 και ύστερα, η παραγωγή πετρελαίου εντάθηκε σταδιακά καταγράφοντας συνεχή ανοδική πορεία, πλην ορισμένων εξαιρέσεων όπως η πετρελαϊκή κρίση του 1973 (εικόνα 6).



**Εικόνα 6:** Παραγωγή πετρελαίου παγκοσμίως (Πηγή: Hart, 2015) Ίδια επεξεργασία.

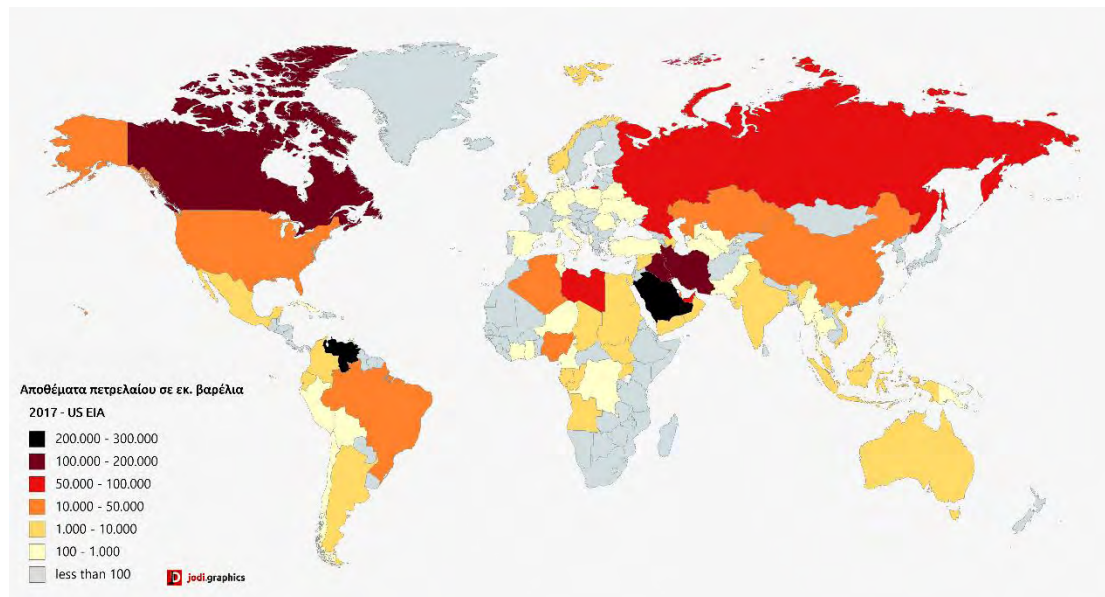
Στην εικόνα 7 φαίνεται η εξέλιξη της παραγωγής πετρελαίου των δέκα μεγαλύτερων πετρελαιοπαραγωγών χωρών από το 1980 μέχρι και το 2018 και η αναμενόμενη πτωτική της πορεία μέχρι το 2050.



**Εικόνα 7:** Παραγωγή πετρελαίου παγκοσμίως από το 1980 έως το 2018 και εκτιμώμενη παραγωγή μέχρι το 2050 (Πηγή: Li, 2018) Ίδια επεξεργασία.

Στον χάρτη της εικόνας 8 παρουσιάζονται οι ποσότητες των επιβεβαιωμένων αποθεμάτων πετρελαίου σε όλο τον κόσμο για το 2018. Παρατηρείται πως τα μεγαλύτερα αποθέματα εντοπίζονται στη Σαουδική Αραβία και τη Βενεζουέλα.

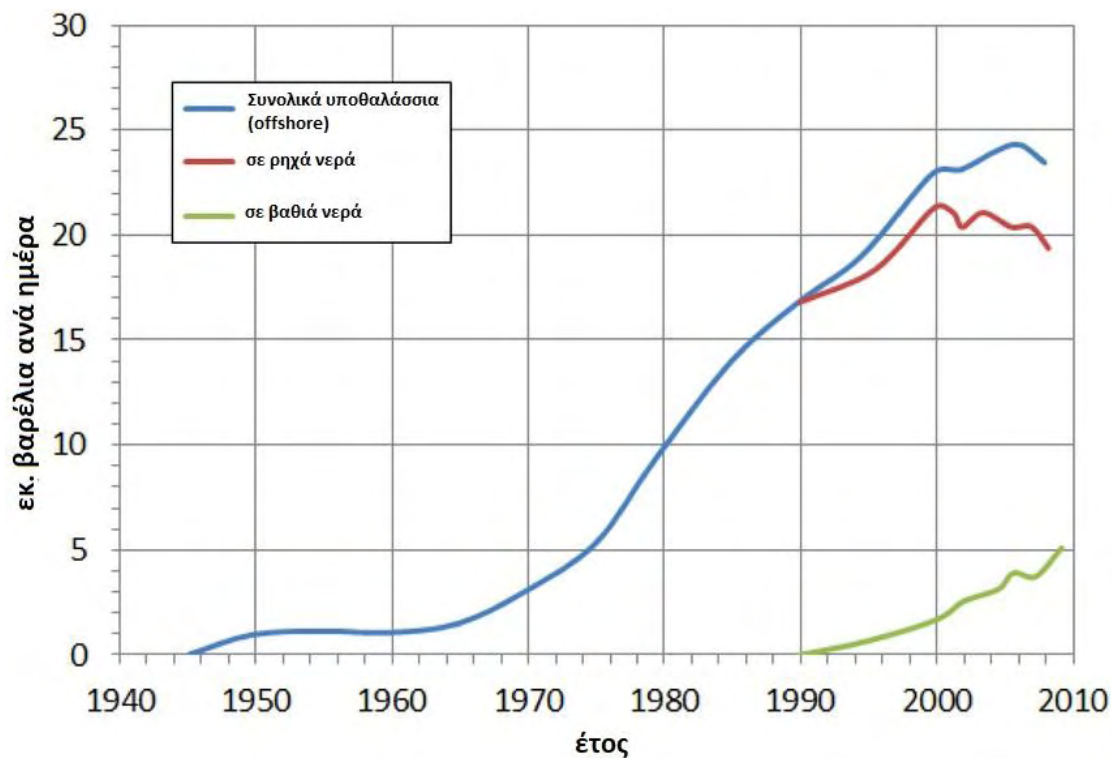




**Εικόνα 8:** Χάρτης με επιβεβαιωμένα αποθέματα πετρελαίου των χωρών σε εκ. βαρέλια (Πηγή: Bullough, 2019) Ίδια επεξεργασία.

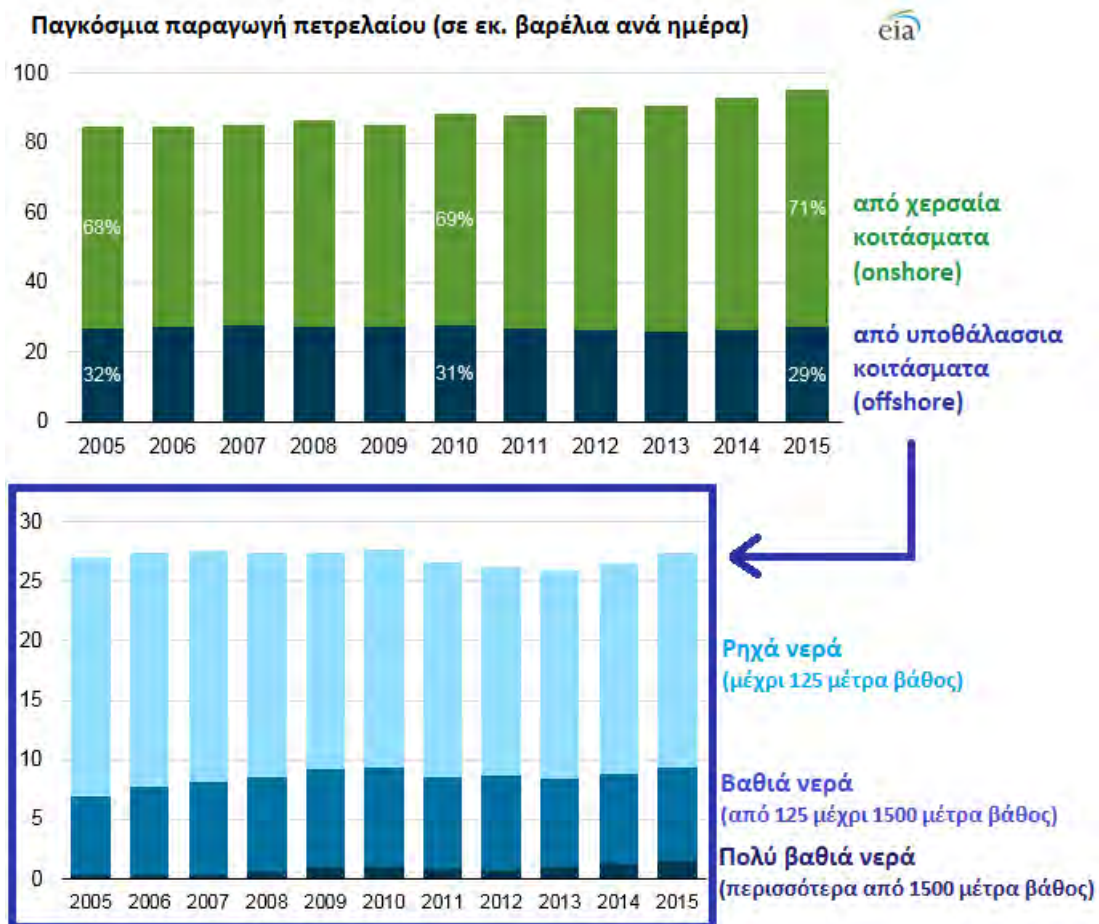
### 1.3 Εξόρυξη υποθαλάσσιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων

Με κίνητρο την συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια παγκοσμίως, η αναζήτηση υδρογονανθράκων σταδιακά σταμάτησε να περιορίζεται σε μικρά βάθη υπεδάφους, καθώς παράλληλα η τεχνολογία εξελισσόταν επιτρέποντας γεωτρήσεις που στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα θεωρούνταν ανέφικτες (Καρατζά, 2016). Εξαιτίας της μείωσης των χερσαίων αποθεμάτων υδρογονανθράκων, το ενδιαφέρον αναπόδραστα στράφηκε προς τα υποθαλάσσια κοιτάσματα (Παπαμάλαμα, 2019). Ύστερα από το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες υποθαλάσσιες γεωτρήσεις άντλησης πετρελαίου, που αρχικά αφορούσαν μικρά βάθη θάλασσας και εντός των σχετικών υφαλοκρηπίδων (μέχρι 125 m), (Γουλιέλμος, 1997). Εντούτοις, από τις αρχές της δεκαετίας του ενενήντα η τεχνολογία επέτρεψε την εκμετάλλευση κοιτασμάτων σε μεγαλύτερα βάθη, με αποτέλεσμα σήμερα να υπάρχουν υποθαλάσσιες γεωτρήσεις σε βάθος θάλασσας ακόμα και μεγαλύτερο από 1.500 m (εικόνα 9), (Καρατζά, 2016).



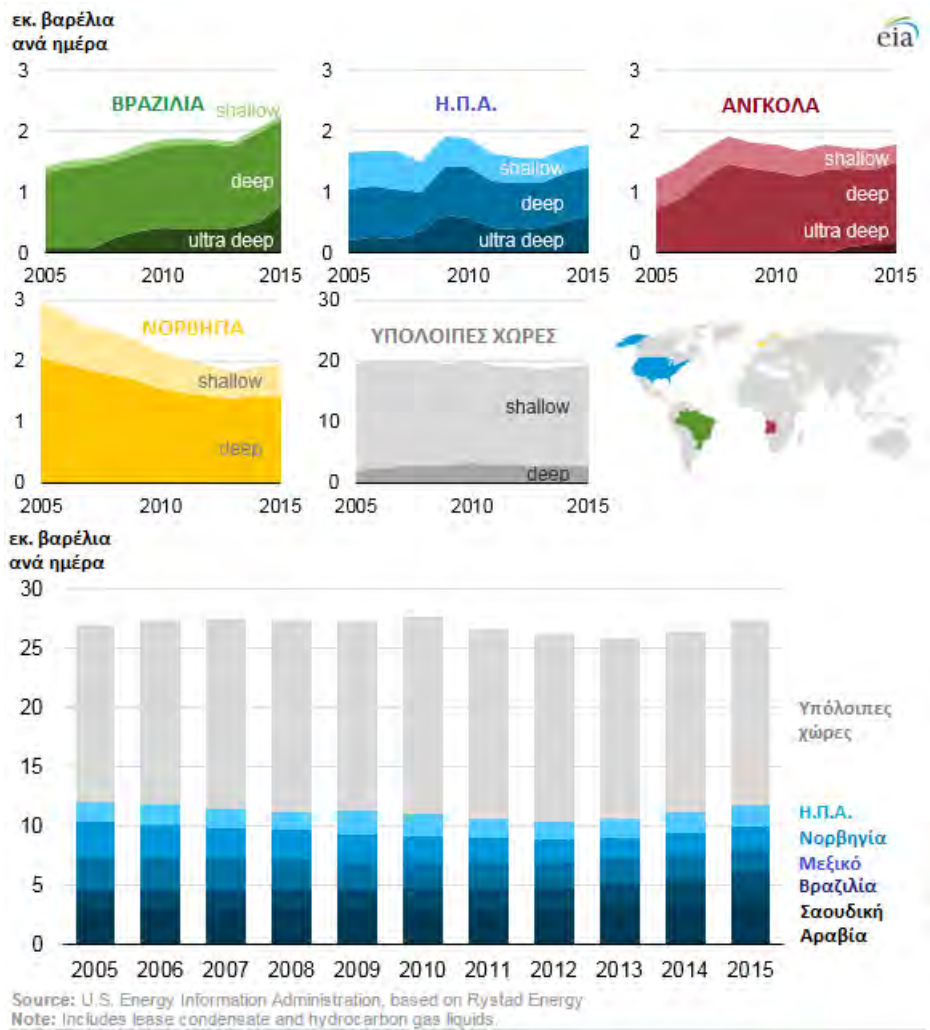
**Εικόνα 9:** Παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου προερχόμενη από υποθαλάσσια κοιτάσματα (Πηγή: Spagnoli, et. al., 2015) Ίδια επεξεργασία.

Καθίσταται σαφές, παρατηρώντας την εικόνα 10, πως η παραγωγή πετρελαίου από υποθαλάσσια κοιτάσματα είναι σταθερά σχεδόν το ένα τρίτο της αντίστοιχης παραγωγής των χερσαίων, καθώς το κόστος της παραμένει σημαντικά υψηλότερο. Επιπρόσθετα, παρατηρείται πως η εξόρυξη σε μεγάλα βάθη παρουσιάζει ισχνή αυξητική τάση, με εξαίρεση την τριετία που ακολούθησε το μεγάλο ατύχημα της πλατφόρμας Deephorizon στον Κόλπο του Μεξικού, το 2010. Αξίζει να σημειωθεί πως με τον όρο offshore αποδίδεται η επιχείρηση ανακάλυψης και εξόρυξης των υδρογονανθράκων που βρίσκονται κάτω από τον θαλάσσιο πυθμένα (Μπογάτσας, 2011).



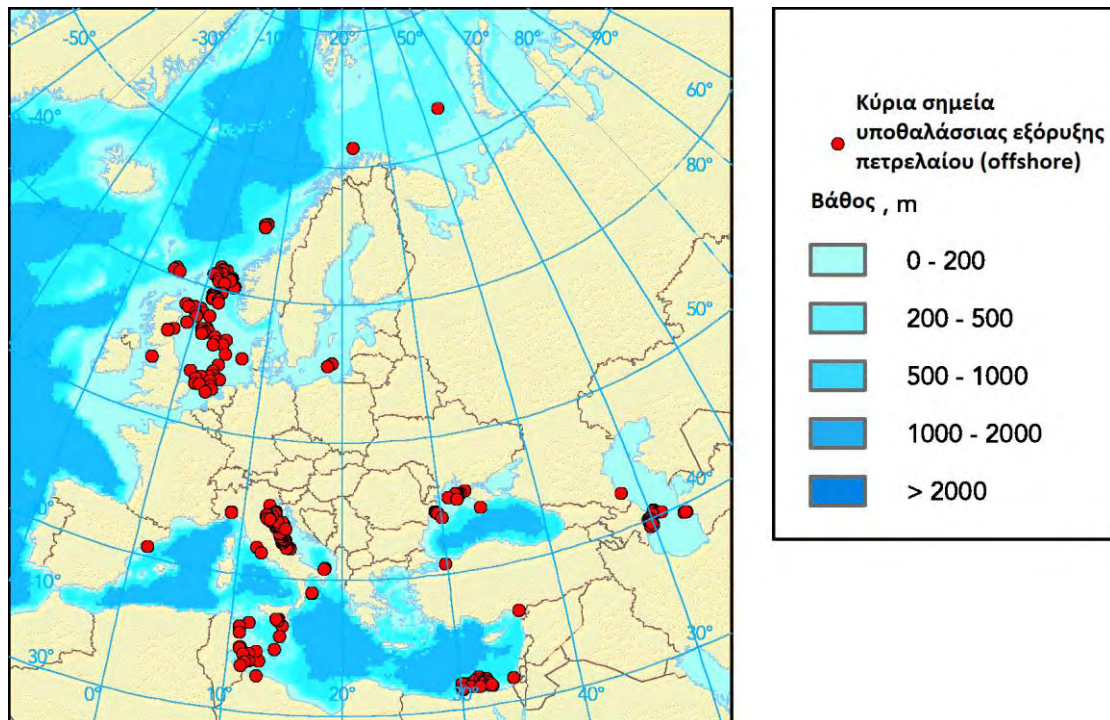
**Εικόνα 10:** Παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου από χερσαία και από υποθαλάσσια κοιτάσματα (Πηγή: Energy Information Administration, 2016) Ίδια επεξεργασία.

Στην εικόνα 11 παρουσιάζεται η ποσότητα παραγωγής πετρελαίου από υπεράκτιες εξέδρες εξόρυξης στη Βραζιλία, στις Ηνωμένες Πολιτείες, στην Αγκόλα, στη Νορβηγία, στο Μεξικό και στη Σαουδική Αραβία.



**Εικόνα 11:** Παραγωγή πετρελαίου από υποθαλάσσια κοιτάσματα ορισμένων χωρών (Πηγή: Energy Information Administration, 2016) Ίδια επεξεργασία.

Τέλος, στην Ευρωπαϊκή Ένωση υπάρχουν σχεδόν 900 υπεράκτιες πλατφόρμες εξόρυξης υδρογονανθράκων, εκ των οποίων οι 486 βρίσκονται στο Ηνωμένο Βασίλειο, 181 στην Ολλανδία, 61 στη Δανία, 2 στη Γερμανία, 2 στην Ιρλανδία, 3 στην Πολωνία (Βόρεια Θάλασσα), 123 στην Ιταλία, 4 στην Ισπανία, 2 στην Ελλάδα (Μεσόγειος), 7 στην Ρουμανία και 1 στη Βουλγαρία (Μαύρη θάλασσα).



**Εικόνα 12:** Κύρια σημεία υποθαλάσσιας εξόρυξης πετρελαίου στην Ε.Ε.  
(Πηγή: European Commission, 2010) Ίδια επεξεργασία.

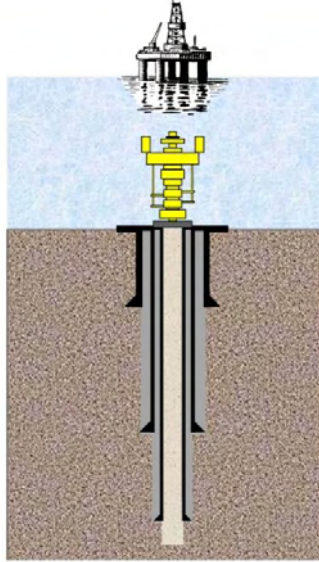
#### 1.4 Θαλάσσιες εξέδρες εξόρυξης υδρογονανθράκων

Η εξόρυξη υποθαλάσσιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων πραγματοποιείται με τη χρήση πλατφορμών εξόρυξης, που αποκαλούνται συχνά και εξέδρες εξόρυξης (Μπογάτσας, 2011). Η πλατφόρμα είναι μια ιδιαίτερα μεγάλη κατασκευή από χάλυβα και σκυρόδεμα, που το βάρος της μπορεί να προσεγγίσει ακόμα και τους εκατοντάδες χιλιάδες τόνους (Deam, 2010). Εντός της πλατφόρμας βρίσκονται το γεωτρύπανο και τα υπόλοιπα μηχανήματα που είναι απαραίτητα για την διάτρηση του υποθαλάσσιου πυθμένα και την άντληση του πετρελαίου του κοιτάσματος, καθώς επίσης εγκαταστάσεις στέγασης του εργατικού δυναμικού και δεξαμενές προσωρινής αποθήκευσης (αρκετές φορές στην πλατφόρμα υπάρχουν και εγκαταστάσεις επεξεργασίας του εξορυσσόμενου πετρελαίου), (Μπογάτσας, 2011).

Η διαδικασία που ακολουθείται για την γεώτρηση ενός υποθαλάσσιου κοιτάσματος διακρίνεται σε 5 βασικά βήματα (εικόνα 13):

1. Τοποθέτηση της σωλήνωσης επένδυσης (conductor),
2. Διάτρηση του φρεατίου, σωλήνωση και τσιμέντωση (surface casing),
3. Τοποθέτηση του μηχανισμού ασφαλείας BOP (blow-out preventer),

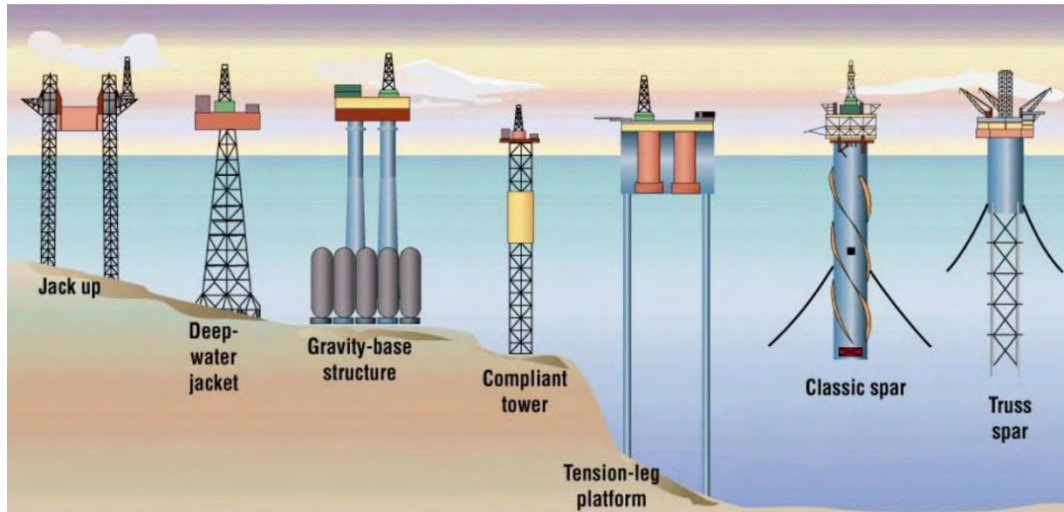
4. Συνέχιση της διάτρησης με μικρότερο κοπτικό άκρο, σωλήνωση και τσιμέντωση (intermediate casing) και
5. Συνέχιση της διάτρησης με μικρότερο κοπτικό άκρο προς την στοχευόμενη γεωλογική δομή



**Εικόνα 13:** Η διαδικασία γεώτρησης υποθαλάσσιου κοιτάσματος.  
(Πηγή: Κασίνης, 2011)

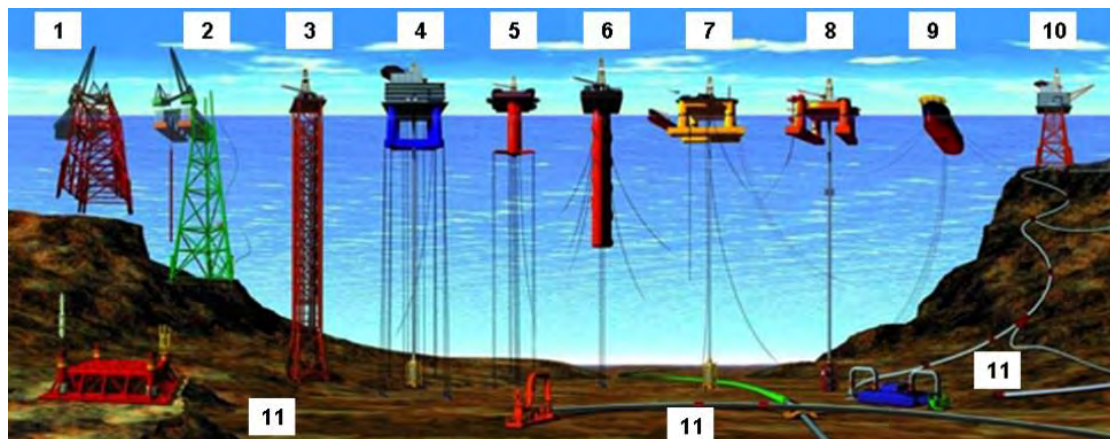
Οι πλατφόρμες εξόρυξης διακρίνονται κυρίως σε σταθερές (bottom support), που εδράζονται στην επιφάνεια του πυθμένα, και σε πλωτές (floating), που επιπλέουν στη θάλασσα. Οι σταθερές εξέδρες παρουσιάζουν εξαιρετικά περιορισμένες κινήσεις εξαιτίας κυματισμών και θαλάσσιων ρευμάτων και διακρίνονται σε Jackets και σε πλατφόρμες βαρύτητας (Σταματάκη, 2003). Εντούτοις, εκτός των σταθερών και πλωτών κατασκευών, υπάρχουν οι εξέδρες Jackup, οι εύκαμπτοι πύργοι, οι πλατφόρμες ποδών τένοντα και οι πλατφόρμες δοκού, που θα αναλυθούν στη συνέχεια.

Ανάλογα με το βάθος νερού στο οποίο βρίσκεται ο πυθμένας, επιλέγεται η καταλληλότερη πλατφόρμα για την εκμετάλλευση των υποθαλάσσιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων. Επομένως, όπως φαίνεται στην εικόνα 14 σε ρηχά νερά επιλέγεται μια σταθερή πλατφόρμα (Jacket ή βαρύτητας) ή μια πλατφόρμα ανύψωσης (Jackup), ενώ όσο αυξάνεται το βάθος της θάλασσας, επιλέγονται εύκαμπτοι πύργοι (Compliant Towers), πλωτά συστήματα παραγωγής, πλατφόρμες ποδών τένοντα (Tension Leg Platforms) και δοκού (Spar platforms) (Παπαμάλαμα, 2019), (εικόνα 15).



**Εικόνα 14:** Κύρια είδη πλατφορμών εξόρυξης πετρελαίου.  
(Πηγή: Wilson, 2003)

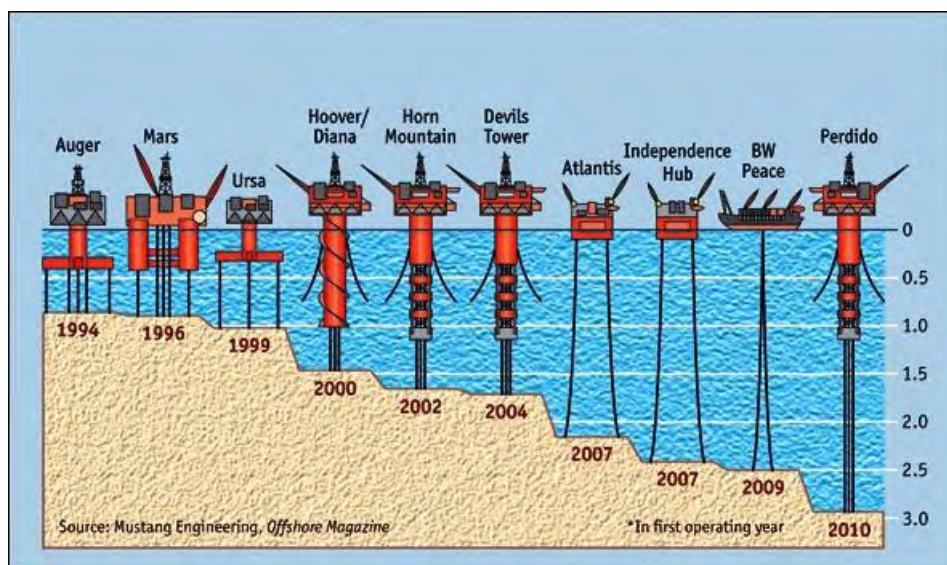
- Πλατφόρμες τύπου Jackup (ανύψωσης) - Jack-up platforms,
- Πλατφόρμες τύπου Jacket (με δικτύωμα) - Jacket platforms,
- Πλατφόρμες βαρύτητας - Gravity-base structure,
- Εύκαμπτοι πύργοι - Compliant Towers,
- Πλατφόρμα ποδών τένοντα (εφελκυσμού) - Tension Leg Platforms,
- Πλατφόρμα δοκού - Spar platforms.



**Εικόνα 15:** Όλα τα είδη υπεράκτιων εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης υποθαλάσσιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων.  
(Πηγή: NOAA, 2010)

- |      |   |   |
|------|---|---|
| 1, 2 | : | Σταθερές πλατφόρμες εξόρυξης τύπου Jacket,        |
| 3    | : | Εύκαμπτοι πύργοι (Compliant Towers),              |
| 4, 5 | : | Πλατφόρμες ποδών τένοντα (Tension Leg Platforms), |
| 6    | : | Πλατφόρμες δοκού (Spar Platforms),                |
| 7, 8 | : | Ημιβυθιζόμενες πλατφόρμες (Semi-submersibles),    |
| 9    | : | Γεωτρητικά σκάφη (Drill ships),                   |
| 10   | : | Σύνδεση με τους υποθαλάσσιους αγωγούς,            |
| 11   | : | Υποθαλάσσιο σύστημα και υποθαλάσσιοι αγωγοί.      |

Η πρώτη πλατφόρμα εξόρυξης υποθαλάσσιων κοιτασμάτων ονομάστηκε “Superior”, ήταν τύπου jacket και εγκαταστάθηκε το 1947, 30 km ανοιχτά των ακτών της Louisiana, σε βάθος θάλασσας περίπου 5 m (Yergin, 1993; Austin et al., 2004). Σήμερα, υπάρχουν περισσότερες από 7.000 υπεράκτιες πλατφόρμες εξόρυξης υδρογονανθράκων (Παπαμάλαμα, 2019). Στην εικόνα 16 παρουσιάζεται η εξέλιξη των πλατφορμών και τα βάθη θάλασσας στα οποία έχουν εγκατασταθεί.



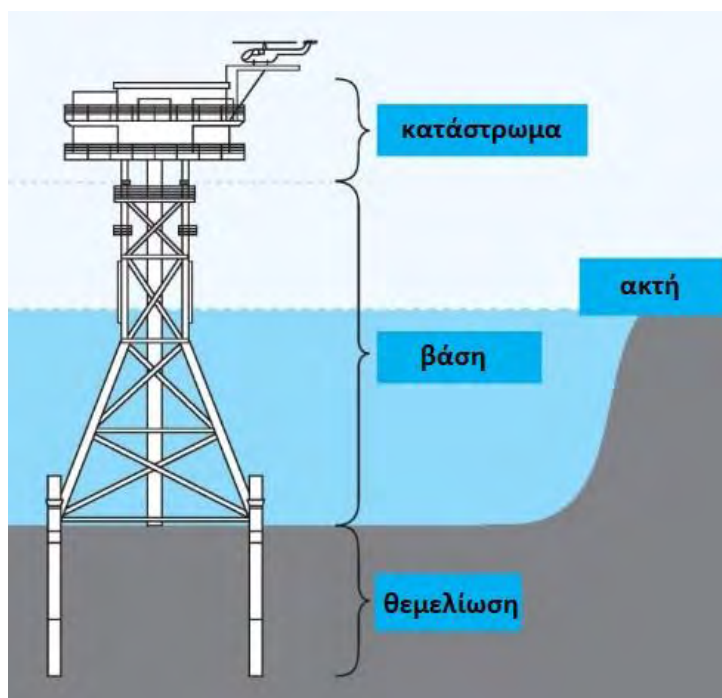
**Εικόνα 16:** Οι πλατφόρμες εξόρυξης πετρελαίου των βαθύτερων υποθαλάσσιων κοιτασμάτων με το βάθος θάλασσας σε km στον δεξιά άξονα και το έτος της έναρξης της άντλησης κάτω από κάθε γεώτρηση. (Πηγή: Aitken, 2015)

Η αγκύρωση και η θεμελίωση των εξεδρών εξόρυξης εξαρτάται ιδιαίτερα από την μορφολογία του θαλάσσιου πυθμένα και το σύνολο των φαινομένων, τα οποία λαμβάνουν χώρα εντός του, καθώς επίσης και στην επιφάνεια του. Οι υποθαλάσσιοι γεωκίνδυνοι επηρεάζουν σημαντικά την ευστάθεια κατασκευών αυτού του τύπου με αποτέλεσμα η συνεχής παρακολούθηση των μεταβολών των γεωυλικών του θαλάσσιου πυθμένα να είναι επιβεβλημένη ώστε να εξασφαλιστεί η έγκαιρη πρόβλεψη καταστροφικών φαινομένων και κατ’ επέκταση η ασφαλής λειτουργία τους (Παπαμάλαμα, 2019).

Οι εξέδρες τύπου **Jacket** (εικόνα 17) είναι μεταλλικά χωροδικτυώματα που συνδέονται με τον θαλάσσιο πυθμένα μέσω πασσάλων διαμέτρου 2 m, που εισχωρούν σε αυτόν σε βάθος που μπορεί να προσεγγίσει ακόμα και τα 150 m. Οι πάσσαλοι διέρχονται από το εσωτερικό κοίλων κυλινδρικών στοιχείων στήριξης του



χωροδικτυώματος (Σταματάκη, 2003). Η κατασκευή αποτελείται από την βάση, γνωστή ως jacket, που συνίσταται από ένα πλήθος συγκολλημένων χαλύβδινων σωλήνων και το κατάστρωμα, πάνω στο οποίο βρίσκονται οι απαραίτητες εγκαταστάσεις (Micallef et al., 2018).



**Εικόνα 17:** Εξέδρες τύπου Jacket.  
(Πηγή: DNV GL, 2017)

Οι εξέδρες αυτού του τύπου μπορεί να είναι είτε αυτοδύναμες, δηλαδή να εμπεριέχουν το σύνολο του απαραίτητου διατηρητικού εξοπλισμού, καθώς επίσης και τα καταλύματα και τους χώρους στους οποίους δραστηριοποιείται το εργατικό δυναμικό, είτε υποστηριζόμενες, οπότε σε αυτή την περίπτωση ένα μέρος του εξοπλισμού βρίσκεται σε συνοδευτική πλωτή εξέδρα (Σταματάκη, 2003). Το πλεονέκτημά τους είναι η πολύ καλή ευστάθεια της κατασκευής (εφόσον εγκατασταθούν σε βάθη μικρότερα των 500 m), ενώ το αρνητικό είναι η πλήρης απουσία κινητικότητας, με αποτέλεσμα να εφαρμόζεται αποκλειστικά και μόνο σε περιπτώσεις άντλησης μεγάλων μακροπρόθεσμων αποθεμάτων (Παπαμάλαμα, 2019). Χαρακτηριστικά παραδείγματα εξεδρών τύπου Jacket είναι οι πλατφόρμες Cognat (βάθος νερού 315 m) και Bullwinkle (βάθος νερού 415 m) στον κόλπο του Μεξικού (εικόνα 18), αλλά και οι εξέδρες του Πρίνου στη Θάσο (βάθος νερού 45 m), (Σταματάκη, 2003).



**Εικόνα 18:** Η Πλατφόρμα τύπου Jacket “Bullwinkle” κατασκευάστηκε και μεταφέρθηκε τμηματικά προς τον Κόλπο του Μεξικού.  
(Πηγή: Continental Marine Energy, 2019)

Τα φορτία που δέχεται μια πλατφόρμα Jacket είναι κατακόρυφα (εφελκυστικά ή θλιπτικά), οριζόντια και καμπτικά. Ο λόγος της ροπής ως προς την οριζόντια συνιστώσα εκφράζει την τάση της κατασκευής να ολισθήσει ή να ανατραπεί (Micallef et al., 2018). Αξίζει να σημειωθεί πως ένα μεγάλο τμήμα της φόρτισης είναι κυκλικό με αποτέλεσμα να υπάρχει συσσώρευση της πίεσης των πόρων και είτε στην περίπτωση αργιλώδους εδάφους να γίνεται μείωση της εδαφικής αντοχής, είτε σε αμμώδες έδαφος να γίνεται ρευστοποίηση (Randolph & Gourvenec, 2011).

Αναλυτικότερα αναφορικά με τη θεμελίωση, όταν πραγματοποιείται σε μαλακά ιζήματα, τοποθετείται γύρω από την θεμελίωση ένα λεπτό περίβλημα που έχει διπλό σκοπό: τόσο τον περιορισμό του υλικού αυτού, όσο και την μεταφορά των φορτίων θεμελίωσης στο σκληρότερο έδαφος, που βρίσκεται βαθύτερα (εικόνα 19). Αυτή η μορφή θεμελίωσης ονομάζεται θεμελίωση τύπου περιβλήματος, γνωστή αλλιώς και ως τύπου φούστας (skirt foundation), (Micallef et al., 2018). Η ολική αντίσταση σε διείσδυση,  $Q$ , από την θεμελίωση τύπου περιβλήματος δίνεται από την ακόλουθη σχέση (Randolph & Gourvenec, 2011):

$$Q = A_s \times a \times \bar{S}_u + A_{tip} \times (N_c \times S_u + \gamma' \times z) \quad 1.1$$

όπου,

$A_s$ , η πλευρική επιφάνεια της θεμελίωσης,

$a$ , ο συντελεστής συνοχής,

$\bar{S}_u$ , ο μέσος όρος της διατμητικής αντοχής συναρτήσει του βάθους διείσδυσης,

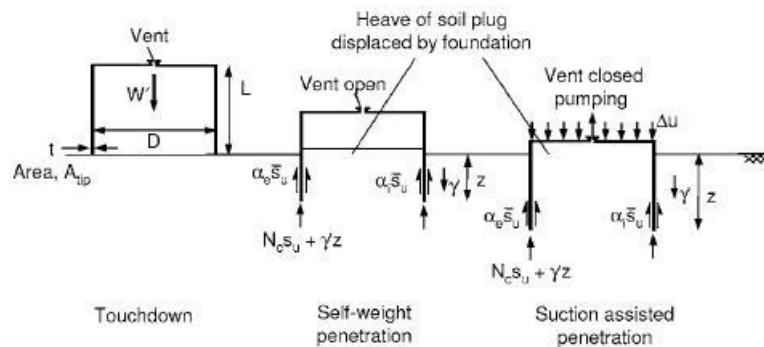
$A_{tip}$ , η επιφάνεια έδρασης της θεμελίωσης,

$N_c$ , ο συντελεστής φέρουσας ικανότητας υπό αστράγγιστες συνθήκες,

$S_u$ , η ολική διατμητική αντοχή υπό αστράγγιστες συνθήκες,

$\gamma'$ , το ενεργό ειδικό βάρος,

$z$ , το βάθος της θεμελίωσης.



**Εικόνα 19:** Οι τάσεις κατά την τοποθέτηση της θεμελίωσης τύπου περιβλήματος.  
(Πηγή: Randolph & Gourvenec, 2011)

Οι πλατφόρμες βαρύτητας κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα, υλικό που τις καθιστά το βαρύτερο είδος εξέδρας, και στηρίζονται στον πυθμένα με επίπεδη θεμελίωση, η οποία περιλαμβάνει από τρεις έως έξι πυλώνες. Οι πλατφόρμες αυτές λόγω των μεγάλων διαστάσεών τους και του εξαιρετικά μεγάλου βάρους τους<sup>1</sup> δεν χρειάζονται πρόσθετα μέσα συγκράτησης, όπως αγκύρωση ή πασσάλους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα πλατφόρμας βαρύτητας είναι η πλατφόρμα Condeer, η οποία βρίσκεται στη Βόρεια Θάλασσα (βάθος νερού 145 μέτρα) και το συνολικό βάρος της κυμαίνεται από 200.000 έως 820.000 τόνους ανάλογα με τον ερματισμό (εικόνα 20). Η θεμελίωση και οι 3 πυλώνες έχουν κατασκευαστεί από οπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ διαθέτει στη βάση 16 κατακόρυφα κυλινδρικά σώματα διαμέτρου 20

<sup>1</sup> Ο όγκος και η μάζα τους είναι τοποθετημένα όσο το δυνατόν πλησιέστερα στον θαλάσσιο πυθμένα.

m και ύψους 50 m, που αποτελούν είτε αποθηκευτικούς χώρους είτε χώρους ερματισμού (Σταματάκη, 2003).

**Εικόνα 20:** Η κατασκευή της πλατφόρμας “Condeep” στη Βόρεια Θάλασσα. (Πηγή: Berner & Gerwick, 2001)



Τα φορτία που δέχεται μια πλατφόρμα βαρύτητας είναι, όπως και στις εξέδρες τύπου Jacket, κατακόρυφα (εφελκυστικά ή θλιπτικά), οριζόντια και καμπτικά. Ο λόγος της ροπής ως προς την οριζόντια συνιστώσα εκφράζει την τάση της κατασκευής να ολισθήσει ή να ανατραπεί (Micallef et al., 2018). Αξίζει να σημειωθεί πως ένα μεγάλο τμήμα της φόρτισης είναι κυκλικό με αποτέλεσμα να υπάρχει συσσώρευση της πίεσης των πόρων και είτε στην περίπτωση αργιλώδους εδάφους να γίνεται μείωση της εδαφικής αντοχής, είτε σε αμμώδες έδαφος να γίνεται ρευστοποίηση (Randolph & Gourvenec, 2011).

Η φέρουσα ικανότητα της θεμελίωσης μιας πλατφόρμας βαρύτητας, υπό αστράγγιστες συνθήκες ορίζεται ως εξής (Randolph & Gourvenec, 2011):

$$V_{ult} = A' \times (S_{uo} \times (N_c + \frac{k \times B'}{4}) \times \frac{F \times K_c}{\gamma_m} + p'_o) \quad 1.2$$

όπου,

$V_{ult}$ , το μέγιστο κατακόρυφο φορτίο,

$A'$ , η φέρουσα επιφάνεια, δηλαδή η ενεργή επιφάνεια που παραλαμβάνει τα φορτία,

$S_{uo}$ , η διατμητική αντοχή του εδάφους υπό αστράγγιστες συνθήκες (στο επίπεδο της θεμελίωσης),

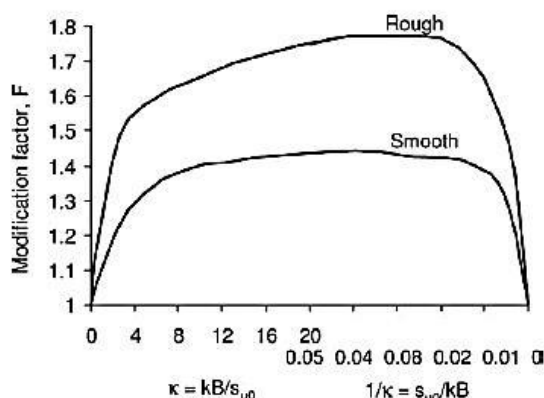
$N_c$ , ο συντελεστής φέρουσας ικανότητας για την περίπτωση κατακόρυφης φόρτισης μιας λωρίδας θεμελίωσης σε ομογενές ίζημα,

$k$ , η βαθμίδα του προφίλ της διατμητικής αντοχής υπό αστράγγιστες συνθήκες (σε περίπτωση ομοιογενών κοιτασμάτων είναι ίση με μηδέν),

$B'$ , το ενεργό πλάτος της θεμελίωσης,

- $F$ , ο διορθωτικός συντελεστής που σχετίζεται με τον βαθμό ετερογένειας της αντοχής,
- $K_c$ , ο τροποποιητικός συντελεστής για τον προσανατολισμό της φόρτισης και το σχήμα της θεμελίωσης.
- $\gamma_m$ , ο συντελεστής του υλικού σχετικά με την διατμητική αντοχή,

Στην εικόνα 21 παρουσιάζεται ο τρόπος υπολογισμού του διορθωτικού συντελεστή  $F$  ως συνάρτηση του αδιάστατου συντελεστή ετερογένειας  $\kappa = \frac{\kappa \times B'}{s_{uo}}$ .



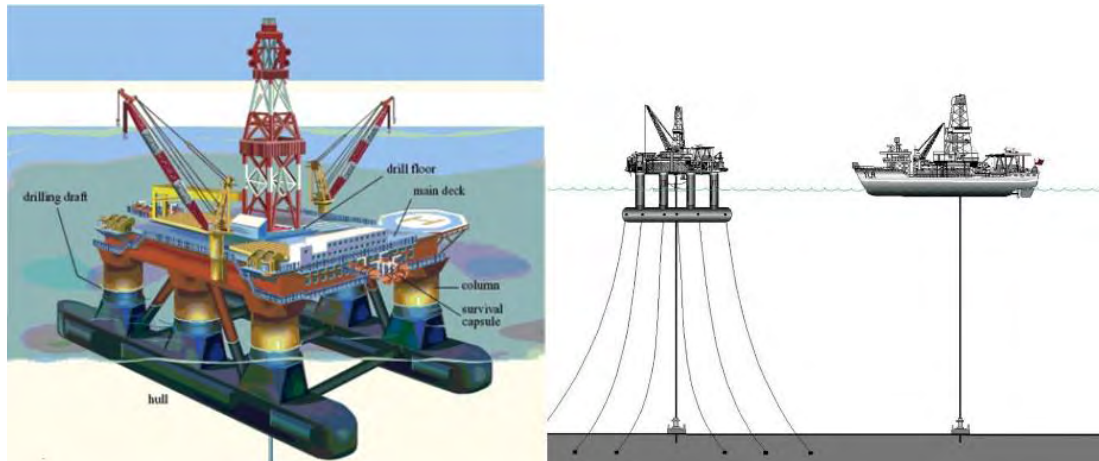
**Εικόνα 21:** Η φέρουσα ικανότητα του  $F$  για εδάφη με γραμμικά αυξανόμενη αντοχή σε σχέση με το βάθος.

rough = τραχύ, smooth = λείο, modification factor  $F$ , = διορθωτικός συντελεστής

(Πηγή: Davis & Booker, 1973)

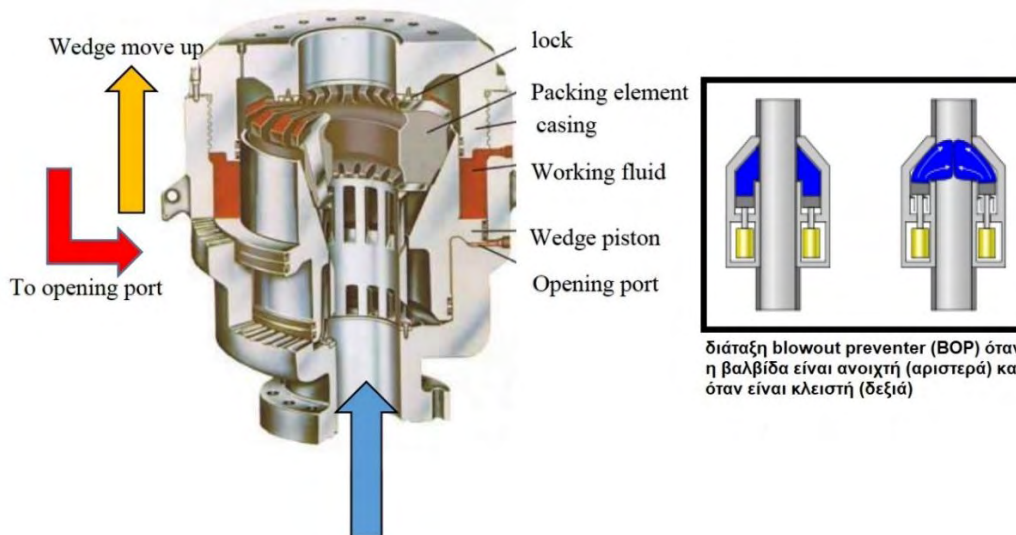
Στις **πλωτές κατασκευές** ανήκουν οι πλωτές ημιβυθιζόμενες πλατφόρμες (semi-submersible) και τα γεωτρητικά σκάφη (drill-ship).

Οι ημιβυθιζόμενες πλατφόρμες μπορούν να έχουν πολλαπλές γάστρες (multi-hull) ή πολλαπλούς πυλώνες (multi-legs) και μεταφέρονται στη θέση του έργου ρυμουλκούμενες ή αυτοπροωθούμενες, έχοντας τους πυλώνες εκτός νερού (εικόνα 22). Το κύριο μειονέκτημά τους είναι πως το κόστος κατασκευής και συντήρησης είναι ιδιαίτερα υψηλό, σε συνδυασμό με την μειωμένη δυνατότητα διέλευσης από τις διώρυγες του Σουέζ και του Παναμά. Τα γεωτρητικά σκάφη είναι πλοία, που είναι εφοδιασμένα με τον απαιτούμενο γεωτρητικό εξοπλισμό και ένα σύστημα αγκύρωσης πολλαπλών κλάδων ώστε να μειώνονται οι κινήσεις εξαιτίας των κυματισμών (οι ημιβυθιζόμενες πλατφόρμες έχουν καλύτερη δυναμική συμπεριφορά έναντι κυματισμών), (Σταματάκη, 2003).



**Εικόνα 22:** Ημιβυθιζόμενη πλατφόρμα αριστερά (Πηγή: Eni, 2008) και συγκριτικό σχήμα γεωτρητικού σκάφους και ημιβυθιζόμενης πλατφόρμας δεξιά (Πηγή: Simpson, 2017).

Αξίζει να σημειωθεί πως πολλές φορές οι πλωτές κατασκευές διαθέτουν ένα μηχανισμό (τύπου βαλβίδας) που είναι γνωστός ως Blow Out Preventer (BOP). Η βαλβίδα αυτή χρησιμοποιείται ως προστασία για την αποτροπή της ανεξέλεγκτης ροής πετρελαίου, εξαιτίας διαφοράς πίεσης, αποσκοπώντας κατ' επέκταση στην προστασία του πληρώματος και του εξοπλισμού (Micallef et al., 2018), (εικόνα 23).



διάταξη blowout preventer (BOP) όταν η βαλβίδα είναι ανοιχτή (αριστερά) και όταν είναι κλειστή (δεξιά)

**Εικόνα 23:** Η λειτουργία του συστήματος Blow Out Preventer (BOP).

Wedge move up = κίνηση σφήνας προς τα πάνω, opening port = άνοιγμα θύρας, lock = κλειδαριά, packing element = στοιχείο συσκευασίας, casing = πλαίσιο, working fluid = ρευστό κίνησης, wedge piston = έμβολο σφήνας, opening port = άνοιγμα θύρας.

(Πηγή: Sooraj, 2016) Ίδια επεξεργασία.

Το αρνητικό έγκειται στο γεγονός ότι το συγκεκριμένο σύστημα είναι επιρρεπές σε φθορά εξαιτίας υποθαλάσσιων κατολισθήσεων εξαιτίας της ιδιαίτερα μεγάλης επιφάνειας του θαλάσσιου πυθμένα την οποία καλύπτει όσο λειτουργεί. Η επικινδυνότητα αυτή αυξάνεται σημαντικά όταν ο θαλάσσιος πυθμένας είναι υπό κλίση, ακόμα και μικρότερη της μιας μοίρας. Όταν ο βυθός είναι απόλυτα οριζόντιος, το σύστημα της βαλβίδας μπορεί να μην κινδυνεύει άμεσα από υποθαλάσσια κατολίσθηση, όμως η λειτουργία του εκλύει θερμότητα, που είναι δυνατό να προκαλέσει διάσπαση και απελευθέρωση υδριτών αερίων (εξαιτίας θέρμανσης του θαλάσσιου πυθμένα). Η απελευθέρωση υδριτών αερίων με τη σειρά της είναι δυνατό να οδηγήσει σε σταδιακή απώλεια της εδαφικής αντοχής ή ακόμα και στην ενεργοποίηση υποθαλάσσιων κατολισθήσεων.

Οι **εξέδρες τύπου Jackup**, γνωστές και ως πλατφόρμες ανύψωσης, είναι κατασκευές που δεν ανήκουν ούτε στις σταθερές ούτε στις πλωτές, που αναλύθηκαν παραπάνω, και αποτελούνται από μια φορηγίδα (μπάρτσα) και τρεις ή πέντε πυλώνες (πόδια) που στηρίζουν το πλωτό μέρος. Πρόκειται για πλήρως αυτοδύναμες κατασκευές που ρυμουλκούνται, με ανυψωμένους τους πυλώνες, μέχρι να φτάσουν στη θέση όπου θα πραγματοποιηθεί η εκμετάλλευση. Έπειτα, οι πυλώνες κατεβαίνουν, εδράζονται πάνω στην επιφάνεια του θαλάσσιου πυθμένα και το πλωτό τμήμα της κατασκευής ανυψώνεται στον αέρα. Ύστερα από την ολοκλήρωση της διάτρησης και άντλησης, οι πυλώνες ανυψώνονται ξανά και η εξέδρα ρυμουλκείται στην επόμενη τοποθεσία εξόρυξης (Σταματάκη, 2003). Θεωρούνται ασφαλέστερες κατασκευές σε σύγκριση με τις πλωτές, επειδή η πλατφόρμα τους είναι υπερυψωμένη πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, προσφέροντας επομένως προστασία από τη δράση των κυμάτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας εξέδρας εξόρυξης είναι η Maersk Giant που χρησιμοποιείται από το 1986 στη Βόρεια Θάλασσα (εικόνα 24), (Chua, 2019).



**Εικόνα 24:** Η εξέδρα τύπου Jackup, Maersk Giant, στη Βόρεια Θάλασσα.  
(Πηγή: Chua, 2019)

Τα κυματικά φορτία που δέχεται μια εξέδρα τύπου Jackup κατά τη διάρκεια καταιγίδων είναι επαναλαμβανόμενα κάθετα, οριζόντια και φορτία ροπής. Οι βάσεις μιας πλατφόρμας Jackup, που τοποθετούνται εντός του θαλάσσιου πυθμένα, έχουν σχήμα ανεστραμμένου κώνου (sprudcan) και παρέχουν ευστάθεια έναντι πλευρικών και κάθετων δυνάμεων και στρεπτικών ροπών. Ιδιαίτερα κρίσιμος είναι ο υπολογισμός του «αποτυπώματος» της κωνικής βάσης (sprudcan), δηλαδή του βάθους εντός του θαλάσσιου πυθμένα που αυτή θα εισχωρήσει, χωρίς να επέλθει αστοχία (Randolph & Gourvenec, 2011).

Ο βαθμός αποστράγγισης και η επίδραση της στερεοποίησης της βάσης της πλατφόρμας (sprudcan), δίνεται ως συνάρτηση της κανονικοποιημένης ταχύτητας (Randolph & Gourvenec, 2011):

$$V = \frac{v \times D}{C_v} \quad 1.3$$

όπου,

$v$ , η ταχύτητα εισχώρησης της κωνικής βάσης (περίπου 1m/h), και

$C_v$ , ο συντελεστής στερεοποίησης,



$$C_v = \frac{k}{m_v \times \gamma_w} \quad [m^2/sec] \quad 1.4$$

όπου,

$k$ , ο συντελεστής διαπερατότητας,

$m_v$ , ο συντελεστής όγκου,

$\gamma_w$ , το ειδικό βάρος του νερού.

Στην περίπτωση αργιλικού εδάφους, δηλαδή υπό αστράγγιστες συνθήκες, συνήθως η προ-φόρτωση της κωνικής βάσης είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται η ύπαρξη πλήρως μη στραγγιζόμενων συνθηκών. Η φέρουσα ικανότητα του εδάφους να παραλάβει κάθετες φορτίσεις, σε συγκεκριμένο βάθος δίνεται από την εξίσωση (Randolph & Gourvenec, 2011):

$$V = (S_u \times N_c + \sigma'_{vo}) \times A \quad 1.5$$

όπου,

$S_u$ , η ολική διατμητική αντοχή υπό αστράγγιστες συνθήκες,

$N_c$ , ο συντελεστής φέρουσας ικανότητας για αστράγγιστες συνθήκες,

$\sigma'_{vo}$ , η επί-τόπου (in-situ) ενεργός κάθετη τάση,

$A$ , το εμβαδό της διατομής της θεμελίωσης.

Στην περίπτωση αμμώδους εδάφους στο βυθό, δηλαδή υπό στραγγιζόμενες συνθήκες, συνήθως η προ-φόρτωση της κωνικής βάσης γίνεται αρκετά αργά ώστε να εξασφαλίζει πλήρως στραγγισμένες συνθήκες. Η μέγιστη κατακόρυφη φέρουσα ικανότητα μιας κυκλικής θεμελίωσης στην επιφάνεια υλικού τριβής, που χαρακτηρίζεται ως ομοιογενές, δίνεται από τη σχέση (Randolph & Gourvenec, 2011):

$$V = \frac{\gamma' \times N_\gamma \times \pi \times D^3}{8}, \quad 1.6$$

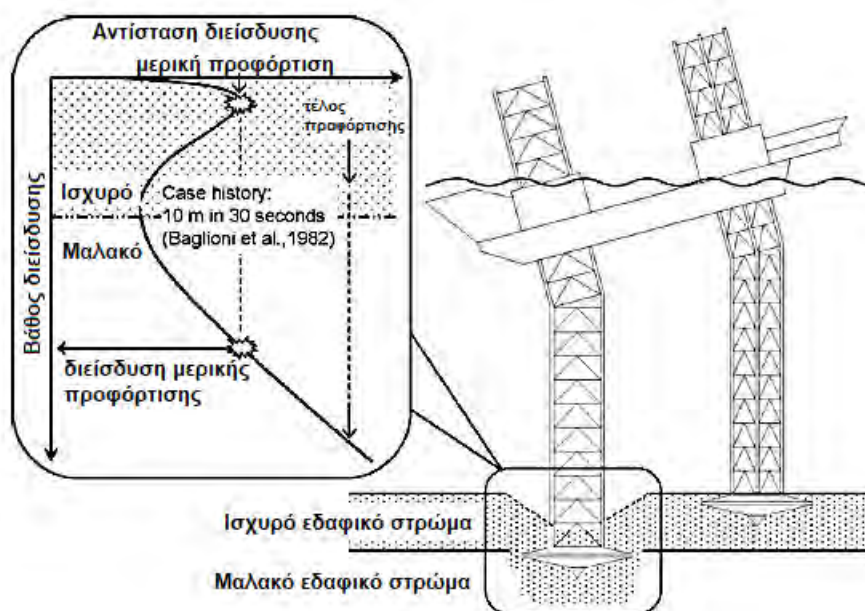
όπου,

$\gamma'$ , το ενεργό ειδικό βάρος,

$N_\gamma$ , ο συντελεστής φέρουσας ικανότητας στην περίπτωση αξονικής συμμετρίας,

$D$ , η διάμετρος της θεμελίωσης.

Αστοχία είναι δυνατό να επέλθει σε μια εξέδρα τύπου Jackup όταν, όπως φαίνεται στην εικόνα 24, η κωνική βάση της πλατφόρμας διεισδύει πρώτα σε ένα υπερκείμενο ισχυρό και ύστερα σε ένα υποκείμενο μαλακό εδαφικό στρώμα. Τέτοιου είδους αστοχία, είναι δυνατό να προκαλέσει λυγισμό των ποδιών της εξέδρας, αχρηστεύοντας προσωρινά την πλατφόρμα ή ακόμα και ανατρέποντάς την. Μια τέτοιου είδους αστοχία συμβαίνει μία φορά κάθε χρόνο προκαλώντας ζημιά, η αποκατάσταση της οποίας μπορεί να στοιχίσει μερικά εκατομμύρια δολάρια (Osborne & Paisley, 2002). Το διάγραμμα αντίστασης διείσδυσης – βάθους διείσδυσης (εικόνα 25) δείχνει τη συμπεριφορά του ισχυρού και του μαλακού εδαφικού στρώματος σε προφόρτιση και την απότομη μείωση της φέρουσας ικανότητας των εδαφικών στρωμάτων (αστοχία).



**Εικόνα 25:** Αστοχία εξέδρας Jackup κατά τη διείσδυση της κωνικής βάσης.  
(Πηγή: Lee, 2009) Ίδια επεξεργασία.

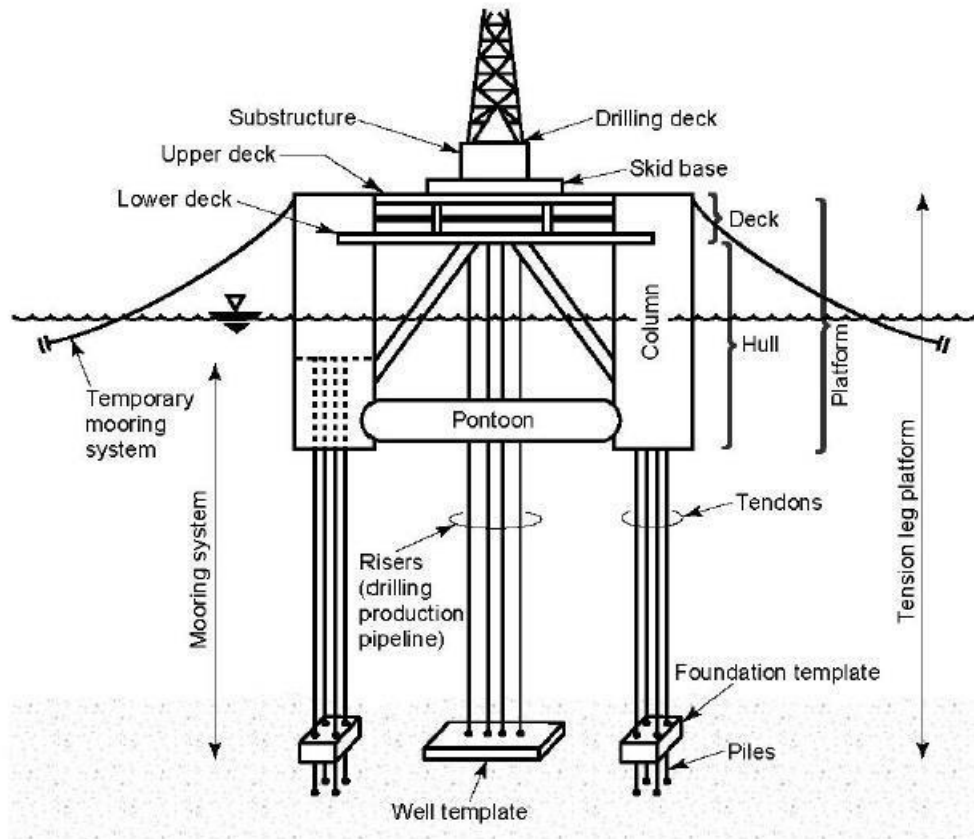
Οι **εύκαμπτοι πύργοι**, η αλλιώς συμβατικές πλατφόρμες, μοιάζουν με τις εξέδρες τύπου Jacket, καθώς είναι χαλύβδινες κατασκευές που θεμελιώνονται στον θαλάσσιο πυθμένα μέσω πασσάλων. Η διαφορά τους σε σχέση με τις Jacket είναι πως ο μηχανισμός αντίστασής τους στα φορτία του νερού και του αέρα είναι παρόμοιος με αυτόν που χρησιμοποιούν οι πλωτές κατασκευές, με αποτέλεσμα να καθίσταται εφικτή η εγκατάστασή τους σε βάθη πολύ μεγαλύτερα από τα επιτρεπτά όρια μιας σταθερής πλατφόρμας τύπου Jacket. Δηλαδή, το βάθος εγκατάστασης ενός

εύκαμπτου πύργου είναι ακόμα και 900 m, βάθος στο οποίο εντοπίζονται τα μεγαλύτερα κοιτάσματα υδρογονανθράκων, ενώ το βάθος εγκατάστασης μιας εξέδρας Jacket δεν μπορεί να υπερβεί τα 500 m (Randolph & Gourvenec, 2011). Το αρνητικό των εύκαμπτων πύργων είναι πως θεωρούνται ιδιαίτερα ευάλωτοι σε υποθαλάσσιες κατολισθήσεις και ειδικότερα σε γεωκινδύνους που σχετίζονται με την ανάπτυξη τουρβιδιτικών ρευμάτων, εξαιτίας του εξαιρετικά μεγάλου τους ύψους (Παπαμάλαμα, 2019).

Αναλυτικότερα, η βάση του εύκαμπτου πύργου αποτελείται συνήθως από δύο τμήματα εκ των οποίων το ανώτερο έχει ανοδική τάση, εξαιτίας των δεξαμενών άνωσης (στεγανών δεξαμενών αέρα), που είναι τοποθετημένες σε αυτό. Σε έναν εύκαμπτο πύργο είναι δυνατό να τοποθετηθούν έως και 12 δεξαμενές, το μέγεθος της κάθε μίας εκ των οποίων μπορεί να φτάνει τα 35 m σε μήκος και τα 6 m σε διάμετρο. Ο σκοπός των δεξαμενών είναι η μείωση του φορτίου που δέχονται τα θεμέλια της κατασκευής μέσω της άνωσης που προκαλούν. Το κάτω τμήμα είναι ίδιο με τη βάση των εξεδρών Jacket με μόνη διαφορά το γεγονός ότι έχει μικρότερη διάμετρο (Randolph & Gourvenec, 2011).

Οι **πλατφόρμες ποδών τένοντα (TLP)** είναι εξέδρες εξόρυξης που μπορούν να εγκατασταθούν σε βάθη που κυμαίνονται από 300 έως 1.500 m (ανάλογα με το έτος κατασκευής τους) και διαθέτουν πλωτήρες με τένοντες και δοκούς υπό ένταση, οι οποίοι συνδέονται στον θαλάσσιο πυθμένα (εικόνα 26). Το κόστος κατασκευής των εξεδρών αυτών είναι ιδιαίτερα υψηλό.

Η καινοτομία των πλατφορμών ποδών τένοντα οφείλεται στο ότι η σταθεροποίησή τους βασίζεται στην άντωση του ανώτερου τμήματος της πλατφόρμας, συνδυαστικά με τη λειτουργία των τενόντων που βρίσκονται υπό εφελκυσμό και ασκούν δύναμη προς τον πυθμένα της θάλασσας. Αναλυτικότερα, οι τένοντες είναι μεγάλου μήκους καλώδια, που βρίσκονται υπό διαρκή εφελκυσμό, και κάθε ομάδα τενόντων ονομάζεται πόδι εφελκυσμού ή τεταμένο-πόδι (tension-leg). Η εφελκυστική δράση των τενόντων, έχει ως αποτέλεσμα την εξάλειψη οποιασδήποτε ενδεχόμενης κατακόρυφης μετακίνησης της κατασκευής. Εντούτοις, οι τένοντες επιτρέπουν μικρές οριζόντιες μετακινήσεις, με αποτέλεσμα οι εξέδρες αυτού του είδους να είναι ανθεκτικές σε πλευρικές φορτίσεις, αποφεύγοντας τον κίνδυνο αστοχίας των τεταμένων ποδιών (Micallef et al., 2018).



Εικόνα 26: Πλατφόρμα ποδών τένοντα.

Drilling deck = κατάστρωμα γεώτρησης, upper and lower deck = ανώτερο και κατώτερο κατάστρωμα, temporary mooring system = προσωρινό σύστημα αγκύρωσης, pontoon = το υποθαλάσσιο κομμάτι που ευθύνεται για την άντωση ή σχεδία, foundation template = το περίγραμμα της θεμελίωσης (πλάκα κεφαλόδεσμος), well template = το περίγραμμα του φρεατίου, platform = η πλατφόρμα, hull = το σκάφος της πλατφόρμας.

(Πηγή: Chakrabarti, 2005)

Αξίζει να σημειωθεί πως για την αντίδραση ενός τένοντα μιας πλατφόρμας TLP σε σεισμό, η κατακόρυφη κίνηση του εδάφους είναι πολύ πιο κρίσιμη σε σχέση με την οριζόντια. Αντίθετα, για τη θεμελίωση είναι εξίσου σημαντική τόσο η κατακόρυφη όσο και η οριζόντια εδαφική κίνηση (Randolph & Gourvenec, 2011).

Οι **πλατφόρμες δοκού (spar platforms)** είναι εξέδρες εξόρυξης των οποίων το κατάστρωμα στηρίζεται μόνο σε μια κούφια κυλινδρική δοκό διαμέτρου περίπου 40 μέτρων (εικόνα 27), (Micallef et al., 2018). Στο κατώτερο τμήμα της δοκού τοποθετείται έρμα βαρύτερο από το νερό, με αποτέλεσμα το κέντρο βάρους να είναι κάτω από το κέντρο πλευστότητας, ενώ το κούφιο κοίλο μέρος της δοκού είναι

δυνατό να χρησιμοποιηθεί ως χώρος αποθήκευσης πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Αξίζει να σημειωθεί πως οι πλατφόρμες δοκού δεν έρχονται σε άμεση επαφή με τον θαλάσσιο πυθμένα αλλά έμμεσα μέσω ενός συστήματος αγκύρωσης, που αποτελείται από τένοντες, οι οποίοι ξεκινάνε περιμετρικά της δοκού (οι λωρίδες που προεξέχουν στην εικόνα 27) και καταλήγουν στον πυθμένα σε σημεία που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από την προβολή της δοκού πάνω στον πυθμένα. Εξαιτίας του παραπάνω μηχανισμού, οι πλατφόρμες αυτές είναι ιδιαίτερα ανθεκτικές σε υποθαλάσσιες κατολισθήσεις, αλλά παρουσιάζουν ευαισθησία κατά τη δράση ισχυρών κυματισμών (Παπαμάλαμα, 2019). Συνήθως χρησιμοποιούνται για κοιτάσματα σε βάθος θάλασσας 900 m, αλλά είναι δυνατό να τοποθετηθούν και σε πολύ μεγαλύτερα βάθη, (π.χ. 3.000 m), (Micallef et al., 2018). Χαρακτηριστικό παράδειγμα πλατφόρμας δοκού είναι η Genesis Spar, που βρίσκεται στον κόλπο του Μεξικού (Randolph & Gourvenec, 2011).



**Εικόνα 27:** Πλατφόρμα δοκού (spar platform).  
(Πηγή: Kurian et al., 2013)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΩΚΙΝΔΥΝΟΙ

*«Ο σεισμός γίνεται από αλλοιώσεις της γης, από μεταβολές της, λόγω της θερμάνσεως και της ψύξεώς της» Αναξιμένης ο Μιλήσιος (585-528π.Χ.).*

### 2.1 Εισαγωγή

Γεωκίνδυνοι (Geohazards) ονομάζονται οι γεωλογικές και ρευστοδυναμικές συνθήκες ή διαδικασίες, που είναι δυνατό να οδηγήσουν σε κίνηση εδάφους, βράχου, υγρού ή αερίου εξαιτίας είτε ξαφνικών συμβάντων (π.χ. σεισμός), είτε αργών προοδευτικών παραμορφώσεων (π.χ. ερπυσμός του εδάφους). Δηλαδή, είναι μια γεωλογική κατάσταση που μπορεί να οδηγήσει σε ευρύτατη ζημιά ή κίνδυνο (Randolph & Gourvenec, 2011). Σύμφωνα με τον Dean, είναι οι κίνδυνοι που σχετίζονται με τα γεωλογικά (ή γεωτεχνικά) χαρακτηριστικά (ή διεργασίες) και μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την ακεραιότητα ή τη λειτουργικότητα μιας υπεράκτιας κατασκευής και των θεμελίων της κατά τη περίοδο λειτουργίας της (Dean, 2010).

Στην περίπτωση της υποθαλάσσιας εξόρυξης πετρελαίου και φυσικού αερίου οι γεωκίνδυνοι μπορεί να προκαλέσουν ανθρώπινες απώλειες, καθώς επίσης καταστροφή του περιβάλλοντος και των γύρω υποδομών. Κατά συνέπεια το οικονομικό αντίκτυπο προκειμένου να περιοριστούν οι επιπτώσεις των γεωκινδύνων είναι ιδιαίτερα σημαντικό (Randolph & Gourvenec, 2011).

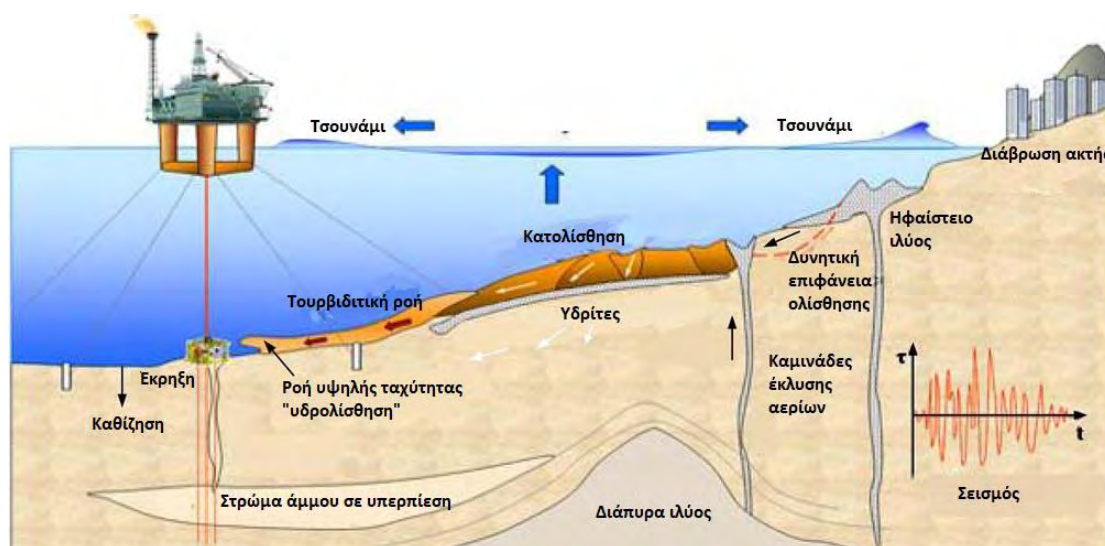
Οι γεωκίνδυνοι διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες: τα επικίνδυνα συμβάντα, που έχουν συμπτωματικό χαρακτήρα και συμβαίνουν σπάνια (π.χ. σεισμοί, κατολισθήσεις, τουρβιδιτικές ροές, υδρίτες αερίων) και τις επικίνδυνες εδαφικές συνθήκες, που αφορούν αργές, προοδευτικές διαδικασίες (π.χ. ερπυσμός εδάφους). Η επικινδυνότητα κάθε γεωκινδύνου σχετίζεται άμεσα με την τοποθεσία, τη σοβαρότητα του συμβάντος και τη συχνότητα εμφάνισής του (Randolph & Gourvenec, 2011).

Ο τρόπος προσδιορισμού των γεωκινδύνων πραγματοποιείται με την μελέτη της γεωλογίας, της γεωμορφολογίας και της γεωγραφίας μιας περιοχής, και μέσω γεωφυσικών και γεωτεχνικών ερευνών (Dean, 2010).

## 2.2 Υποθαλάσσιοι γεωκίνδυνοι και θαλάσσιες εξέδρες εξόρυξης

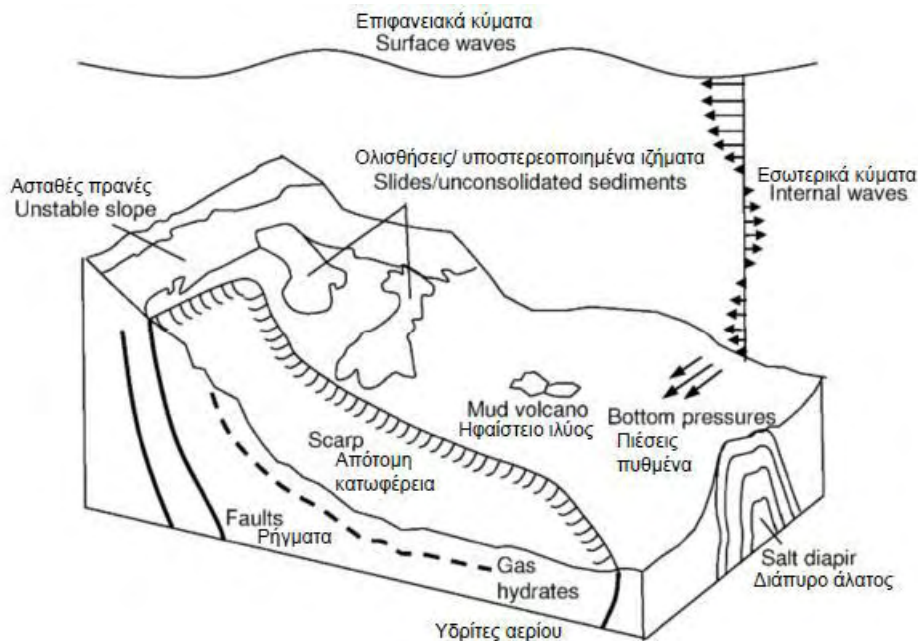
Με τον όρο υποθαλάσσιοι γεωκίνδυνοι αναφέρονται οι υποθαλάσσιες γεωλογικές συνθήκες που σχετίζονται με φυσικές ή ανθρωπογενείς δραστηριότητες, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν κίνδυνο ή πιθανότητα κινδύνου σε ανθρώπινες ζωές και ιδιοκτησίες, καθώς επίσης και επιβάρυνση της ποιότητας του περιβάλλοντος (Lu, 2001). Οι υποθαλάσσιοι γεωκίνδυνοι παρόλο που είναι δυνατό να συμβούν σχεδόν σε οποιοδήποτε υποθαλάσσιο γεωλογικό περιβάλλον, εμφανίζονται κυρίως στα σημεία σύγκλισης των λιθосφαιρικών πλακών (Yonggang et al., 2016).

Τα τελευταία χρόνια η εξερεύνηση υποθαλάσσιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων αύξησε ιδιαίτερα το ερευνητικό ενδιαφέρον για τους υποθαλάσσιους γεωκινδύνους, καθώς ενδέχεται να δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα στην ανάπτυξη πυκνοκατοικημένων περιοχών (Yonggang et al., 2016). Στην εικόνα 28 παρουσιάζονται οι βασικοί υποθαλάσσιοι γεωκίνδυνοι για μια εξέδρα εξόρυξης.



**Εικόνα 28:** Οι βασικοί υποθαλάσσιοι γεωκίνδυνοι.  
(Πηγή: Yonggang et al., 2016) Ίδια επεξεργασία.

Οι βασικότεροι υποθαλάσσιοι γεωκίνδυνοι (εικόνα 29) είναι οι εξής: α) ολισθήσεις / υποστερεοποιημένα ιζήματα, β) ασταθή πρανή, γ) απότομες κατωφέρειες, δ) ρήγματα, ε) υδρίτες αερίων, στ) ηφαιστεια ιλύος, ζ) υπερπίεσεις θαλάσσιου πυθμένα, η) διάπυρα άλατος, θ) εσωτερικά και επιφανειακά κύματα.

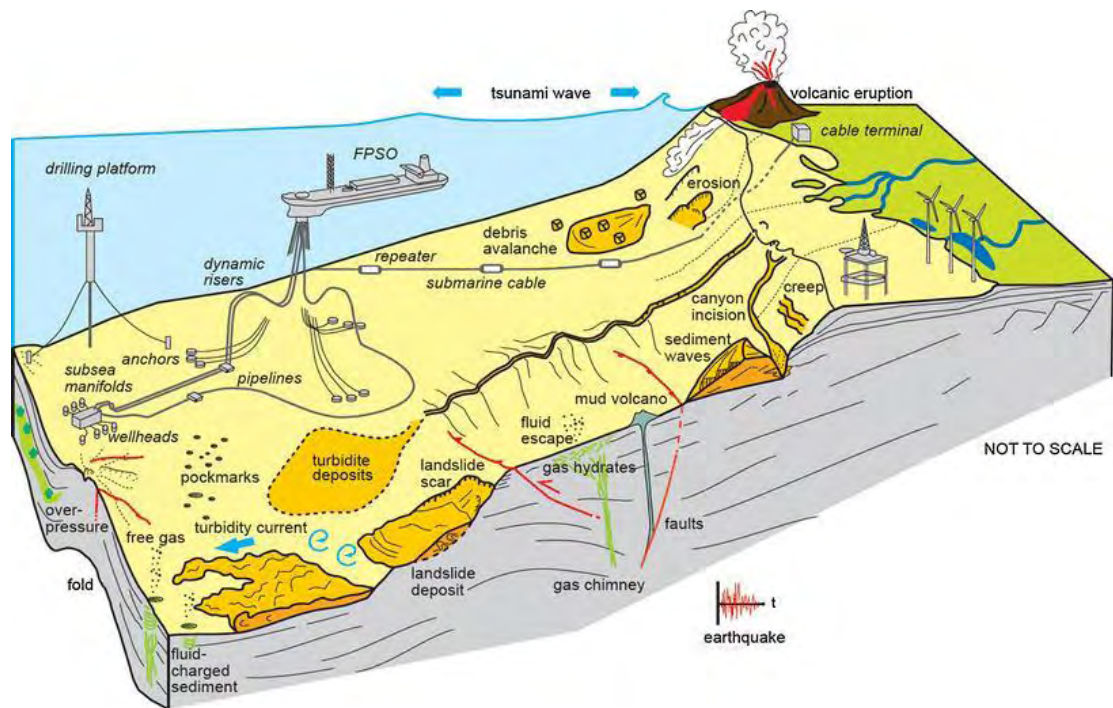


**Εικόνα 29:** Οι βασικοί υποθαλάσσιοι γεωκίνδυνοι.  
(Πηγή: Randolph & Gourvenec, 2011) Ίδια επεξεργασία.

Στο θαλάσσιο περιβάλλον, οι εδαφικές μάζες είναι δυνατό να αποσταθεροποιηθούν και να αστοχήσουν, εξαιτίας μιας σειράς διεργασιών. Ωστόσο, η συντριπτική πλειοψηφία των εδαφικών αστοχιών σχετίζονται με ένα γεγονός που τις ενεργοποιεί (Παπαμάλαμα, 2019). Η ενεργοποίηση ενός γεωκινδύνου έχει ως αποτέλεσμα είτε ένα μεμονωμένο συμβάν γεωκινδύνου είτε μια αλληλουχία συμβάντων, που το ένα είναι το αίτιο για το άλλο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αλληλουχίας συμβάντων θα μπορούσε να είναι το ακόλουθο σενάριο: Σε μια περιοχή υπάρχει ένας υποθαλάσσιος αγωγός, που λόγω της λειτουργίας του και των θερμοκρασιακών μεταβολών που συνεπάγονται είναι δυνατό να προκαλέσει είτε διάσπαση των υδριτών αερίων είτε προ-διάλυση των ελεύθερων αερίων, με αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων και κατ' επέκταση την αστοχία του πρηνούς. Η αστοχία αυτή του πρηνούς οδηγεί σε γρήγορη εναπόθεση εδαφικού υλικού στη κατωφέρεια, δημιουργώντας κατά συνέπεια πλεόνασμα πίεσης πόρων σε υποστερεοποιημένα εδάφη, τα οποία με τη σειρά τους προκαλούν μια επιπλέον αστοχία πρηνούς. Η αρχική αστοχία πρηνούς, μπορεί να ενεργοποιήσει μια παλινδρομική ολίσθηση, που με τη σειρά της ελαττώνει σημαντικά την πίεση πίσω από τη κεφαλή της κατωφέρειας, αποσταθεροποιώντας για ακόμη μια φορά την συγκεκριμένη περιοχή του θαλάσσιου πυθμένα (Randolph & Gourvenec, 2011).



Στην εικόνα 30 απεικονίζονται, με μεγαλύτερη λεπτομέρεια, οι πιθανοί γεωκίνδυνοι ενός θαλάσσιου περιβάλλοντος.



**Εικόνα 30:** Απεικόνιση των πιθανών γεωκινδύνων ενός θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Drilling platform = εξέδρα εξόρυξης, pipelines = αγωγοί, rockmarks = κρατήρες διαφυγής ρευστών, landslide deposits = υποθαλάσσιες κατολίθησης, debris avalanche = χιονοστιβάδα κορημάτων, turbidity currents = τουρβιδιτικά φορτία, erosion = διάβρωση, creep = ερυσμός, mud volcano = ηφαίστειο ιλύος, faults = ρήγματα, earthquake = σεισμός.

(Πηγή: Chiocci et al., 2011)

Τις τελευταίες δυο δεκαετίες έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον που σχετίζεται με τους υποθαλάσσιους γεωκινδύνους, καθώς γίνεται συστηματική χαρτογράφηση του θαλάσσιου πυθμένα, εξαιτίας της συνεχώς αυξανόμενης κατασκευής παράκτιων υποδομών και της ιδιαίτερα υψηλής πληθυσμιακής πυκνότητας (εικόνα 31) σε παραθαλάσσιους οικισμούς (Chiocci et al., 2011).



**Εικόνα 31:** Πληθυσμός που μένει σε απόσταση από την ακτή μικρότερη από 100 km. (Πηγή: UNEP, 2009) Ίδια επεξεργασία.

Οι συνέπειες των υποθαλάσσιων γεωκινδύνων, σχετίζονται με την κινητικότητα του θαλάσσιου πυθμένα και των ιζημάτων του. Τα ιζήματα που μετακινούνται είναι δυνατό να καταπονήσουν ή να θάψουν την υποδομή, αν πρόκειται για υποθαλάσσιους αγωγούς, ή να οδηγήσουν σε απώλεια της στήριξής της, αν πρόκειται για εξέδρα εξόρυξης. Ο όγκος των μετακινούμενων εδαφικών μαζών μπορεί να κυμανθεί από λίγες δεκάδες κυβικά μέτρα μέχρι ακόμα και μερικές χιλιάδες κυβικά χιλιόμετρα. Επομένως, οι επιπτώσεις μπορεί να είναι οικονομικές, περιβαλλοντικές, αλλά και ανθρώπινες ζωές. Το μέγεθός τους εξαρτάται από το αν σχετίζονται μόνο με τοπικές υπερβάσεις τάσης στην υποθαλάσσια κατασκευή ή με ολική απώλεια της κατασκευής. Ανάλογες με το είδος του υποθαλάσσιου γεωκινδύνου είναι και οι συνέπειες που συνεπάγονται της ενεργοποίησής του.

Οι υποθαλάσσιες κατολισθήσεις που συμβαίνουν όταν υπάρξει αστοχία των πρανών του πυθμένα είναι δυνατό να οδηγήσουν σε καταστροφή (ή θάψιμο) των εγκαταστάσεων και των υποδομών που βρίσκονται στη διαδρομή της κατολίσθησης, εξαιτίας των ισχυρών δυνάμεων που αναπτύσσονται. Επιπρόσθετα, κατά τη διάρκεια μιας κατολίσθησης η διάτμηση και ανάπλαση των ευαίσθητων ιζημάτων μπορεί να μειώσει σημαντικά την αντοχή και να προκαλέσει εκ νέου αστάθεια του πυθμένα (βλέπε §2.3).

Η σεισμική δραστηριότητα και οι κινήσεις κατά μήκος των ρηγμάτων μπορούν να προκαλέσουν επιφανειακή αστοχία, κυκλικές διατμητικές καταπονήσεις και μεγάλες διατμητικές παραμορφώσεις του πυθμένα. Οι σεισμικές αυτές τάσεις είναι δυνατό να προκαλέσουν αστάθεια των πρανών ή ρευστοποίηση των ιζημάτων,

με αποτέλεσμα την υπερφόρτιση και καταστροφή των υποθαλάσσιων κατασκευών (βλέπε §2.4).

Οι εκρήξεις ηφαιστειών ιλύος, οι διαρροές ρευστών και η διάβρωση του πυθμένα οδηγούν σε παραμόρφωση της επιφάνειας του βυθού με αποτέλεσμα την άσκηση τάσεων που δημιουργούν προβλήματα στη δομική ακεραιότητα και λειτουργικότητα των υποθαλάσσιων υποδομών, όπως στους συλλέκτες, στους αγωγούς και στα καλώδια (βλέπε §2.7).

Ένας εξίσου σημαντικός γεωκίνδυνος αφορά τους υδρίτες αερίων και ειδικότερα την διάσπασή τους, η οποία συμβαίνει εξαιτίας μεταβολών της πίεσης και της θερμοκρασίας, που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου των πόρων, την παραγωγή υπερπίεσης πόρων, μειώνοντας κατά συνέπεια την διατμητική αντοχή του εδάφους και προκαλώντας κατ' επέκταση αστάθεια του θαλάσσιου πυθμένα (βλέπε §2.6).

Επίσης, τόσο τα επιφανειακά όσο και τα εσωτερικά κύματα προκαλούν ανακυκλικές εξωτερικές τάσεις που εφαρμόζονται στον πυθμένα. Οι τάσεις αυτές είναι δυνατό να δημιουργήσουν περίσσεια πίεσης του πορώδους, με αποτέλεσμα την μείωση της διατμητικής αντοχής του εδάφους και κατά συνέπεια την αστάθεια ή ρευστοποίηση του πυθμένα.

Προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι για τις υπεράκτιες υποδομές, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός: (α) των τοποθεσιών όπου ενδέχεται να εμφανιστούν γεωκίνδυνοι, (β) των μηχανισμών ενεργοποίησής τους, (γ) της σοβαρότητας των κινήσεων και (δ) της συχνότητας εμφάνισης των γεωκινδύνων.

Στην περίπτωση των εξεδρών εξόρυξης υποθαλάσσιων κοιτασμάτων η λύση είναι η εγκατάστασή τους σε περιοχές χαμηλού κινδύνου εκδήλωσης καταστροφικών γεωκινδύνων, καθώς μια μεγάλης έκτασης υποθαλάσσια κατολίσθηση που ενεργοποιείται εξαιτίας ενός σεισμού μπορεί να έχει καταστροφικές επιπτώσεις στον πυθμένα της εξέδρας. Εντούτοις, στην περίπτωση των υποθαλάσσιων αγωγών δεν υπάρχει αυτή η δυνατότητα, λόγω του γεγονότος πως αναγκαστικά περνούν από μια εξαιρετικά μεγάλη έκταση του θαλάσσιου πυθμένα. Αυτή είναι η αιτία που συχνά ο κύριος στόχος της αξιολόγησης ενός γεωκινδύνου αφορά αποκλειστικά και μόνο διαδρομές αγωγών και την έκθεσή τους σε φαινόμενα μετακίνησης μάζας, είτε όπου διασταυρώνονται με ρήγματα ή με ζώνες ασταθών πρανών με συνεχή ερπυσμό του πρανούς, είτε όπου πρέπει απαραίτητα να διέλθουν από περιοχές όπου λαμβάνει χώρα ροή κορημάτων και τουρβιδιτικά ρεύματα (Randolph & Gourvenec, 2011).

Η αξιολόγηση των γεωκινδύνων για μεγάλα έργα, όπως εξορύξεις υδρογονανθράκων σε μεγάλα βάθη θάλασσας, περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της τοποθεσίας των δυνητικών γεωκινδύνων, καθώς και το μέγεθος των επικίνδυνων γεγονότων και τη συχνότητα με την οποία λαμβάνουν χώρα τα γεγονότα αυτά. Με τον όρο «κίνδυνος» εννοούνται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις, καθώς και οι ανθρώπινες απώλειες, που ενδέχεται να προκύψουν εξαιτίας κάποιου είδους αστοχίας σε μια ορισμένη περίοδο έκθεσης. Οι αστοχίες είναι δυνατό να είναι δομικές, λειτουργικές, γεωτεχνικές ή γεωλογικές και σχετίζονται με τον συνδυασμό των φυσικών κινδύνων, τις διαδικασίες ή τις συνθήκες και την ευπάθεια του συστήματος. Αξίζει να σημειωθεί πως ο κίνδυνος εκτός των άλλων είναι προϊόν των συνεπειών της αστοχίας, καθώς αν για παράδειγμα συμβεί μια μικρή διαρροή σε ένα σχετικά ευαίσθητο περιβάλλον θα υπάρξουν σχετικά μικρές επιπτώσεις, ενώ αντίθετα αν γίνει μια μεγάλη διαρροή σε ένα ευαίσθητο περιβάλλον οι συνέπειες ενδέχεται να είναι ιδιαίτερα σοβαρές.

Η εκτίμηση κινδύνου των γεωκινδύνων μπορεί να είναι είτε αιτιοκρατική, όταν ο κίνδυνος εκτιμάται για την περίπτωση ενός μόνο γεγονότος, είτε πιθανοκρατική, όταν ο κίνδυνος εκτιμάται ως μια αστοχία που έχει μια ορισμένη πιθανότητα εμφάνισης για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Μέσω των αιτιοκρατικών αναλύσεων υπολογίζεται ο συντελεστής ασφαλείας για την αποφυγή κατάρρευσης και η συνέπεια της κατάρρευσης για ένα συγκεκριμένο σύνολο παραμέτρων εισόδου. Για παράδειγμα, μια αιτιοκρατική ανάλυση εκτιμά αν ένα πρανές θα καταρρεύσει από ένα δεδομένο σύνολο οριακών συνθηκών, και εάν ναι, προσδιορίζει την έκταση της κατολίσθησης που προκύπτει από την κατάρρευση του πρανούς. Όμως, εάν το ζητούμενο είναι ο υπολογισμός της πιθανότητας αστοχίας (πρόβλεψη εκφραζόμενη σε ετήσια πιθανότητα αστοχίας), είναι απαραίτητη μια πιθανοκρατική ανάλυση, που εκτιμά τη συχνότητα ενός συμβάντος.

Η προσέγγιση Bayesian συνιστά μια ενδεδειγμένη μεθοδολογία ποσοτικοποίησης του κινδύνου, όπως φαίνεται στην ακόλουθη σχέση για την περίπτωση μιας υποθαλάσσιας κατολίσθησης.

$$P\left(\begin{matrix} \text{καταστροφικό} \\ \text{συμβάν} \end{matrix}\right) = P(\text{κατολίσθηση}) \times P\left(\frac{\text{επιπτώσεις}}{\text{κατολίσθηση}}\right) \times P\left(\frac{\text{ζημιές}}{\text{επιπτώσεις}}\right). \quad 2.1$$

Ο σκοπός της αξιολόγησης των γεωκινδύνων είναι να εκτιμηθεί το επίπεδο κινδύνου που απορρέει από τους γεωκινδύνους μιας συγκεκριμένης περιοχής. Τελικά, το επίπεδο του κινδύνου εκφράζεται ως το γινόμενο της πιθανότητας εμφάνισης ενός δεδομένου γεωκινδύνου και του κόστους των επιπτώσεων που προκύπτουν. Έτσι, ο μελετητής μπορεί να αποφασίσει εάν θα αποδεχθεί τους κινδύνους ως έχουν, τον μετριασμό των κινδύνων με το να μειώσει είτε την πιθανότητα εμφάνισης ή τις συνέπειες στην εγκατάστασή του ή με το να αποφύγει το κίνδυνο μετατοπίζοντας την εγκατάσταση σε μια εναλλακτική τοποθεσία (Randolph & Gourvenec, 2011).

Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει κανένα επίσημο βιομηχανικό πρότυπο για την αξιολόγηση των γεωκινδύνων. Ωστόσο, ο Kvalstad (2007) παρουσίασε μια σύνοψη των βέλτιστων πρακτικών για τους υποθαλάσσιους γεωκινδύνους υποδομών και πρότεινε η ποσοτικοποίηση των γεωκινδύνων να βασίζεται στα εξής:

Την κατανόηση της γεωλογίας της ευρύτερης περιοχής (και της τοπικής γεωλογίας), των γεωλογικών διεργασιών που είναι σε εξέλιξη και το είδος τους, καθώς επίσης τη γνώση των θέσεων και της έκτασης των ανωμαλιών (για να ποσοτικοποιηθεί η ενδεχόμενη επίπτωση) και του ποσοστού ή της συχνότητας εμφάνισης των φυσικών διεργασιών που είναι σε εξέλιξη.

Τη μελέτη του πυθμένα για τον εντοπισμό των τοπικών κλίσεων του βυθού, τη στρωματογραφία, τις ιδιότητες των ιζημάτων, το πορώδες, τις επί του πεδίου πιέσεις, τις πιέσεις πόρων και τη θερμοκρασία.

Την αξιολόγηση των ενδεχόμενων επιπτώσεων από τις ανθρώπινες δραστηριότητες εξερεύνησης, ανάπτυξης και παραγωγής στις συνθήκες του θαλάσσιου πυθμένα.

Ειδικότερα, στον πυθμένα στον οποίο πρόκειται να τοποθετηθεί μια εξέδρα εξόρυξης υδρογονανθράκων η γεωλογική και γεωφυσική έρευνα θα πρέπει να περιλαμβάνει (Randolph & Gourvenec, 2011):

- στρωματογραφία του πυθμένα,
- γεωμορφολογικές δομές στον πυθμένα, που είναι δυνατό να βοηθήσουν την εκδήλωση μίας αστοχίας,
- ύπαρξη στον θαλάσσιο πυθμένα δομών όπως ογκόλιθοι και κρατήρες,
- διαφυγές αερίων,
- επιφανειακά ρήγματα,
- υδρίτες αερίων,

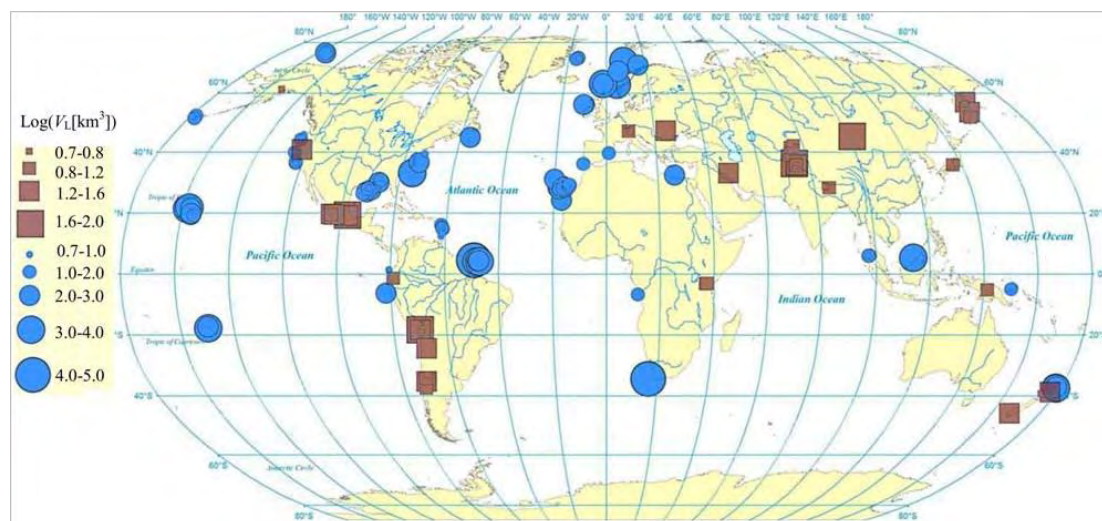
- βραχώδεις μάζες, που μπορεί να ανατραπούν καθώς βρίσκονται σε απότομες κατωφέρειες,
- επίδραση αστοχιών βραχώμαζας κατά την τοποθέτηση της θεμελίωσης,
- Συνέπειες παλαιότερων ανθρώπινων δραστηριοτήτων στον πυθμένα.

Τέλος, η απαιτούμενη γεωτεχνική έρευνα της περιοχής κάτω από την επιφάνεια του θαλάσσιου πυθμένα είναι απαραίτητο να λαμβάνει γεωτεχνικά στοιχεία για τη στρωματογραφία και την πλευρική μεταβλητότητα του εδάφους. Τα διαστήματα δειγματοληψίας και επιτόπιας μελέτης είναι απαραίτητο να εξασφαλίζουν την αντιπροσωπευτικότητα όλων των γεωλογικών στρωμάτων. Το πλήθος και το εύρος κάλυψης των ερευνητικών γεωτρήσεων εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν στο βυθό καθώς επίσης και από την ποιότητα του γεωλογικού υποβάθρου. Καθίσταται σαφές επομένως πως η γεωτεχνική έρευνα μπορεί να επηρεαστεί από την έκβαση της γεωφυσικής έρευνας, καθώς μια έντονη στρωματογραφική μεταβολή του πυθμένα για παράδειγμα απαιτεί την εκτέλεση περισσότερων ερευνητικών γεωτρήσεων. Αξίζει να σημειωθεί πως τα δείγματα, πριν αποσταλούν στο εργαστήριο πρέπει να έχουν συσκευαστεί με ιδιαίτερη προσοχή προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι διαταραχές, οι θερμοκρασιακές μεταβολές και οι μεταβολές της περιεχόμενης υγρασίας τους (Randolph & Gourvenec, 2011).

### 2.3 Υποθαλάσσιες κατολισθήσεις

Κατά καιρούς έχουν δοθεί διάφοροι ορισμοί για την έννοια της κατολίσθησης. Οι επικρατέστεροι είναι οι ακόλουθοι: Σύμφωνα με τον Terzaghi (1950), η κατολίσθηση είναι «μία γρήγορη κίνηση μάζας πετρώματος, υπολειμματικού (residual) εδάφους ή ιζήματος ενός πρανούς, της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω», ενώ σύμφωνα με τους Zaruba και Mencl (1969) είναι «μία γρήγορη κίνηση πετρωμάτων που οφείλεται στην ολίσθηση ενός τμήματος πρανούς που διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σταθερό τμήμα με μία καλά καθορισμένη επιφάνεια». Τέλος, σύμφωνα με τον Varnes (1978) η μετακίνηση μαζών είναι «η μετακίνηση τμήματος πρανούς που οφείλεται σε ολίσθηση, κατάπτωση, ανατροπή, ροή και ερπυσμό» (Γρένδας, 2016).

Η κατολίσθηση είναι ένα γεωλογικό φαινόμενο, που συνιστά γεωκίνδυνο και συναντάται τόσο σε χερσαία όσο και σε υποθαλάσσια περιβάλλοντα (εικόνα 32). Όταν μια κατολίσθηση λαμβάνει χώρα στον θαλάσσιο πυθμένα ονομάζεται υποθαλάσσια κατολίσθηση (submarine mass failure or landslide) και αποτελεί άμεσο κίνδυνο για τις υπεράκτιες και υποθαλάσσιες κατασκευές ενεργειακών υποδομών. Οι υποθαλάσσιες κατολισθήσεις εντοπίζονται πιο δύσκολα σε σχέση με τις χερσαίες, καθώς δεν εκδηλώνονται στην επιφάνεια του εδάφους, αλλά στον θαλάσσιο πυθμένα, εκατοντάδες ή και χιλιάδες μέτρα κάτω από την επιφάνεια στην οποία λαμβάνουν χώρα οι περισσότερες ανθρώπινες δραστηριότητες. Έτσι, το πλήθος των καταγεγραμμένων τέτοιων φαινομένων είναι ιδιαίτερα περιορισμένο, αιτία εξαιτίας της οποίας είχαν υποεκτιμηθεί για πολλά χρόνια ως «πηγές» τσουνάμι (McGuire & Maslin, 2013).



**Εικόνα 32:** Υποθαλάσσιες (μπλε κύκλοι) και χερσαίες (κόκκινα τετράγωνα) κατολισθήσεις. (Πηγή: Korup, 2012)

Αναλυτικότερα, οι υποθαλάσσιες κατολισθήσεις συμβαίνουν όταν οι δυνάμεις που ασκούνται επί της εδαφικής μάζας και έχουν την τάση να προκαλέσουν την αστοχία της κατά μήκος μιας επιφάνειας ολίσθησης, όπως οι βαρυτικές δυνάμεις και τα σεισμικά φορτία, είναι μεγαλύτερες από τις δυνάμεις που αντιδρούν και αντιστέκονται στην ολίσθηση, όπως η διατμητική αντοχή κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης<sup>2</sup>, με αποτέλεσμα την αστοχία του υποθαλάσσιου πρηνούς. Επομένως, θα ήταν δυνατό να οριστεί ως υποθαλάσσια κατολίσθηση, η μετακίνηση των ιζημάτων

<sup>2</sup> Η εσωτερική τριβή ανάμεσα στους κόκκους.

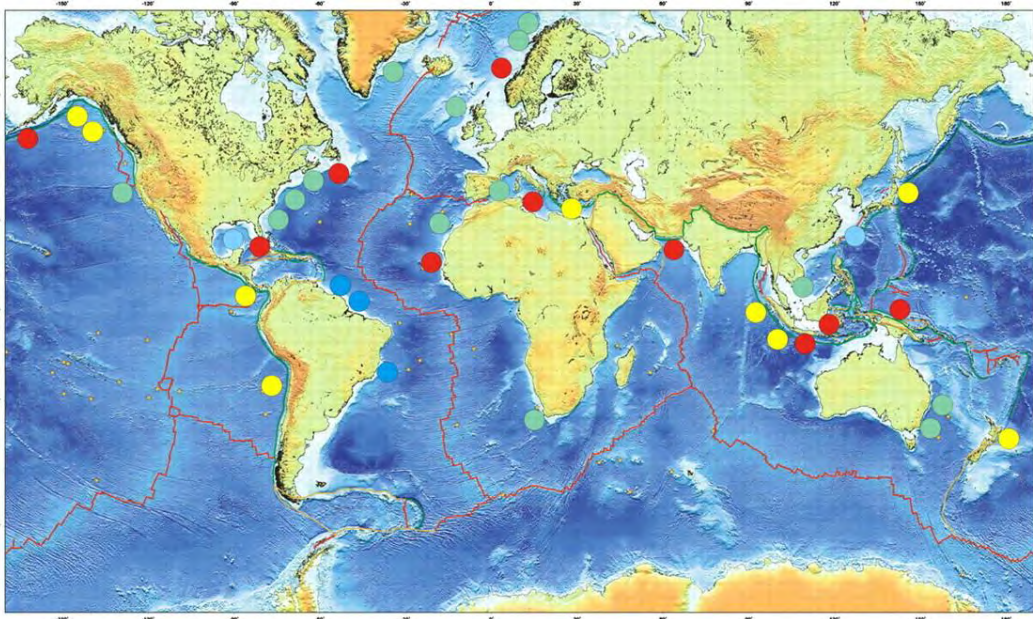
υπό την επίδραση της βαρύτητας σε βαθύτερες περιοχές του θαλάσσιου πυθμένα σε πρηνή ακόμα και με πολύ μικρές κλίσεις ( $< 1^\circ$ ), (Παπαμάλαμα, 2019).

Οι δυνάμεις που ανθίστανται στην ολίσθηση εξαρτώνται κυρίως από την πίεση των πόρων των ιζημάτων. Όταν η πίεση των πόρων γίνει μεγαλύτερη από την υδροστατική πίεση, τότε στους εδαφικούς κόκκους ασκείται μια αποσταθεροποιητική τάση, που μειώνει την αντοχή του. Κατά συνέπεια, οποιαδήποτε διεργασία οδηγεί σε αύξηση της πίεσης των πόρων, όπως η γρήγορη εναπόθεση ιζημάτων, έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός ασταθούς πρηνούς. Κατά συνέπεια, ένα εξωτερικό αίτιο, όπως μια σεισμική διέγερση, είναι δυνατό να ενεργοποιήσει την αστάθεια του πρηνούς και κατ' επέκταση την εδαφική μετακίνηση της μάζας λόγω βαρύτητας, γνωστή και ως υποθαλάσσια κατολίσθηση (Παπαμάλαμα, 2019).

Αξίζει να σημειωθεί πως για να θεωρηθεί μια βαρυτική ροή μάζας ως κατολίσθηση πρέπει η πλειονότητα του όγκου του εδαφικού υλικού, που μετακινείται, να έχει πυκνότητα τουλάχιστον 10% μεγαλύτερη από την πυκνότητα του νερού (Blasio, 2011). Οι υποθαλάσσιες κατολισθήσεις εμφανίζουν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τις αντίστοιχες χερσαίες ως προς τη μηχανική τους ισορροπία, την κινηματική και τη δυναμική τους (Mosher et al., 2010). Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός πως ο όγκος της κατολισθαίνουσας μάζας μίας υποθαλάσσιας κατολίσθησης υπερβαίνει κατά τρεις φορές τον όγκο των αντίστοιχων χερσαίων, για αυτό άλλωστε οι υποθαλάσσιες κατολισθήσεις συχνά ευθύνονται για την μετακίνηση ιζημάτων σε αποστάσεις της τάξης των 1.000 km (Παπαμάλαμα, 2019).

Υποθαλάσσιες κατολισθήσεις συμβαίνουν τόσο σε ενεργά όσο και σε παθητικά ηπειρωτικά περιθώρια, στο εσωτερικό υποθαλάσσιων φαραγγίων, φιόρντ και υποθαλάσσιων απολήξεων ποτάμιων συστημάτων, όπως δέλτα και εκβολές ποταμών, καθώς επίσης και σε ηφαιστειακά νησιά (εικόνα 33). Επιστημονικές μελέτες έχουν αποδείξει ότι οι υποθαλάσσιες κατολισθήσεις διαδραματίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στη τοποθεσία και τη γεωμετρία των κοιτασμάτων υδρογονανθράκων, λόγω του σχηματισμού παγίδων υδρογονανθράκων (Παπαμάλαμα, 2019).

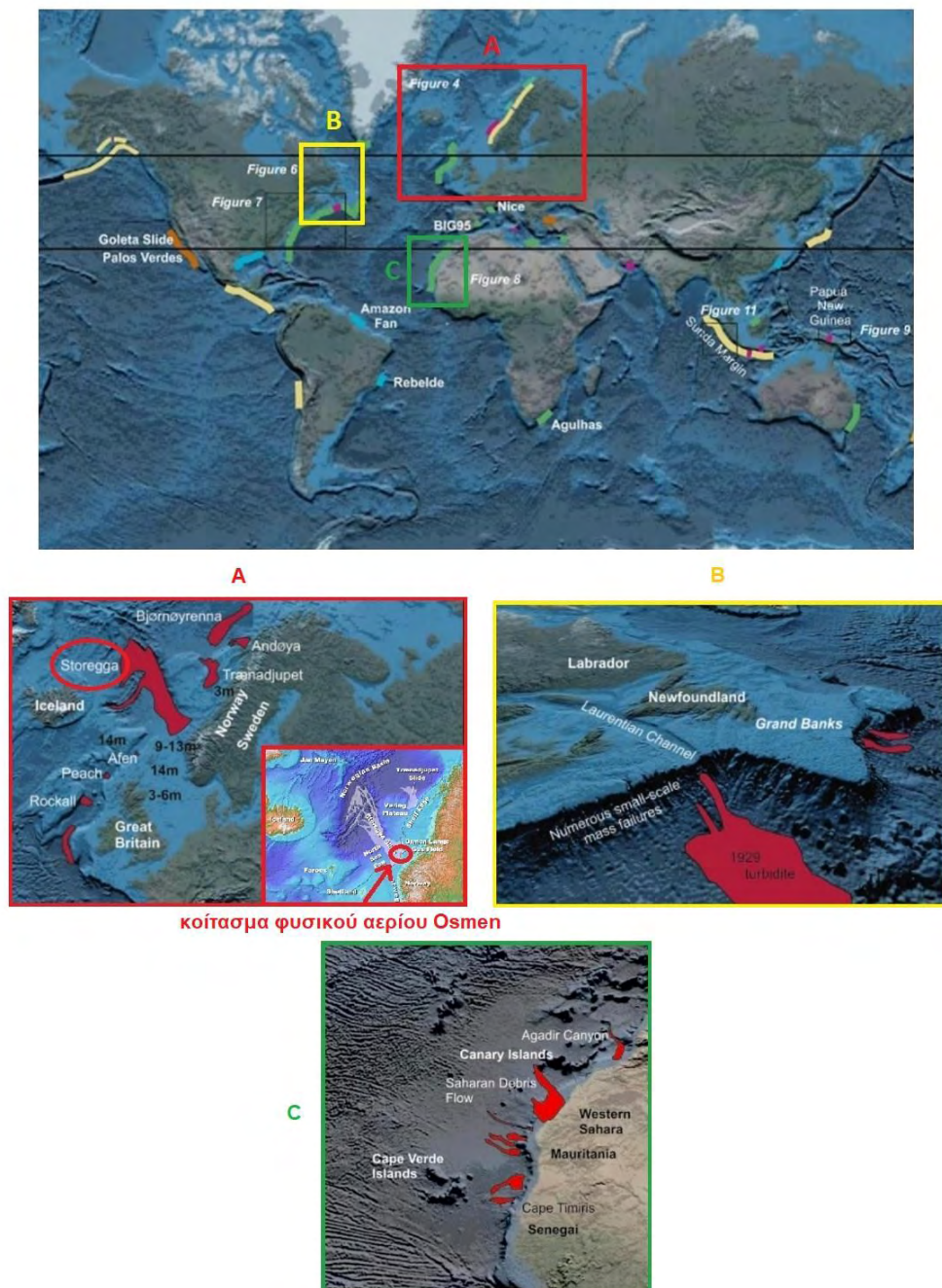




**Εικόνα 33:** Η θέση των μεγαλύτερων υποθαλάσσιων κατολισθήσεων παγκοσμίως. **Πράσινο** = υποθαλάσσιες κατολισθήσεις (χωρίς τσουνάμι) εντός λιθοσφαιρικών πλακών, **Κίτρινο** = υποθαλάσσιες κατολισθήσεις (χωρίς τσουνάμι) κατά μήκος των περιθωρίων των λιθοσφαιρικών πλακών, **κόκκινο** = τσουνάμι που προκλήθηκε εξαιτίας υποθαλάσσιας κατολίσθησης, **γαλάζιο** = ενεργά ποτάμια συστήματα (χωρίς τσουνάμι).  
(Πηγή: Tappin, 2010)

Μια από τις μεγαλύτερες υποθαλάσσιες κατολισθήσεις ανακαλύφθηκε βορειοδυτικά των ακτών της Νορβηγίας την δεκαετία του 1970 και έκτοτε είναι γνωστή ως η κατολίσθηση Storegga (Bugge, 1983). Πρόσφατες μελέτες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το κύριο κατολισθητικό φαινόμενο έγινε πριν από 8.200 χρόνια και μετακίνησε 2.500 με 3.500 km<sup>3</sup> εδαφικού υλικού (Haflidason et al., 2005) σε μια περιοχή με κλίση πυθμένα μικρότερη από 2<sup>0</sup> (Bugge, et al., 1998), (Bryn, et al., 1998). Η συνολική εδαφική μάζα που επηρεάστηκε από το συμβάν εκτιμάται ότι ήταν τουλάχιστον 30.000 km<sup>3</sup> και οι αποστάσεις εκτροπής προσέγγισαν ακόμα και τα 800 km (Kvalstad, et al., 2001). Το μέγεθος της κατολίσθησης ήταν τόσο μεγάλο που προκάλεσε τσουνάμι ύψους 20-30 m στα κοντινά νησιά Shetland, 10-12 m στις ακτές της Νορβηγίας και 4-6 m στη Σκωτία (Bondevik et al., 2003). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως εντός της περιοχής, που πραγματοποιήθηκε η κατολίσθηση Storegga πριν χιλιάδες χρόνια, και ειδικότερα στην πλευρική προεξοχή της, βρίσκεται το μεγάλο κοίτασμα φυσικού αερίου Osmen στη Βόρεια Θάλασσα (Bugge, et al., 1998), (Bryn, et al., 1998).

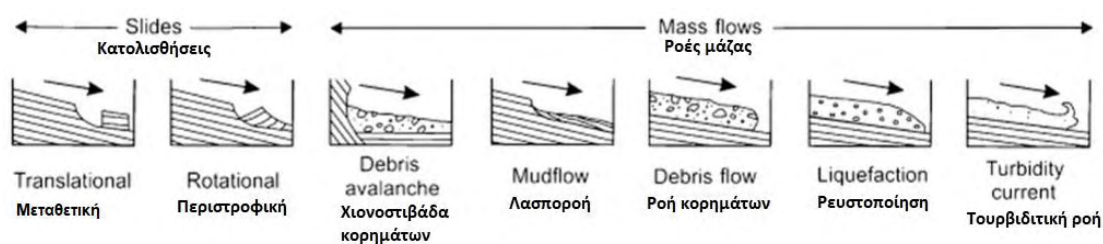
Η μεγαλύτερη υποθαλάσσια κατολίσθηση των τελευταίων 100 χρόνων και μεγαλύτερη στα χρονικά των ανατολικών ακτών της Αμερικανικής ηπείρου συνέβη το 1929 στον Καναδά και συνοδεύτηκε από τον ισχυρό σεισμό Grand Banks (το αίτιό της). Η κατολίσθηση έμεινε στην ιστορία με το όνομα Laurentian και το τσουνάμι (ύψους έως και 8 m) που ακολούθησε προκάλεσε δεκάδες ανθρώπινες απώλειες και σοβαρές υλικές ζημιές. Στην εικόνα 34 παρουσιάζονται αναλυτικότερα ορισμένες από τις μεγαλύτερες υποθαλάσσιες κατολισθήσεις του πλανήτη.



**Εικόνα 34:** Παρουσίαση ορισμένων μεγάλων υποθαλάσσιων κατολισθήσεων. (Πηγή: McGuire & Maslin, 2013) Ίδια επεξεργασία.

Οι υποθαλάσσιες κατολισθήσεις μπορούν να προκαλέσουν ιδιαίτερα σημαντικές ζημιές σε υποθαλάσσιες υποδομές, όπως οι αγωγοί μεταφοράς καυσίμων, τα υποθαλάσσια καλώδια και τα θεμέλια των υπεράκτιων εξέδρων άντλησης υδρογονανθράκων ή θαλάσσιων αιολικών πάρκων (Παπαμάλαμα, 2019).

Υπάρχουν δυο τύποι υποθαλάσσιων κατολισθήσεων, οι μεταθετικές (επίπεδη επιφάνεια ολίσθησης) και οι περιστροφικές (κυκλική επιφάνεια ολίσθησης). Οι υποθαλάσσιες εδαφικές ροές διακρίνονται με τη σειρά τους ανάλογα με την ταχύτητα μετακίνησης (ή ολίσθησης) των υλικών, τη συνοχή των κόκκων της ροής και την αναλογία ιζήματος/ρευστού σε χιονοστιβάδες κορημάτων (debris avalanche), λασποροές (mudflow), ροές κορημάτων (debris flow), ρευστοποιημένες ροές (liquefaction) και τουρβιδιτικές ροές (turbidity current), όπως φαίνεται στην εικόνα 35 (McGuire & Maslin, 2013).



**Εικόνα 35:** Είδη υποθαλάσσιων κατολισθήσεων και ροών.  
(Πηγή: McGuire & Maslin, 2013) Ίδια επεξεργασία.

Χιονοστιβάδα κορημάτων (debris avalanche) ονομάζεται η ταχεία ροή κομματιών βράχου και ογκόλιθων, που λαμβάνει χώρα σε υποθαλάσσιες περιοχές με μεγάλη κλίση, όπως οι υποθαλάσσιες χαράδρες. Οι συνέπειες του φαινομένου αυτού είναι καταστροφικές, εξαιτίας των εξαιρετικά μεγάλων ταχυτήτων μεταφοράς και περιστροφής, που οφείλονται στην μετατροπή της δυναμικής ενέργειας σε κινητική. Η λασποροή (mud flow) και η ροή κορημάτων (debris flow) είναι στρωτές, συνεκτικές ροές ιζημάτων λεπτόκοκκης μάζας, στις οποίες το χονδρόκοκκο υλικό διατηρείται σε αιώρηση λόγω των δυνάμεων άνωσης της ρέουσας μάζας. Ρευστοποιημένη ροή (liquefied flow) είναι η ροή μη συνεκτικών ιζημάτων, τα οποία αιωρούνται εξαιτίας της εκτόπισης του νερού προς τα πάνω. Τουρβιδιτική ροή (turbidity current) ονομάζεται μια βαρυντική ροή, στην οποία οι κόκκοι του ιζήματος διατηρούνται σε αιώρηση, εξαιτίας τυρβώδους ροής (Παπαμάλαμα, 2019).

Μέχρι και σήμερα δεν έχουν καταστεί απόλυτα κατανοητοί όλοι οι μηχανισμοί που συνδέονται με την έναρξη του υποθαλάσσιου κατολισθητικού φαινομένου (Mosher et al., 2010). Ωστόσο, είναι γνωστό πως διακρίνονται σε ξαφνικούς και σταδιακούς, ανάλογα με την ταχύτητα δράσης τους, και σε φυσικούς και ανθρωπογενείς, ανάλογα με την πηγή τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι υποθαλάσσιες κατολισθήσεις είναι δυνατό να ενεργοποιηθούν ακόμα και σε πυθμένα με κλίση  $0.5^{\circ}$  (Randolph & Gourvenec, 2011).

Αιτία υποθαλάσσιων κατολισθήσεων μπορεί να είναι οποιαδήποτε διεργασία, φυσική ή ανθρωπογενής, τείνει να προκαλέσει αύξηση των εδαφικών τάσεων ή μείωση της αντοχής του εδάφους, οδηγώντας στην αστοχία της εδαφικής μάζας. Η εκτίμηση ενδεχόμενων εδαφικών αστοχιών καθίσταται εφικτή μέσω της κατανόησης της πίεσης των πόρων και των μηχανισμών που προκαλούν την αύξηση της πίεσης των πόρων (Randolph & Gourvenec, 2011).

Οι κυριότερες φυσικές διεργασίες που μπορούν να προκαλέσουν υποθαλάσσιες κατολισθήσεις είναι οι εξής (Kvalstad et al., 2001):

- Η ταχεία απόθεση υλικών, που έχει ως αποτέλεσμα υπέρβαση της πίεσης των πόρων, υποστερεοποίηση και αύξηση των διατμητικών τάσεων του πρανούς.
- Η διάβρωση του πόδα του πρανούς (ή η απόθεση κορυφής), που οδηγεί σε αύξηση της κλίσης του πρανούς, και κατά συνέπεια αύξηση των βαρυτικών δυνάμεων και των διατμητικών τάσεων κατά μήκος δυνητικών επιφανειών αστοχίας.
- Η τήξη των υδριτών αερίων<sup>3</sup> του πυθμένα, εξαιτίας αύξησης της θερμοκρασίας ή μείωσης της πίεσης, εξαιτίας αυξημένης πίεσης πόρων και μειωμένης εδαφικής αντοχής.
- Η ενεργή ροή υγρών ή αερίων και η εκτίναξη τους.
- Η έκρηξη ηφαιστειών ιλύος και διάλυρων άλατος.
- Η ενεργοποίηση τεκτονικών ρηγμάτων, που έχει ως αποτέλεσμα την εκδήλωση σεισμών, μετατοπίσεων και αστοχιών του εδάφους.
- Οι σεισμοί, που προκαλούν ισχυρές εδαφικές αναταράξεις, δυνάμεις αδρανείας (βραχυπρόθεσμα) και αύξηση της πίεσης των πόρων.

---

<sup>3</sup> Οι υδρίτες αερίων είναι ενώσεις αερίου (μεθανίου) με νερό, που έχουν την ιδιότητα να διατηρούνται σταθερές μόνο σε ορισμένες συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.

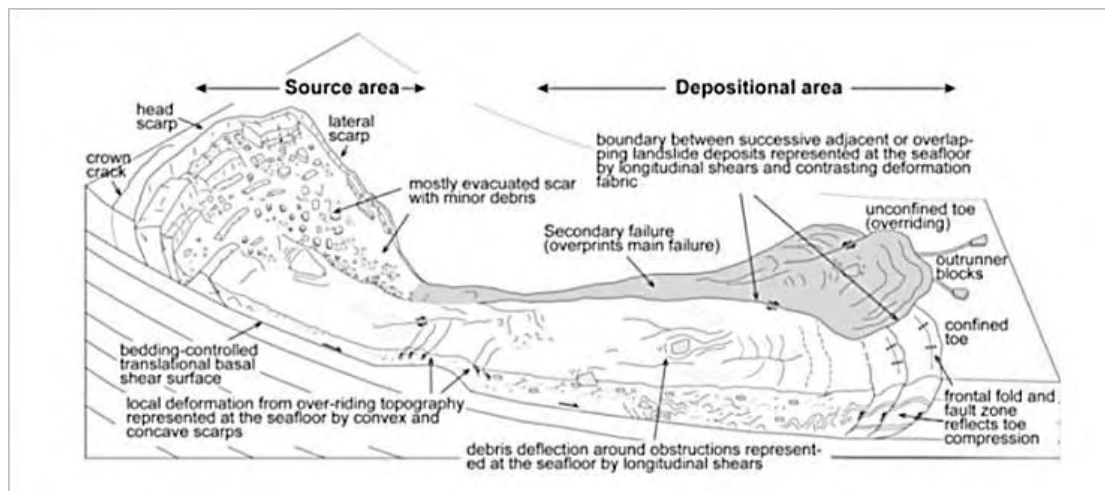
- Το εσωτερικά κύματα ή σολιτόνια (κύματα δηλαδή που ταξιδεύουν με σταθερή ταχύτητα, χωρίς να αλλάζει το σχήμα τους), εξαιτίας διαφοράς πυκνότητας, στα ρηχά νερά.
- Τα μικρής αντοχής εδάφη, καθώς χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα αυξημένο κίνδυνο εκδήλωσης παλινδρομικής ολίσθησης και μεγάλη έκταση ζωνών αστοχίας.
- Η πτώση της στάθμης της θάλασσας κατά τις περιόδους των παγετώνων, που έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την μείωση της υδροστατικής πίεσης και συνεπώς την εκτόνωση των ελεύθερων αερίων και την προ-διάλυση των υδριτών αερίων.
- Η υψηλή θερμοκρασία του νερού στο επίπεδο του θαλάσσιου πυθμένα, εξαιτίας μεταβολών των ρευμάτων, η οποία οδηγεί σε άμεση αύξηση της θερμοκρασίας της εδαφικής μάζας του πυθμένα και σε προ-διάλυση των υδριτών αερίων.

Οι βασικότερες ανθρωπογενείς διεργασίες που μπορούν να προκαλέσουν υποθαλάσσιες κατολισθήσεις είναι οι εξής (Kvalstad et al., 2001):

- Οι γεωτρήσεις, καθώς προκαλούν εκρήξεις και κρατήρες στο θαλάσσιο πυθμένα.
- Οι υπόγειες εκρήξεις, που μεταβάλλουν την πίεση πόρων σε ρηχά υποστρώματα, μετατρέποντας κεκλιμένες περιοχές του βυθού σε δυνητικά ασταθείς.
- Η αύξηση της θερμοκρασίας και της ροής θερμότητας περιμετρικά των γεωτρήσεων άντλησης πετρελαίου, που έχει ως συνέπεια την διάσπαση των υδριτών αερίων, την αύξηση της πίεσης πόρων και κατά συνέπεια την μείωση της εδαφικής αντοχής.
- Η μείωση της πίεσης του ταμιευτήρα των υδρογονανθράκων, που έχει ως συνέπεια την καθίζηση του ταμιευτήρα και μεταβολή των τάσεων των υπερκείμενων στρωμάτων.
- Οι δραστηριότητες των εγκαταστάσεων ενεργειακών υποδομών (όπως οι πλατφόρμες εξόρυξης), που οδηγούν σε αύξηση των βαρυτικών δυνάμεων.

- Οι εγκαταστάσεις ελλιμενισμού και αγκυρώσεων του πυθμένα, που προκαλούν πλευρικές δυνάμεις, τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα.

Αξίζει να σημειωθεί πως υποθαλάσσιες κατολισθήσεις, ροές κορημάτων και λασποροές είναι δυνατό να προκληθούν εκτός των άλλων από περιοδικές τάσεις κυματισμών (Henkel, 1970). Παρακάτω απεικονίζεται σχηματικά μια υποθαλάσσια κατολίσθηση (εικόνα 36).

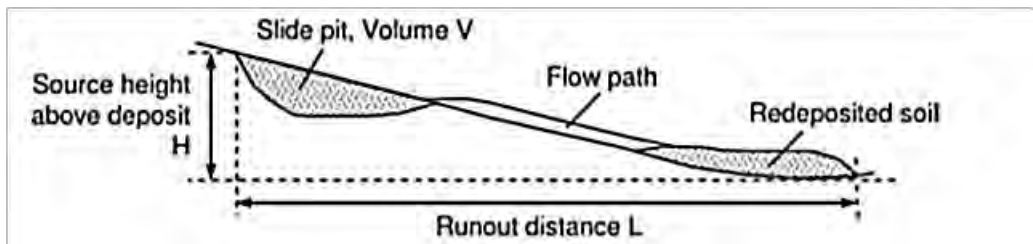


**Εικόνα 36:** Σχηματική απεικόνιση υποθαλάσσιας κατολίσθησης.

source area = ζώνη πηγής, depositional area = ζώνη απόθεσης, lateral scarp = απότομη πλευρική κατωφέρεια, crown crack = ρωγμή στέψης, head scarp = απότομη κατωφέρεια κεφαλής, blocks = μετακινούμενα κομμάτια βράχων, secondary failure = δευτερογενής αστοχία, fault zone = ζώνη ρήγματος, outrunner blocks = μετακινούμενα τμήματα βράχων.

(Πηγή: Mountjoy & Micallef, 2018)

Η γεωμετρική απεικόνιση της κινητικότητας των υποθαλάσσιων κατολισθήσεων είναι δυνατή μέσω της χρήσης του λόγου εκτροπής L/H, όπου “L” είναι η οριζόντια απόσταση από την πηγή της κατολίσθησης μέχρι το τέλος της μετακίνησης και όπου “H” είναι η κατακόρυφη απόσταση, όπως φαίνεται στην εικόνα 37 (Heim, 1932).

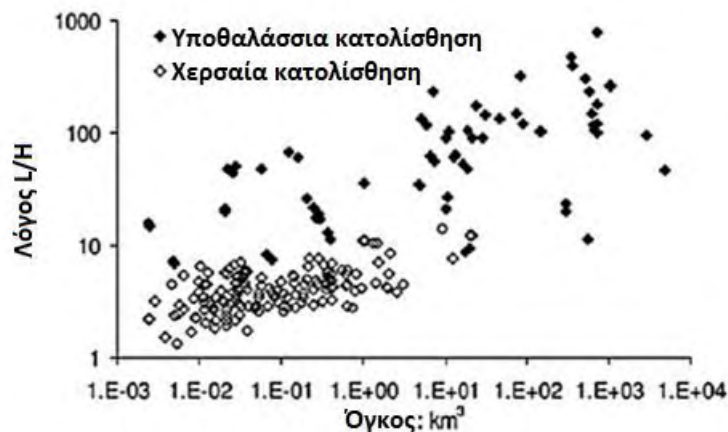


**Εικόνα 37:** Η κινητικότητα μιας υποθαλάσσιας κατολίσθησης.

source height above deposit = υψομετρική διαφορά πηγής, εναπόθεσης, slide pit, = λάκκος ολίσθησης, flow path = διαδρομή ροής, redeposited soil = εναποθετημένο έδαφος, runout distance = οριζόντια απόσταση μεταφοράς.

(Πηγή: Randolph & Gourvenec, 2011)

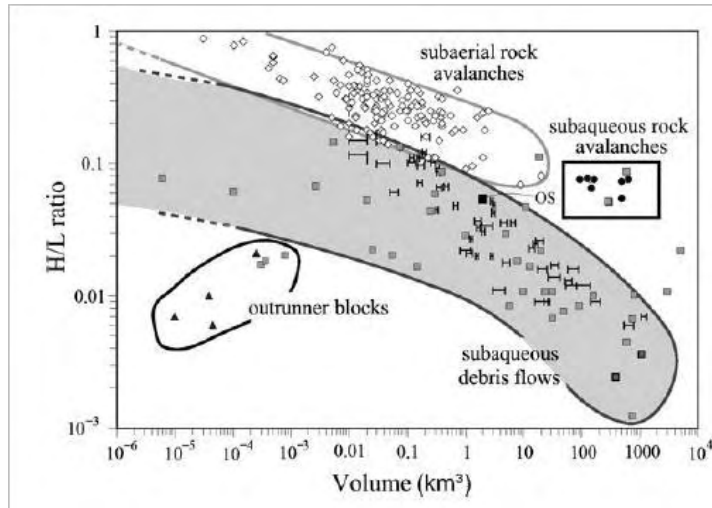
Στην εικόνα 38 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα της μεταβολής του λόγου εκτροπής ( $L/H$ ) συναρτήσει του όγκου ορισμένων υποθαλάσσιων και χερσαίων κατολισθήσεων. Παρατηρείται πως οι υποθαλάσσιες κατολισθήσεις συνήθως χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερο όγκο κατολισθαίνουσας μάζας και μεγαλύτερη απόσταση εκτροπής (λόγω μεγαλύτερου λόγου  $L/H$ ) σε σχέση με τις χερσαίες. Κατά συνέπεια το νερό αυξάνει την κινητικότητα της κατολισθαίνουσας μάζας, ενισχύοντας την ροή των κατολισθήσεων (Randolph & Gourvenec, 2011).



**Εικόνα 38:** Διάγραμμα του όγκου κατολίσθησης σε σχέση με το λόγο  $L/H$ .

(Πηγή: Randolph & Gourvenec, 2011) Ίδια επεξεργασία.

Στην παρακάτω εικόνα πραγματοποιείται συγκριτική απεικόνιση του όγκου για διάφορα είδη βαρυτικής ροής σε σχέση με το λόγο  $H/L$  (εικόνα 39).



**Εικόνα 39:** Διάγραμμα του όγκου για διάφορα είδη βαρυτικής ροής σε σχέση με το λόγο H/L.

subaerial rock avalanches = χερσαίες χιονοστιβάδες βράχων, subaqueous rock avalanches υποθαλάσσιες χιονοστιβάδες βράχων, outrunner blocks = μετακινούμενα κομμάτια βράχων, subaqueous debris flow = υποθαλάσσια ροή κορημάτων.

(Πηγή: Micallef et al., 2018)

Καθίσταται σαφές πως με όποιον τρόπο και αν αναλυθεί η **αστοχία του πρανούς**, που σηματοδοτεί την έναρξη κάθε κατολίσθησης, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθες βασικές προϋποθέσεις (Randolph & Gourvenec, 2011):

- Αστράγγιστες συνθήκες, εάν ο μηχανισμός ενεργοποίησης είναι τόσο γρήγορος ώστε δεν συμβαίνει στράγγιση. Σχετίζονται με την επιπλέον πίεση πόρων, που είναι δυνατό να προκληθεί εξαιτίας μιας σεισμικής διέγερσης
- Πλήρως στραγγιζόμενες συνθήκες, όταν δεν υπάρχει επιπλέον πίεση πόρων. Σχετίζονται με το εάν ένα υποθαλάσσιο πρανές έχει ολισθήσει αρκετά αργά, ώστε οι πιέσεις πόρων να είναι παντού υδροστατικές και να μην υπάρχουν διαρροές.
- Μερικώς στραγγιζόμενες συνθήκες, όταν παρόλο που έχει συμβεί κάποια διάχυση πίεσης πόρων, παραμένει επιπλέον πίεση πόρων. Οι συνθήκες αυτές είναι δυνατό να προκύψουν από διάφορες γεωλογικές, γεωφυσικές και γεωτεχνικές διεργασίες που καταλήγουν σε επιπλέον πίεση πόρων<sup>4</sup>.

Η ευστάθεια ενός πρανούς εκφράζεται μέσω του συντελεστή ασφαλείας, που συμβολίζεται με το γράμμα  $F$ , και υπολογίζεται από τη σχέση:

<sup>4</sup> Περισσότερο από την υδροστατική.



$$F = \frac{\tau_{ult}}{\tau_{mob}}, \quad 2.2$$

όπου

$\tau_{ult}$ , η διαθέσιμη διατμητική αντοχή των ιζημάτων του πυθμένα,

$\tau_{mob}$ , η απαιτούμενη διατμητική αντοχή για την πρόληψη της κατολίσθησης.

Για αστράγγιστες συνθήκες η μέγιστη διατμητική αντοχή δίνεται μέσω ενός κριτηρίου αστοχίας ολικών τάσεων:

$$\tau_{ult} = s_u + \sigma_n \tan \varphi, \quad 2.3$$

όπου

$s_u$ , η αστράγγιστη διατμητική αντοχή,

$\sigma_n$ , η ορθή τάση στο επίπεδο αστοχίας,

$\varphi$ , η γωνία τριβής του εδάφους.

Για στραγγιζόμενες συνθήκες η μέγιστη διατμητική αντοχή δίνεται μέσω ενός κριτηρίου αστοχίας ενεργών τάσεων:

$$\tau_{ult} = \tau'_f = c' + \sigma'_n \tan \varphi', \quad 2.4$$

όπου

$c'$ , η συνοχή του εδάφους,

$\sigma'_n$ , η ενεργή ορθή τάση στο επίπεδο αστοχίας,

$\varphi'$ , η ενεργή γωνία τριβής του εδάφους.

Επίσης, ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις:

$$\sigma' = \sigma - u, \quad 2.5$$

όπου

$\sigma'$ , η ενεργός τάση,

$\sigma$ , η ολική τάση,

$u$ , η πίεση του νερού των πόρων.

$$u = u_0 + \Delta u, \quad 2.6$$

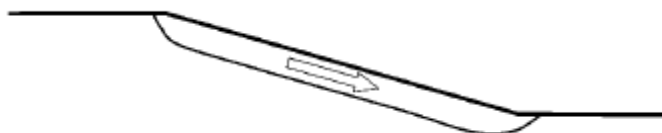
όπου

$u_0$  , η αρχική πίεση του νερού των πόρων,

$\Delta u$  , η αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων λόγω σεισμού, υδριτών αερίων, κυματικής φόρτισης, διάβρωσης κ.α.

Όταν η αστοχία του πρανούς λαμβάνει χώρα για πρώτη φορά, ο υπολογισμός της ευστάθειας γίνεται από την οριακή αντοχή του εδάφους, ενώ όταν έχει ξανασυμβεί στο παρελθόν ολίσθηση στο πρανές, ο υπολογισμός της ευστάθειας γίνεται από την παραμένουσα αντοχή. Αξίζει να σημειωθεί πως η διατμητική αντοχή του εδάφους εξαρτάται από την ορυκτολογική σύσταση, το σχήμα, το μέγεθος και τη διάταξη των κόκκων, καθώς επίσης από το δείκτη πόρων, την υγρασία, το καθεστώς των τάσεων πεδίου και την ιστορία της φόρτισης (Randolph & Gourvenec, 2011).

Όταν το πρανές είναι ρηχό (αβαθές), όπως φαίνεται στην εικόνα 40, η επιφάνεια αστοχίας βρίσκεται μόλις λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια του πρανούς και η αστοχία συμβαίνει παράλληλα με τη μετωπική επιφάνεια του πρανούς. Η ανάλυση πρανούς είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για περιπτώσεις πολύ ρηχών μεταθετικών ολισθήσεων και είναι κατάλληλη για ήπιας κλίσης και μεγάλης έκτασης υποθαλάσσια πρανή, στα οποία η αστοχία τείνει να είναι επίπεδη και σχεδόν παράλληλη με την ολίσθηση (Randolph & Gourvenec, 2011).



**Εικόνα 40:** Σχηματική αναπαράσταση μηχανισμού αστοχίας ρηχού πρανούς.  
(Πηγή: Randolph & Gourvenec, 2011)

Όταν ένα εδαφικό τμήμα μήκους  $L$ , που αποτελεί μέρος ενός πρανούς απείρου μήκους, αστοχεί, οι δυνάμεις που ασκούνται σε αυτό διακρίνονται σε κάθετες  $N$ , που δρουν κάθετα στο επίπεδο ολίσθησης, και διατμητικές  $S$ , που δρουν παράλληλα με το επίπεδο ολίσθησης. Οι δυνάμεις αυτές είναι συνάρτηση του βάρους  $W$  του εδαφικού τμήματος (εικόνα 41). Οι δυνάμεις  $F_1$ ,  $F_2$  αλληλοεξουδετερώνονται ως ίσες και αντίθετες, ενώ η πίεση του νερού των πόρων δίνεται από την σχέση:

$$u = \gamma_w z L \sin \alpha \cos \alpha , \quad 2.7$$

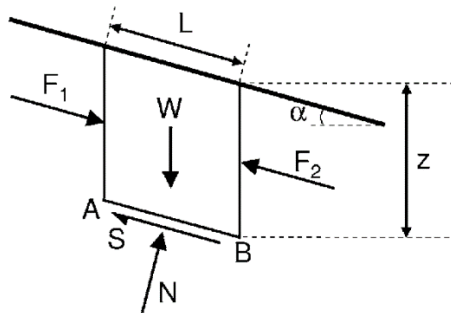
όπου

$\gamma_w$  , το ειδικό βάρος του νερού,

$z$  , το ύψος,

$L$  , το μήκος,

$\alpha$  , η γωνία κλίσης του πρανούς.



**Εικόνα 41:** Οι δυνάμεις που ασκούνται σε ένα εδαφικό τμήμα πρανούς απείρου μήκους.  
(Πηγή: Randolph & Gourvenec, 2011)

Ειδικότερα, ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις:

$$W = \gamma z L \cos \alpha , \quad 2.8$$

όπου

$W$  , το βάρος του εδαφικού τμήματος,

$\gamma$  , το ειδικό βάρος του εδάφους,

$z$  , το ύψος,

$L$  , το μήκος,

$\alpha$  , η γωνία κλίσης του πρανούς.

$$N' = W \cos \alpha - \gamma_w z L \cos^2 \alpha = \gamma' z L \cos^2 \alpha , \quad 2.9$$

$$S = W \sin \alpha - \gamma_w z L \sin \alpha \cos \alpha = \gamma' z L \sin \alpha \cos \alpha , \quad 2.10$$

όπου

$N'$  , η ενεργή κάθετη τάση,

$S$  , η ενεργή διατμητική τάση,

$\gamma'$  , το βυθτισμένο ειδικό βάρος του εδάφους, που υπολογίζεται ως  $\gamma' = \gamma - \gamma_w$ .

$$\sigma'_s = \frac{N'}{A} = \gamma' z \cos^2 \alpha , \quad 2.11$$

$$\tau_s = \frac{S}{A} = \gamma' z \sin\alpha \cos\alpha , \quad 2.12$$

όπου

$\sigma'_s$  , η ονομαστική ορθή τάση που δρα πάνω στην επιφάνεια ολίσθησης A μοναδιαίου πλάτους (L=1),

$\tau_s$  , η ονομαστική διατμητική τάση που δρα πάνω στην επιφάνεια ολίσθησης A μοναδιαίου πλάτους (L=1).

Για αστράγγιστες συνθήκες, ο υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας  $F$  πραγματοποιείται μέσω ενός κριτηρίου ολικής αστοχίας ( $\tau_{ult} = S_u$ ) ως εξής:

$$F = \frac{2 s_u}{\gamma' z \sin\alpha \cos\alpha} = \frac{2 s_u}{\gamma' z \sin 2\alpha} . \quad 2.13$$

Για οριακή ισορροπία πρανών και μοναδιαίο συντελεστή ασφαλείας ( $F=1$ ), η κρίσιμη γωνία πρανούς  $\alpha_{ult}$  υπολογίζεται ως εξής:

$$\alpha_{ult} = 0,5 \arcsin \left( \frac{2 s_u}{\gamma'_z} \right) . \quad 2.14$$

Οι εξισώσεις 2.13 και 2.14 είναι δυνατό να μετασχηματιστούν στις 2.15 και 2.16 αντίστοιχα:

$$F = \frac{2 k}{\sin 2\alpha} , \quad 2.15$$

$$\alpha_{ult} = 0,5 \arcsin (2 k) , \quad 2.16$$

όπου

$k$  , ο λόγος της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής ( $k = \frac{s_u}{\sigma'_{v0}}$ ),

$\sigma'_{v0}$  , η ενεργή ορθή γεωστατική τάση πεδίου.

Για μια μαλακή κανονικά στερεοποιημένη υποθαλάσσια απόθεση, ο λόγος της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής  $k$  είναι περίπου 0,2 και κατά συνέπεια η κρίσιμη γωνία του πρανούς είναι  $\alpha_{ult} = 12$ . Με βάση τα παραπάνω, ένα πρανές που έχει ήδη αστοχήσει μια φορά στο παρελθόν, έχει μικρότερη διατμητική αντοχή και επομένως μικρότερη κρίσιμη γωνία πρανούς  $\alpha_{ult}$  (Randolph & Gourvenec, 2011).

Αξίζει να σημειωθεί πως η κρίσιμη γωνία ενός πρανούς υπό αστράγγιστες συνθήκες εξαρτάται από το βάθος της επιφάνειας ολίσθησης. Αν το βάθος αυτό είναι σχετικά μεγάλο, τότε δεν είναι πλέον εφικτή η προσέγγιση της αστοχίας με ολίσθηση παράλληλα προς την επιφάνεια ολίσθησης και πρέπει να αντιμετωπιστεί ως μια αστοχία με επιφάνεια ολίσθησης μεγάλου βάθους.

Για στραγγιζόμενες συνθήκες ο υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας  $F$  πραγματοποιείται μέσω ενός κριτηρίου αστοχίας για ενεργές τάσεις ( $\tau_{ult} = \sigma' \tan\varphi_{crit}$ ) ως εξής:

$$F = \frac{\gamma' z \cos^2\alpha \tan\varphi_{crit}}{\gamma' z \sin\alpha \cos\alpha} = \frac{\tan\varphi_{crit}}{\tan\alpha} . \quad 2.17$$

Συμπερασματικά, με βάση την εξίσωση 2.17, η οριακή τιμή που είναι δυνατό να λάβει η γωνία  $\alpha$  ενός υποθαλάσσιου πρανούς, χωρίς υπέρβαση της πίεσης του νερού των πόρων είναι:  $\alpha_{ult} = \varphi_{crit}$ . Ωστόσο, ο μηχανισμός αστοχίας υπό στραγγιζόμενες συνθήκες, όπου οι μόνες δυνάμεις που ασκούνται στο πρανές είναι οι βαρυτικές, είναι εξαιρετικά σπάνιος, καθώς συνήθως  $\varphi_{crit} > 20^\circ$  (Randolph & Gourvenec, 2011).

Η ενεργή ορθή τάση που ασκείται στο επίπεδο αστοχίας σε ένα βάθος  $z$  κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας, μειώνεται εξαιτίας της υπερπίεσης του νερού των πόρων  $u_e$  και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\sigma'_n = \gamma' z \cos^2\alpha - u_e . \quad 2.18$$

Η υπερστερεοποίηση εξαιτίας των γρήγορων ρυθμών ιζηματογένεσης είναι η αιτία της υπερπίεσης του νερού των πόρων με αποτέλεσμα η τελική διατμητική τάση να δίνεται από την εξής σχέση:

$$\tau_{ult} = k \sigma'_n = k (\gamma' z \cos^2\alpha - u_e) . \quad 2.19$$

Οπότε, ο συντελεστής ασφαλείας  $F$  έναντι αστοχίας υπό αστράγγιστες συνθήκες είναι:

$$F = \frac{k(\gamma' z \cos^2 \alpha - u_e)}{\gamma' z \sin \alpha \cos \alpha} . \quad 2.20$$

Με βάση την εξίσωση 2.18 και τη χρήση ενός κριτηρίου αστοχίας για ενεργές τάσεις ( $\tau_{ult} = \sigma' \tan \varphi_{crit}$ ) δίνεται άλλη μια έκφραση του συντελεστή ασφαλείας  $F$ :

$$F = \frac{(\gamma' z \cos^2 \alpha - u_e) \tan \varphi_{crit}}{\gamma' z \sin \alpha \cos \alpha} . \quad 2.21$$

Εάν υποθεθεί σταθερός λόγος υπερπίεσης πόρων ( $r_u = \frac{u_e}{\gamma' z}$ ), τότε η κάθετη στο επίπεδο διάτμησης τάση είναι η εξής:

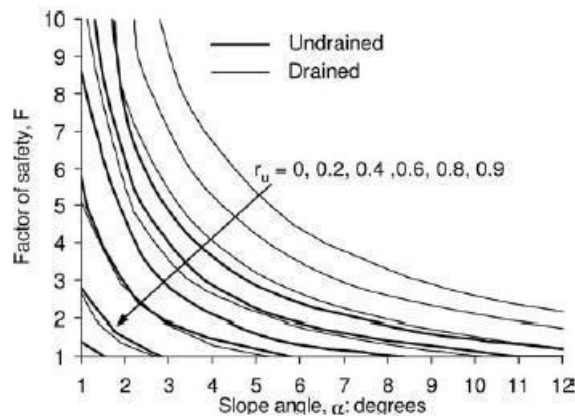
$$\sigma_s = \gamma' z (\cos^2 \alpha - r_u) . \quad 2.22$$

Έτσι, από τις σχέσεις 2.20 και 2.21 (και αξιοποίηση κάθε φορά της εξίσωσης 2.22) προκύπτουν οι συντελεστές ασφαλείας για κριτήρια ολικής αστοχίας (εξίσωση 2.23) και οι συντελεστές ασφαλείας για κριτήρια ενεργής τάσης (εξίσωση 2.24) αντίστοιχα.

$$F = \frac{k(\gamma' z \cos^2 \alpha - u_e)}{\gamma' z \sin \alpha \cos \alpha} = k \frac{\cos^2 \alpha - r_u}{\sin \alpha \cos \alpha} , \quad 2.23$$

$$F = \frac{(\gamma' z \cos^2 \alpha - u_e) \tan \varphi_{crit}}{\gamma' z \sin \alpha \cos \alpha} = \frac{\cos^2 \alpha - r_u \tan \varphi_{crit}}{\sin \alpha \cos \alpha} . \quad 2.24$$

Στην εικόνα 42 παρουσιάζεται το διάγραμμα που δείχνει, για πρανή απείρου μήκους, την συσχέτιση του συντελεστή ασφαλείας  $F$  με τη γωνία κλίσης του πρανούς  $\alpha$  και την επιπλέον πίεση πόρων  $r_u$  τόσο για αστράγγιστες, όσο και για στραγγιζόμενες συνθήκες. Ο αστράγγιστος δείκτης διατμητικής αντοχής είναι  $k = \frac{s_u}{\sigma_v'} = 0,25$  και η γωνία τριβής  $\varphi_{crit} = 25^\circ$ . Όπου  $s_u$ , η αστράγγιστη διατμητική αντοχή και  $\sigma_v'$ , η ενεργή ορθή τάση. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο συντελεστής ασφαλείας για στραγγιζόμενες συνθήκες είναι περίπου διπλάσιος της τιμής του αντίστοιχου συντελεστή για αστράγγιστες συνθήκες (Randolph & Gourvenec, 2011).



**Εικόνα 42:** Συντελεστές ασφαλείας από ανάλυση ευστάθειας πρανών απείρου μήκους. (Πηγή: Kvalstad et al., 2001)

Υπό το πρίσμα της θεώρησης ισορροπίας δυνάμεων, που ασκούνται σε ένα μερικώς στραγγιζόμενο εδαφικό στοιχείο, η γωνία κλίσης του πρανούς μεταβάλλεται σχεδόν γραμμικά σε σχέση με τον λόγο της υπερπίεσης πόρων και δίνεται από την εξίσωση:

$$\alpha_{ult} = \varphi_{crit}(1 - r_u) \quad , \quad 2.25$$

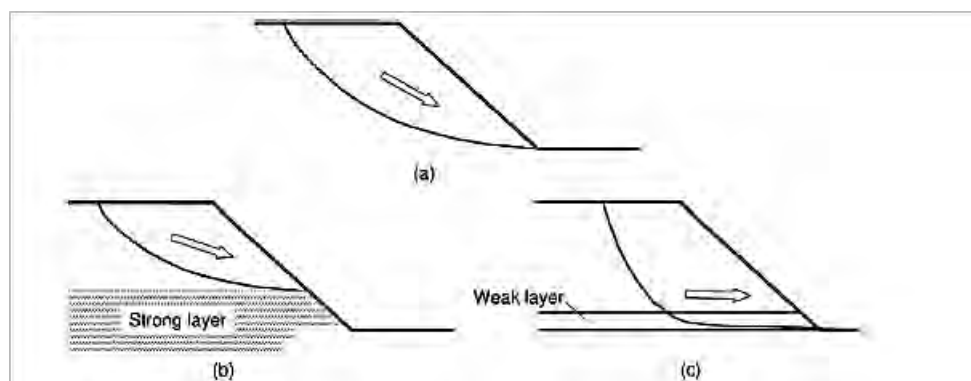
όπου

$r_u$ , ο λόγος της υπερπίεσης πόρων.

Η ανάλυση πρανούς απείρου μήκους είναι κατάλληλη για μεγάλου μήκους, ομοιόμορφα πρανή. Εντούτοις, τις περισσότερες φορές τα πρανή δεν μπορούν να θεωρηθούν ιδανικά ως μεγάλου μήκους και ομοιόμορφα. Επιπρόσθετα, συνήθως είναι ιδιαίτερα σημαντική η ανάλυση τοπικά αποσταθεροποιητικών παραγόντων, στην κορυφή ή στον πόδα του πρανούς. Τέτοιοι παράγοντες θα μπορούσαν να είναι η κατασκευή μιας πλατφόρμας εξόρυξης, καθώς επίσης και η δημιουργία επιχώματος για έναν υποθαλάσσιο αγωγό. Στις περιπτώσεις αυτές η ανάλυση πρανούς απείρου μήκους δεν εφαρμόζεται ικανοποιητικά και είναι αναγκαία η χρήση της μεθόδου ανάλυσης αστοχίας βαθιού καθίσματος (deep seated failure analysis), (Randolph & Gourvenec, 2011).

Στην περίπτωση αστοχίας πρανών με επιφάνεια ολίσθησης μεγάλου βάθους, όπως φαίνεται στην εικόνα 43, συνήθως λαμβάνει χώρα μια περιστροφική κίνηση κατά μήκος κυκλικών επιφανειών ολίσθησης (περίπτωση α). Οι κυκλικές αυτές επιφάνειες ολίσθησης εμφανίζονται όταν υπάρχουν ομοιογενή ιζήματα, ενώ στην

περίπτωση μη ομογενών ιζημάτων οι επιφάνειες ολίσθησης δεν είναι κυκλικές. Εντούτοις, μια επιφάνεια αστοχίας μπορεί να αποτελείται από έναν συνδυασμό επίπεδων και καμπύλων τμημάτων (σύνθετη ολίσθηση), εάν υπάρχουν σκληρά και μαλακά στρώματα (περιπτώσεις b και c).



**Εικόνα 43:** Σχηματική αναπαράσταση μηχανισμού αστοχίας πρανών με επιφάνεια ολίσθησης μεγάλου βάθους (Πηγή: Randolph & Gourvenec, 2011).

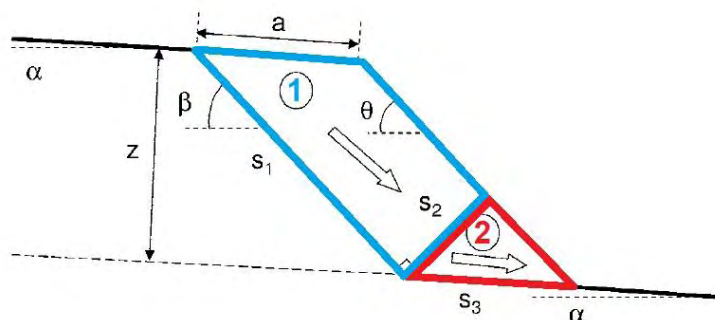
Συνήθως για την ανάλυση βαθιών αστοχιών χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι οριακής ισορροπίας, κατά τις οποίες η αστοχία θεωρείται ότι συμβαίνει κατά μήκος μιας γνωστής αστοχίας στην επιφάνεια και η απαιτούμενη αντοχή διάτμησης για τη διατήρηση της ισορροπίας συγκρίνεται με τη διαθέσιμη διατμητική αντοχή των ιζημάτων του θαλάσσιου πυθμένα, δίνοντας ένα μέσο όρο του συντελεστή ασφαλείας κατά μήκος της επιφάνειας αστοχίας (Randolph & Gourvenec, 2011).

Όταν το στρώμα εδάφους στη βάση του πρανούς είναι ασθενές πολλές φορές προτιμάται η ανάλυση του μηχανισμού του εδαφικού μπλοκ (block mechanism analysis). Ειδικότερα, όταν ένα πρανές αποτελείται από δύο ή περισσότερα μπλοκ (σφήνες) εδάφους ή βράχου εφαρμόζεται η απλή μέθοδος των δύο σφηνών, του Νορβηγικού Γεωτεχνικού Ινστιτούτου (NGI). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως σε παλινδρομικές (retrogressive) κατολισθήσεις και το βασικό της πλεονέκτημα είναι η ευκολία και η ταχύτητά της.

Η σφήνα 1 λέγεται πίσω ή ενεργή σφήνα (back wedge), ενώ η σφήνα 2 λέγεται σφήνα πόδα ή παθητική (toe wedge). Η κλίση του θαλάσσιου πυθμένα ( $\alpha$ ) καθορίζει την κλίση της βάσης του επιπέδου ολίσθησης της σφήνας 2 και θεωρείται ίδια τόσο πάνω όσο και κάτω από το πρανές. Η κλίση του πρανούς ( $\theta$ ) δεν είναι απαραίτητα ίση με την γωνία  $\beta$  της σφήνας 1. Τα επίπεδα ολίσθησης των δύο σφηνών



$s_1$  και  $s_2$  είναι κάθετα μεταξύ τους. Το κάθετο ύψος του πρηνούς  $z$  είναι η απόσταση του πυθμένα από το παράλληλο επίπεδο στο επίπεδο του πόδα (εικόνα 44).



**Εικόνα 44:** Σχηματική αναπαράσταση μηχανισμού δύο σφηνών.  
(Πηγή: Randolph & Gourvenec, 2011) Ίδια επεξεργασία.

Στην ισορροπία δυνάμεων των δύο σφηνών οι κάθετες ενεργές δυνάμεις ( $N'_1, N'_2, N'_3$ ) ασκούνται κάθετα προς τα επίπεδα ολίσθησης, ενώ οι διατμητικές δυνάμεις ( $S_1, S_2, S_3$ ) παράλληλα με τα επίπεδα ολίσθησης (εικόνα 45). Εκτός των άλλων στο σχήμα απεικονίζονται τα βυθισμένα βάρη των δύο σφηνών  $W'_1, W'_2$  και η παθητική πλευρική αντίσταση  $P$  στο πόδα του πρηνούς.

Οι διατμητικές δυνάμεις  $S$  δίνονται από την εξής σχέση:

$$S = S_u S_i, \quad 2.26$$

όπου

$S_u$ , η διατμητική αντοχή υπό αστράγγιστες συνθήκες,

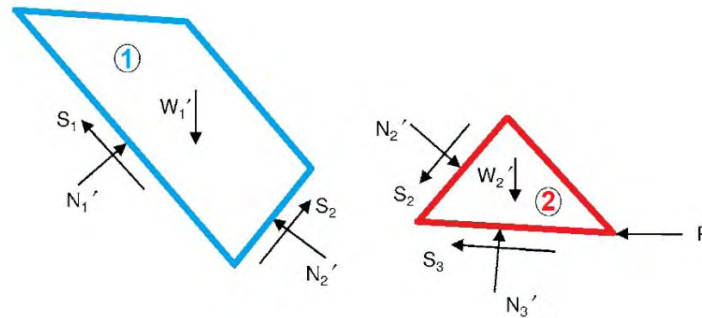
$S_i$ , το μήκος του επιπέδου ολίσθησης.

Εάν υποτεθεί ότι οι δύο σφήνες έχουν τον ίδιο συντελεστή ασφαλείας  $F$  τότε αυτός υπολογίζεται μέσω της επίλυσης της ακόλουθης εξίσωσης:

$$F = \frac{S_1^{max} + S_2^{max} \sin(\beta - \alpha) + S_3^{max} \cos(\beta - \alpha) + P \cos \alpha}{W'_1 \sin \alpha + W'_2 \sin \beta \cos(\beta - \alpha)}. \quad 2.27$$

Αξίζει να σημειωθεί πως οι κάθετες ενεργές δυνάμεις δεν εμφανίζονται στην εξίσωση 2.27, καθώς αλληλοεξουδετερώνονται, όπως φαίνεται στην εικόνα 43. Επίσης, ο αριθμητής της εξίσωσης 2.27 δίνει τις συνιστώσες των μέγιστων διατμητικών δυνάμεων, που είναι δυνατό να ενεργοποιηθούν στα επίπεδα ολίσθησης, που δρουν παράλληλα με τον πυθμένα, ενώ ο παρονομαστής δίνει τις συνιστώσες των

διατμητικών δυνάμεων που δρουν παράλληλα στον πυθμένα εξαιτίας του ίδιου βάρους των σφηνών.



**Εικόνα 45:** Ισορροπία των δύο σφηνών.  
(Πηγή: Randolph & Gourvenec, 2011) Ίδια επεξεργασία.

Όταν η κλίση του πρανούς  $\theta$  είναι ίση με την γωνία  $\beta$  της σφήνας 1, τότε ισχύουν οι εξής σχέσεις:

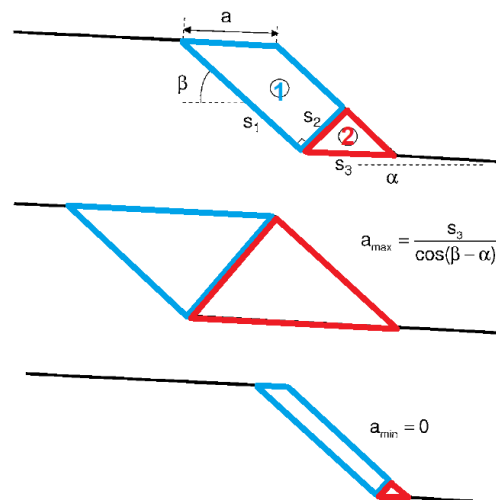
$$S_1 = \alpha , \tag{2.28}$$

$$S_2 = \alpha \sin (\beta - \alpha) , \tag{2.29}$$

$$S_3 = \frac{z}{\sin (\beta - \alpha)} , \tag{2.30}$$

$$A_1 = \frac{S_2^2}{2 \tan (\beta - \alpha)} . \tag{2.31}$$

Τέλος, ο μηχανισμός των δύο σφηνών έχει ορισμένα όρια, τα οποία επιβάλλονται εξαιτίας κινηματικών περιορισμών (εικόνα 46).

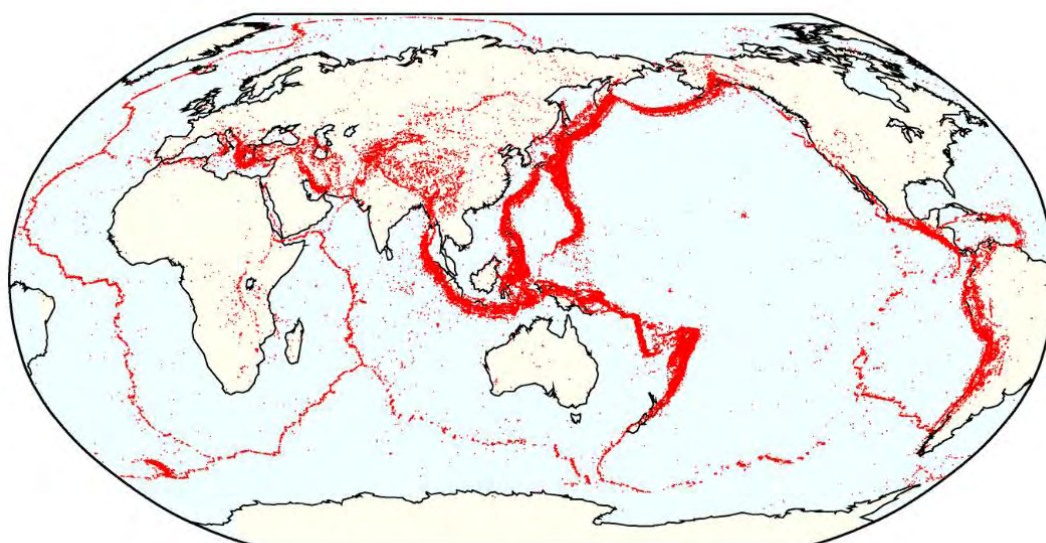


**Εικόνα 46:** Τα όρια του μηχανισμού των δύο σφηνών.  
(Πηγή: Randolph & Gourvenec, 2011) Ίδια επεξεργασία.

## 2.4 Σεισμοί

Οι σεισμοί είναι εδαφικές αναταράξεις, που διαρκούν μερικά δευτερόλεπτα ή μερικά λεπτά (Bolt, 2005) και οφείλονται σε τοπικές αστοχίες τμημάτων του φλοιού της γης οι οποίες καταπονούνται από δυνάμεις προερχόμενες από το μανδύα (Χαβέλας, 2016). Ο σεισμός αποτελεί την κύρια αιτία σχηματισμού τσουνάμι, καθώς το 70 - 80% των τσουνάμι δημιουργούνται εξαιτίας σεισμών (McGuire & Maslin, 2013). Παράλληλα, ο σεισμός σε πολλές περιπτώσεις διαδραματίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο, έμμεσα, ως μηχανισμός ενεργοποίησης υποθαλάσσιων κατολισθήσεων (Harbitz et al., 2006).

Στην εικόνα 47 εμφανίζεται το σύνολο των σεισμών άνω των 6 Ρίχτερ, που έχουν συμβεί σε παγκόσμια κλίμακα από το 1900 μέχρι και το 2017. Παρατηρείται ότι οι ισχυρότεροι σεισμοί εμφανίζονται στα σημεία σύγκλισης των λιθосφαιρικών πλακών, και ειδικότερα στην Ιαπωνία, στην Ινδονησία, στη Χιλή και στην Αλάσκα.



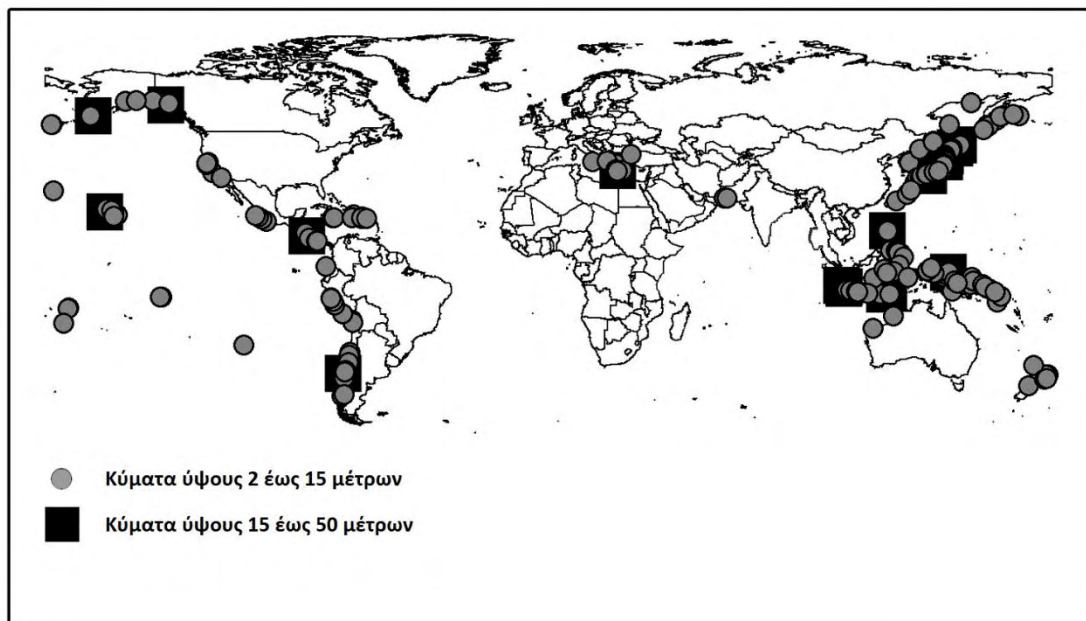
**Εικόνα 47:** Επίκεντρα σεισμών από το 1960 μέχρι και το 2008.  
(Πηγή: International Seismological Center, 2009)

Καθίσταται σαφές πως σε περιοχές, που χαρακτηρίζονται ως σεισμογενείς, είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη ιστορικά και παλαιοσεισμικά στοιχεία σχετικά με τους συντελεστές σεισμικής επιτάχυνσης της περιοχής εγκατάστασης μιας παράκτιας εξέδρας εξόρυξης υδρογονανθράκων (Randolph & Gourvenec, 2011).

Εντούτοις, όπως είναι γνωστό οι σεισμικές φορτίσεις δεν είναι δυνατό να προβλεφθούν, οπότε ο σχεδιασμός των παράκτιων εξεδρών εξόρυξης οφείλει να λαμβάνει υπόψη τη σεισμική ανάλυση (Lu et al., 2008).

## 2.5 Τσουνάμι

Τα τσουνάμι είναι καταστροφικά κύματα, που προκαλούνται από σειμούς (σε ποσοστό 70% - 80%), εκρήξεις ηφαιστείων και υποθαλάσσιες κατολισθήσεις. Στον ωκεανό τα τσουνάμι έχουν μικρό ύψος και πολύ μεγάλο μήκος κύματος με αποτέλεσμα να περνούν πολλές φορές απαρατήρητα. Ένα κύμα τσουνάμι συχνά έχει ύψος μικρότερο από ένα μέτρο και μήκος κύματος δεκάδων ή και εκατοντάδων χιλιομέτρων, ενώ ένα συνηθισμένο κύμα, που προκαλείται από τον άνεμο, έχει ύψος περίπου 2m και μήκος κύματος 100m – 200m. Καθώς τα κύματα τσουνάμι πλησιάζουν τις ακτές, μειώνεται η ταχύτητά τους και το μήκος τους και αυξάνεται το ύψος τους. Η κορυφή του κύματος κινείται ταχύτερα σε σχέση με τη βάση του με αποτέλεσμα τον σχηματισμό ενός ευδιάκριτου ψηλού κύματος. Τα κύματα τσουνάμι γενικά δεν “σπάνε” όταν πλησιάζουν στην ακτή, όπως συμβαίνει με τα κύματα που προκαλούνται από τον άνεμο, αλλά συμπεριφέρονται σαν ένα πολύ γρήγορο παλιρροϊκό κύμα που κινείται πολύ μακριά εντός της στεριάς (αν και το τσουνάμι δεν σχετίζεται με κανέναν τρόπο με τις παλίρροιες), γεγονός που τα καθιστά ιδιαίτερα σημαντικό γεωκίνδυνο. Ένα τσουνάμι μπορεί να περιέχει αρκετά κύματα, τα οποία μπορεί να φτάσουν στην ακτή με μια χρονική διαφορά μερικών ωρών, λόγω του πολύ μεγάλου μήκους κύματος που αναφέρθηκε παραπάνω. Αξίζει να σημειωθεί πως το πρώτο κύμα δεν είναι πάντα το πιο καταστροφικό. Η συντριπτική πλειοψηφία των τσουνάμι (το 80%) έχει εκδηλωθεί στον Ειρηνικό Ωκεανό, όπως φαίνεται στην εικόνα 48 (Randolph & Gourvenec, 2011).



**Εικόνα 48:** Τα ύψη των σημαντικότερων τσουνάμι στη Γη από το 1883 μέχρι το 2004. (Πηγή: Brauner et al., 2005; Schiermeler, 2005a) Ίδια επεξεργασία.

Ίσως το πιο γνωστό τσουνάμι των αρχαίων χρόνων είναι αυτό που προκλήθηκε το 1500 π.Χ. από την έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης και θεωρείται πως ευθύνεται για την πτώση του Μινωικού πολιτισμού (Antonopoulos, 1992).

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα δέκα πιο καταστροφικά τσουνάμι από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα μέχρι και σήμερα. Παρατηρείται ότι το τσουνάμι που έλαβε χώρα στον Ινδικό Ωκεανό το 2004 ήταν μακράν το καταστροφικότερο στην ιστορία της ανθρωπότητας. Προκλήθηκε εξαιτίας ενός σεισμού 9,3 Ρίχτερ (ο δεύτερος ισχυρότερος καταγεγραμμένος σεισμός από το 1900) και τα κύματα είχαν που σχηματίστηκαν ήταν ύψους 5 έως 12 m (Chadha et al., 2005; Liu et al., 2005, Yalciner et al., 2005). Την περίοδο του Δεκεμβρίου (καλοκαίρι στο νότιο ημισφαίριο) οι παραλίες της περιοχής ήταν γεμάτες, με αποτέλεσμα οι άνθρωποι που βρίσκονταν κοντά στην ακτή να μην έχουν την δυνατότητα να μεταβούν σε υψηλότερο υψόμετρο (Pincock, 2005). Αξίζει να σημειωθεί πως μελέτες έδειξαν ότι η πιθανότητα να επαναληφθεί παρόμοιας κλίμακας τσουνάμι στον Ινδικό Ωκεανό είναι μία στα 1.000 χρόνια, ίδια πιθανότητα δηλαδή με τέτοιο συμβάν στον Βόρειο Ατλαντικό (Schiermeler, 2005a). Τέλος, το δεύτερο καταστροφικότερο τσουνάμι συνέβη το 2011 στην Ιαπωνία, εξαιτίας ισχυρού σεισμού 9,1 Ρίχτερ, που εκδηλώθηκε ανοιχτά των ανατολικών ακτών της Ιαπωνίας. Ειδικότερα στα παράλια της Ιαπωνίας, το ύψος του

τσουνάμι ήταν 15 m, αν και το μέγιστο καταγεγραμμένο ύψος του άγγιξε τα 40,5 m, και παρέσυρε σπίτια και αυτοκίνητα σε απόσταση έως και 20 km εντός του εσωτερικού της στεριάς.

Να επισημανθεί πως όταν συνέβη το τσουνάμι στον Ινδικό Ωκεανό, το 2004, στην ευρύτερη περιοχή της Ινδονησίας υπήρχαν εγκατεστημένες περισσότερες από 300 θαλάσσιες εξέδρες εξόρυξης υδρογονανθράκων, χωρίς να αναφερθεί ατύχημα σε καμία από αυτές. Αντίστοιχα δεν έχει γίνει γνωστή μέχρι και σήμερα φθορά σε καμία τέτοια εγκατάσταση εξαιτίας σεισμού ή και τσουνάμι.

**Πίνακας 1:** Τα πιο θανατηφόρα τσουνάμι από το 1900 μέχρι σήμερα.

<b>Ημερομηνία Οι περιοχές που επηρεάστηκαν περισσότερο</b>		<b>Ανθρώπινες απώλειες</b>
26/12/2004	Ινδονησία (Sumatra), Σρι Λάνκα, Ινδία, Ταϊλάνδη, Μαλβίδες, Σομαλία	>226.000
11/03/2011	Ιαπωνία (Sendai)	16.000
17/08/1976	Φιλιππίνες	4.000
02/03/1933	Ιαπωνία (Sanriku)	3.060
21/05/1960	Χιλή, Η.Π.Α. (Χαβάη), Ιαπωνία	3.000
12/12/1992	Ινδονησία (Flores)	2.500
17/07/1998	Παπούα Νέα Γουινέα	2.400
20/12/1946	Ιαπωνία (Nankaido)	2.000
05/11/1952	Ρωσία (νησί Paramushir, Καμτσάκα)	1.300
07/12/1944	Ιαπωνία (Honshu)	1.000

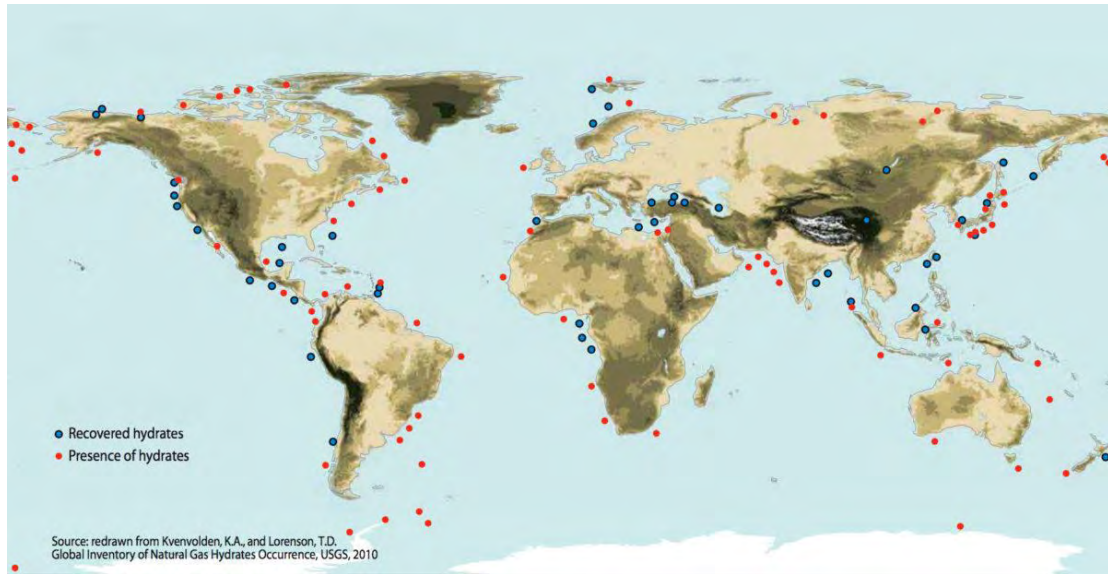
(Πηγή: Munich, 2005) Ίδια επεξεργασία

## 2.6 Υδρίτες αερίων

Οι υδρίτες είναι χημικές ενώσεις που εγκλείουν άλλες ενώσεις και ανήκουν στους κλειθρίτες. Οι υδρίτες αερίων αποτελούνται από έξι μόρια νερού και ένα μόριο μεθανίου υπό τη μορφή πάγου και είναι άσπρα στερεά ένυδρα αέρια, παρόμοια σε εμφάνιση με το κανονικά παγωμένο νερό. Σχηματίζονται σε βάθη θάλασσας που κυμαίνονται από 200 m έως 2.500 m, σε στρώματα κάτω από την επιφάνεια του πυθμένα, όπου επικρατούν συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας και υψηλής πίεσης. Οι υδρίτες αερίων έχουν την ιδιότητα όταν μεταβληθούν οι συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, να αποσυντίθενται και ο πάγος να μετατρέπεται σε νερό, με αποτέλεσμα την μείωση του όγκου του νερού, ενώ το μεθάνιο ως αέριο αποκτά όγκο 164 φορές μεγαλύτερο (Περισοράτης, 2008).

Οι υδρίτες αερίων θεωρούνται ως μια πιθανή πηγή ενέργειας (Yonggang et al., 2016), καθώς εκτιμάται ότι η ποσότητα του άνθρακα που περιέχεται στα μέχρι σήμερα γνωστά αποθέματα υδριτών είναι μεγαλύτερο από το 50% της συνολικής ποσότητας άνθρακα που υπάρχει σε όλους τους υδρογονάνθρακες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το γεγονός πως τα αποθέματα υδριτών που υπάρχουν στον δυτικό Ατλαντικό είναι δυνατό να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες των Η.Π.Α. σε μεθάνιο για τα επόμενα 100 χρόνια. Εντούτοις, η εκμετάλλευση των υδριτών μέχρι και σήμερα είναι πολύ δύσκολη, για τεχνικούς λόγους εξαιτίας του μεγάλου βάθους θάλασσας και της ταχείας αποσύνθεσής τους (Περισοράτης, 2008).

Ανακαλύφθηκαν πρώτη φορά στον δυτικό Ατλαντικό στις αρχές της δεκαετίας του εβδομήντα, αλλά σήμερα είναι γνωστές εξαιρετικά μεγάλες ποσότητες στον Ειρηνικό και τον Ινδικό ωκεανό (Περισοράτης, 2008). Εκτιμάται ότι τα δυνητικά αποθέματα υδριτών αερίων είναι περισσότερα από  $1,5 \times 10^{16} \text{ m}^3$  (Makogon et al., 2007), εκ των οποίων μόλις το 3% βρίσκονται σε χερσαίες περιοχές, κυρίως στα μόνιμα παγωμένα εδάφη της δυτικής Σιβηρίας. Όπως φαίνεται στην εικόνα 49 οι υδρίτες αερίων εντοπίζονται κατά βάση στα σημεία σύγκλισης των λιθοσφαιρικών πλακών, στα ενεργά και παθητικά ηπειρωτικά περιθώρια (Yonggang et al., 2016).



**Εικόνα 49:** Τοποθεσίες όπου υπάρχουν υδρίτες αερίων.

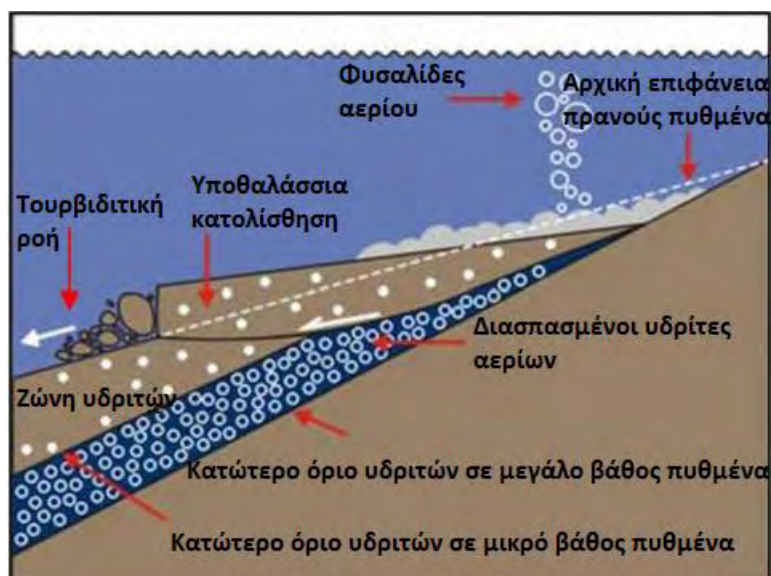
Recovered hydrates = Ανακτημένοι υδρίτες, Presence of hydrates = Παρουσία υδριτών

(Πηγή: Brauner et al., 2005; Schiermeler, 2005b) Ίδια επεξεργασία.

Οι υδρίτες αερίων, και ειδικότερα η διάσπασή τους, συνιστά έναν ιδιαίτερα σημαντικό υποθαλάσσιο γεωκίνδυνο για την ακεραιότητα των υποθαλάσσιων υποδομών, καθώς παρόλο που μέχρι σήμερα έχουν εντοπιστεί ελάχιστες περιπτώσεις ζημιάς υποθαλάσσιων κατασκευών εξαιτίας τους, η διαφαινόμενη πρόθεση εκμετάλλευσής τους αυξάνει την επικινδυνότητα.

Η διάσπαση (αποσύνθεση) των υδριτών αερίων μπορεί να σχηματίσει στρώματα υψηλών πιέσεων, καμινάδες αερίων και ηφαίστεια ιλύος. Σύμφωνα με μελέτες που διεξήγαγαν ο McIver (1982) και ο Kvenvolden (1993) σε διαρροές αερίων υδριτών, η διάσπαση υδριτών αερίων κατά την μεταβολή της στάθμης της θάλασσας (άνοδος ή πτώση) προκαλεί υποθαλάσσιες κατολισθήσεις, καθιζήσεις του θαλάσσιου πυθμένα και τουρβιδιτικά ρεύματα, συνιστώντας κατά συνέπεια γεωκίνδυνο για υποθαλάσσιες υποδομές (εικόνα 50). Χαρακτηριστικά παραδείγματα καταστροφικών συμβάντων που συνδέονται άμεσα με τη διάσπαση υδριτών αερίων είναι η κατολίσθηση Storrega στη Βόρεια θάλασσα και η καθίζηση του θαλάσσιου πυθμένα Cape Fear στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής ( Yonggang et al., 2016).

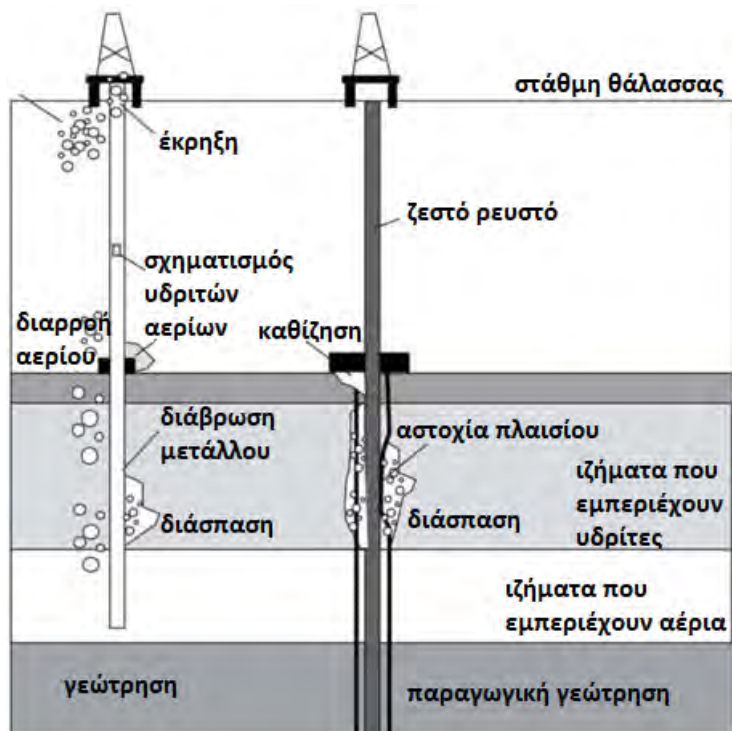




**Εικόνα 50:** Σχηματική απεικόνιση της διάσπασης υδριτών αερίων και των υποθαλάσσιων κινήσεων του εδάφους.  
(Πηγή: McIver, 1982; Kvenvolden, 1993) Ίδια επεξεργασία.

Αξίζει να σημειωθεί πως επιστημονικές μελέτες έδειξαν ότι η κλιματική αλλαγή των τελευταίων χρόνων μείωσε την σταθερότητα των υποθαλάσσιων υδριτών αερίων με αποτέλεσμα την αύξηση της πιθανότητας πρόκλησης υποθαλάσσιων κατολισθήσεων και διαρροών μεθανίου (Phrampus et al., 2012). Επομένως, οι κίνδυνοι που πηγάζουν από τους υδρίτες αερίων είναι παγκόσμιας κλίμακας, καθώς παγκόσμιες αλλαγές (π.χ. περιβαλλοντικές) είναι δυνατό να τους διασπάσουν, όπως για παράδειγμα η άνοδος της στάθμης της θάλασσας απόρροια της υπερθέρμανσης του πλανήτη και η πτώση της στο τέλος του Πλειστόκαινου (Kvenvolden, 1999).

Εκτός των άλλων, η εγκατάσταση υποθαλάσσιων αγωγών μπορεί να επηρεάσει την θερμοκρασία του πυθμένα, με αποτέλεσμα την ενδεχόμενη διάσπαση υδριτών αερίων που βρίσκονται από κάτω, καθίζηση του βυθού και θραύση του αγωγού (Borowski & Paul, 1997). Επιπρόσθετα, η διάσπαση υδριτών αερίων είναι δυνατό να αυξήσει την πιθανότητα διάβρωσης υποθαλάσσιων χαλύβδινων κατασκευών, όπως οι εξέδρες εξόρυξης υδρογονανθράκων (Sahling et al., 1999). Διάσπαση υδριτών αερίων γίνεται επίσης εξαιτίας της μεταβολής πίεσης του θαλάσσιου πυθμένα που συμβαίνει κατά την άνοδο των αγκυρών (Hovland et al, 2001). Στην εικόνα 51 παρουσιάζονται οι πιθανοί κίνδυνοι υποθαλάσσιας εξόρυξης εξαιτίας της διάσπασης υδριτών αερίων.

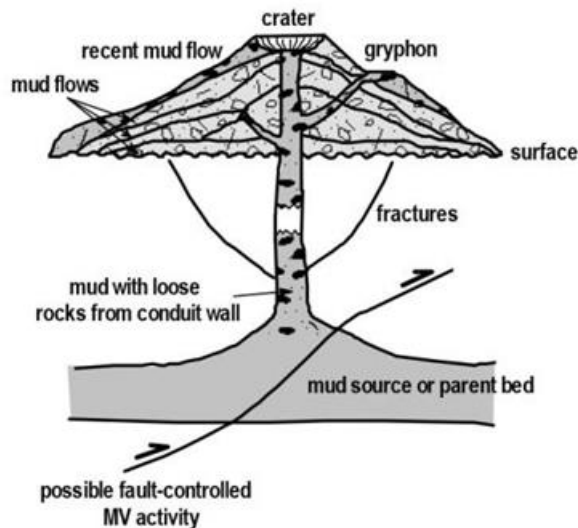


**Εικόνα 51:** Οι κίνδυνοι υποθαλάσσιας εξόρυξης εξαιτίας της διάσπασης υδριτών αερίων. (Πηγή: Ruppel et al., 2008) Ίδια επεξεργασία.

## 2.6 Ηφαίστεια ιλύος

Τα ηφαίστεια ιλύος, γνωστά και ως ηφαίστεια λάσπης, είναι ιζηματογενείς κώνοι από λάσπη στην επιφάνεια του θαλάσσιου πυθμένα, τα οποία σχηματίζονται με τον ίδιο τρόπο που δημιουργούνται και τα ηφαίστεια λάβας. Η διαφορά είναι ότι αντί για λάβα, εκτοξεύεται ένα μείγμα λεπτόκοκκων ιζημάτων, νερού, αερίων και θραυσμάτων πετρωμάτων<sup>5</sup> από βαθύτερα στρώματα του πυθμένα της θάλασσας (Camerlenghi, et al., 1995). Το μείγμα αυτό είναι γνωστό ως λατυποπαγής λάσπη ή ιλο-λατυποπαγή (mud breccia) και βρίσκεται σε ημίρρευστη μορφή με το 99% του όγκου του, πολλές φορές, να είναι ιλύς (Dimitrov, 2002). Αξίζει να σημειωθεί ότι όταν τα ηφαίστεια ιλύος βρίσκονται σε χερσαία περιβάλλοντα, η διαφυγή αερίων γίνεται με τη μορφή ελεύθερου αερίου, ενώ όταν είναι υποθαλάσσια, τα αέρια βρίσκονται διαλυμένα στο νερό των πόρων ή παγιδευμένα με τη μορφή υδριτών (Ηρακλέους, 2018). Στην εικόνα 52 παρουσιάζεται η δομή ενός ηφαιστείου ιλύος.

<sup>5</sup> Η διάμετρος των θραυσμάτων κυμαίνεται από λίγα cm έως και περισσότερα από 10 m.

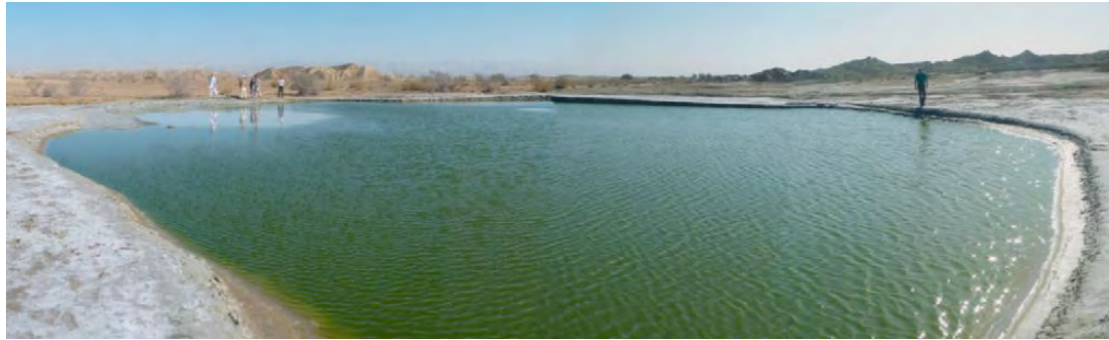


**Εικόνα 52:** Δομή ηφαιστείου ιλύος.

Crater = κρατήρας, gryphon = μικρή δευτερογενής έξοδος,  
 recent mud flow = πρόσφατη ροή λάσπης, mud flow = ροή λάσπης, surface = επιφάνεια,  
 fractures = ρωγμές, mud with loose rocks from conduit wall = λάσπη και χαλαρά πετρώματα  
 από τα τοιχώματα του αγωγού, mud source or parent bed = πηγή λάσπης ή μητρικό πέτρωμα,  
 possible fault- controlled MV activity = πιθανό ρήγμα – ρυθμίζει την δραστηριότητα του  
 ηφαιστείου ιλύος

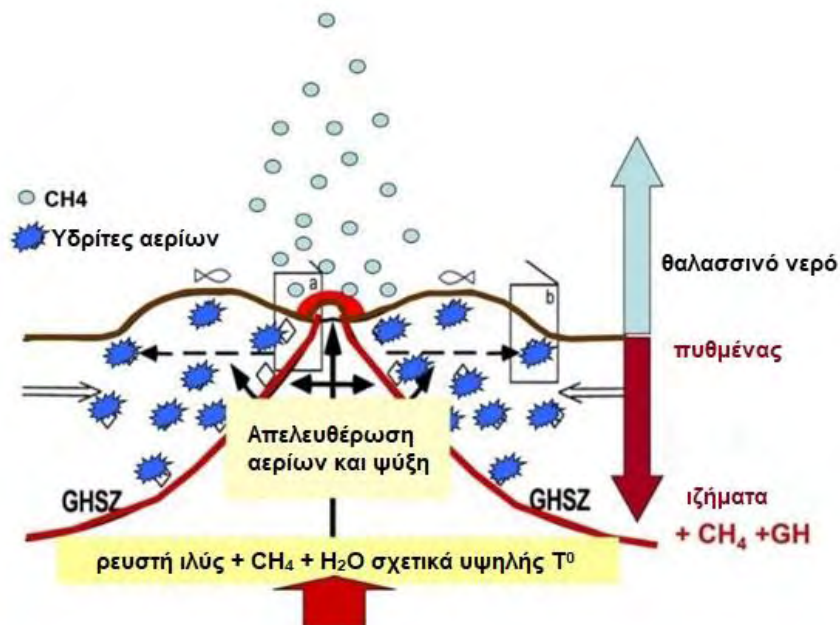
(Πηγή: Dimitrov, 2002; Kopf, 2002)

Όπως φαίνεται στην εικόνα 52, η λατυπογαγής λάσπη εξέρχεται από έναν κύριο κεντρικό αγωγό (ή αλλιώς αγωγό τροφοδοσίας), ο οποίος καθώς πλησιάζει στην επιφάνεια μπορεί να διαχωρίζεται σε αρκετούς μικρότερους αγωγούς. Ο κύριος κρατήρας, ή αλλιώς κύριο άνοιγμα, είναι η επιφανειακή εμφάνιση του κεντρικού αγωγού, ενώ συνήθως υπάρχουν και δευτερογενείς κρατήρες, ή αλλιώς δορυφορικοί, που συνδέονται με τις πλευρικές εξόδους του υλικού. Όταν καταρρέει το ηφαιστειο εξαιτίας της εκκένωσης της περιοχής κάτω από αυτό, δημιουργείται η καλδέρα, ενώ όταν καταρρέουν οι δευτερογενείς κρατήρες, δημιουργούνται μικρές λίμνες από τοις οποίες αναβλύζει άργιλος, οι “salses” (εικόνα 53). Πολύ συχνά γύρω από την περιοχή των κρατήρων ή σε άλλα σημεία του ηφαιστείου ιλύος σχηματίζονται μικρές δευτερογενείς εξοδοί που ονομάζονται “gryphons” και διαμέσου αυτών εκπέμπεται αέριο, ιλύς και νερό (ποτέ όμως δεν διέρχονται θραύσματα πετρωμάτων).

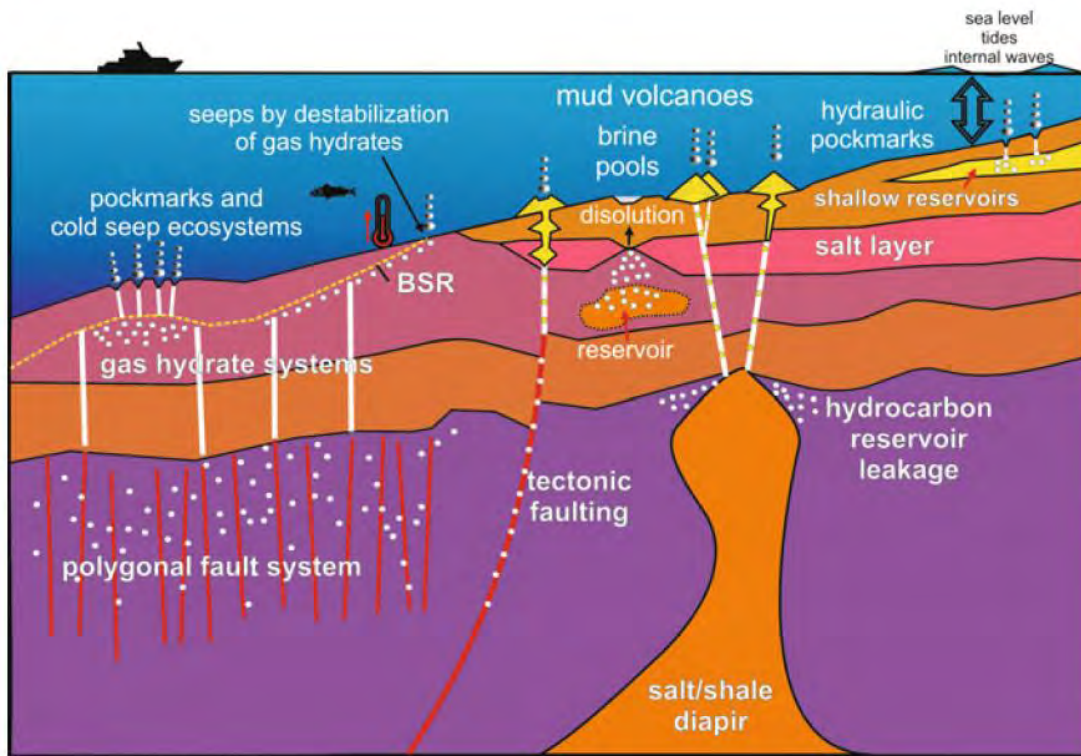


**Εικόνα 53:** Η μεγάλη λίμνη (salse) του ηφαιστείου ιλύος Ain στο Ιράν.  
(Πηγή: Mazzini & Etiope, 2017)

Τα αέρια διαφεύγουν συχνά μέσω των υποθαλάσσιων ηφαιστειών ιλύος, εντούτοις λόγω της μετανάστευσής τους, πολλές φορές είτε παγιδεύονται σε ιζήματα κοντά στο θαλάσσιο πυθμένα υπό τη μορφή υδριτών αερίων, που αναλύθηκαν στην προηγούμενη ενότητα (εικόνα 54), ή παγιδεύονται σε ρηχούς ταμιευτήρες και εκρήγνυνται όταν αυξηθεί η πίεση, σχηματίζοντας κρατήρες διαφυγής ρευστών (rockmarks) πάνω στον θαλάσσιο πυθμένα (εικόνα 55), (Ηρακλέους, 2018). Κατά συνέπεια τα ηφαίστεια ιλύος συνδέονται άμεσα με την παρουσία υδριτών αερίων, ή αλλιώς υδριτών μεθανίου, καθώς συνήθως το μεθάνιο είναι το επικρατές αέριο.



**Εικόνα 54:** Σχηματισμός υδριτών μεθανίου σε ηφαίστριο ιλύος.  
(Πηγή: Lykousis et al., 2004) Ίδια επεξεργασία.



**Εικόνα 55:** Σύστημα υποθαλάσσιων ηφαιστειών ιλύος και υδριτών αερίων.

Seeps by destabilization of gas hydrates = διαρροές εξαιτίας αποσταθεροποίησης υδριτών αερίων, mud volcanoes = ηφαιστεια ιλύος, hydraulic rockmarks = κρατήρες διαφυγής ρευστών, sea level = επιφάνεια της θάλασσας, tides internal waves = εσωτερικά κύματα, brine pools = λίμνες άλατος, rockmarks and cold seep ecosystems = οικοσυστήματα σε περιοχές κρατήρων διαφυγής ρευστών και ψυχρών διαρροών, gas hydrate systems = συστήματα υδριτών αερίων, polygonal fault system = πολυγωνικό σύστημα ρηγμάτων, tectonic faulting = τεκτονική ρηγμάτωση, dissolution = διάσπαση, reservoir = ταμιευτήρας, shallow reservoirs = ρηχοί (αβαθείς) ταμιευτήρες, salt layer = στρώμα άλατος, hydrocarbon reservoir leakage = διαρροές ταμιευτήρα υδρογονανθράκων, salt/shale diapir = αλατούχο/σχιστολιθικό διάπυρο αλάτων.

(Πηγή: Micallef et al., 2018)

Αναλυτικότερα, το φυσικό αέριο, και ειδικότερα κυρίως το μεθάνιο, συμβάλλει σημαντικά στο σχηματισμό των υποθαλάσσιων ηφαιστειών ιλύος, καθώς το αέριο μεθάνιο προσπαθεί να βρει μια διέξοδο από τα βαθύτερα στρώματα κάτω από την επιφάνεια του θαλάσσιου πυθμένα, κυρίως διαμέσου ρηγμάτων, παρασύροντας στο πέρασμά του υλικά υπερκείμενων στρωμάτων. Εντούτοις, το μεθάνιο παγώνει σε σχετικά μικρό βάθος κάτω από την επιφάνεια του βυθού, αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις κατά την έξοδο του από τους κρατήρες των ηφαιστειών ιλύος, εξαιτίας του μεγάλου βάθους θάλασσας, της αυξημένης πίεσης και της χαμηλής θερμοκρασίας. Έτσι, κάτω από την επιφάνεια του θαλάσσιου πυθμένα



ορίζοντες, οι οποίοι ωθούνται προς τα πάνω σε περιοχές κατακόρυφων ασυνεχειών (Ηρακλέους, 2018).

Αναλυτικότερα, οι κύριοι λόγοι δημιουργίας των υποθαλάσσιων ηφαιστειών ιλύος μπορεί να είναι στρωματογραφικοί, τεκτονικοί, γεωχημικοί και υδρογεωολογικοί (Milkov, 2000). Στους στρωματογραφικούς λόγους ανήκουν οι εξής:

- μια ιζηματογενής κάλυψη μεγάλου πάχους (8 km – 22 km πάχος), που συνήθως αποτελείται από ιζήματα χερσαίας προέλευσης,
- η ύπαρξη στρωμάτων αργίλου υψηλής πλαστικότητας σε μεγάλο βάθος κάτω από την επιφάνεια του θαλάσσιου πυθμένα,
- η διαφορά πυκνότητας μεταξύ των ιζημάτων,
- η παρουσία αερίων σε μεγάλο βάθος κάτω από την επιφάνεια του θαλάσσιου πυθμένα και
- οι υψηλές πιέσεις.

Στους τεκτονικούς λόγους ανήκουν οι ακόλουθοι:

- η ταχεία καθίζηση του ιζηματογενούς καλύμματος είτε εξαιτίας υψηλού ρυθμού ιζηματογένεσης είτε εξαιτίας επωθήσεων,
- η παρουσία αντικλινικών πτυχών ή διαπύρων,
- η παρουσία ρηγμάτων,
- η σεισμική δραστηριότητα,
- η πλευρική τεκτονική συμπίεση και
- οι ισοστατικές διαδικασίες.

Στους γεωχημικούς λόγους ανήκουν οι εξής:

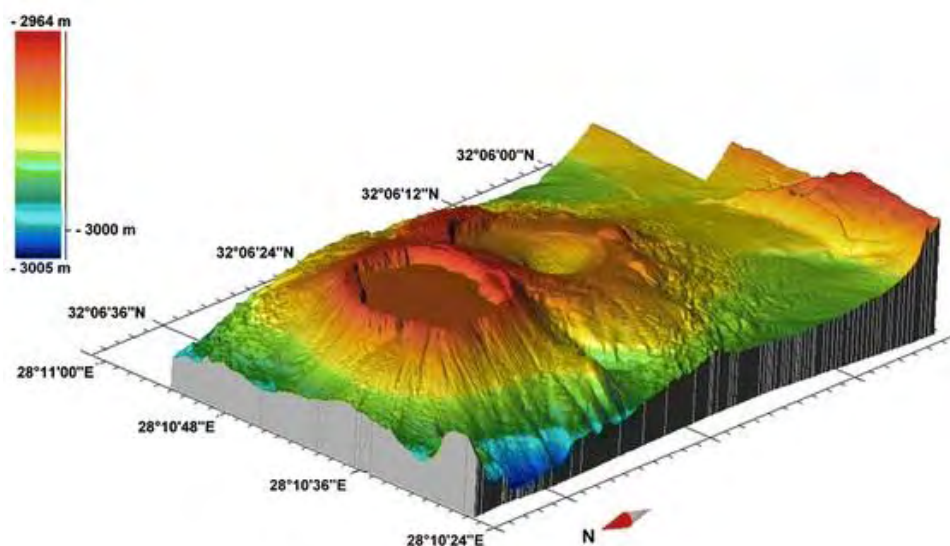
- η παραγωγή πετρελαίου σε βαθύτερα στρώματα κάτω από τον θαλάσσιο πυθμένα και
- η αφυδάτωση των αργιλικών ορυκτών.

Τέλος, οι υδρογεωολογικοί λόγοι σχετίζονται κατά βάση με την ροή ρευστών κατά μήκος διαρρηγμένων ζωνών.

Αξίζει να σημειωθεί πως οι εκρήξεις ιλύος συμβαίνουν όταν η πίεση του νερού των πόρων, υπερβεί τη λιθοστατική πίεση προκαλώντας κατ' αυτόν τον τρόπο διαρρηξεις. Πολλές διεργασίες που είναι δυνατό να λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα στις περιοχές των ηφαιστειών ιλύος, όπως ο υψηλός ρυθμός ιζηματογένεσης, οι υποθαλάσσιες κατολισθήσεις, η πλευρική τεκτονική συμπίεση και επώθηση, ο σχηματισμός υδρογονανθράκων, η διαγένεση, η διάσπαση υδριτών, οι υδροθερμικές

πίεσεις και η σεισμική δραστηριότητα, είναι ικανές να επιτείνουν αυτήν την υψηλή πίεση του νερού στους πόρους των ιζημάτων (Dimitrov, 2002; Korf, 2002).

Στις σχηματικές αναπαραστάσεις τα ηφαίστεια ιλύος απεικονίζονται ως κώνοι, εντούτοις υπάρχει μεγάλη ποικιλομορφία σχημάτων και μεγεθών ηφαιστειών ιλύος (τυπικοί κώνοι, αιχμηροί κώνοι, επίπεδοι κώνοι, μορφής μανιταριού, καλδέρες). Το σχήμα και το μέγεθός τους εξαρτάται από το βαθμό ρευστοποίησης, που οφείλεται στην πίεση του νερού των πόρων, από τη συχνότητα και τα χαρακτηριστικά της δραστηριότητάς τους και από το ιξώδες της ιλύος (Dimitrov, 2002). Ειδικότερα, όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση του νερού των πόρων τόσο πιο βίαιη είναι η έκρηξη, όσο συχνότερη είναι η δραστηριότητα τόσο πιο μεγάλη είναι η δομή και όσο μικρότερο είναι το ιξώδες τόσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος του σώματος του ηφαιστείου.

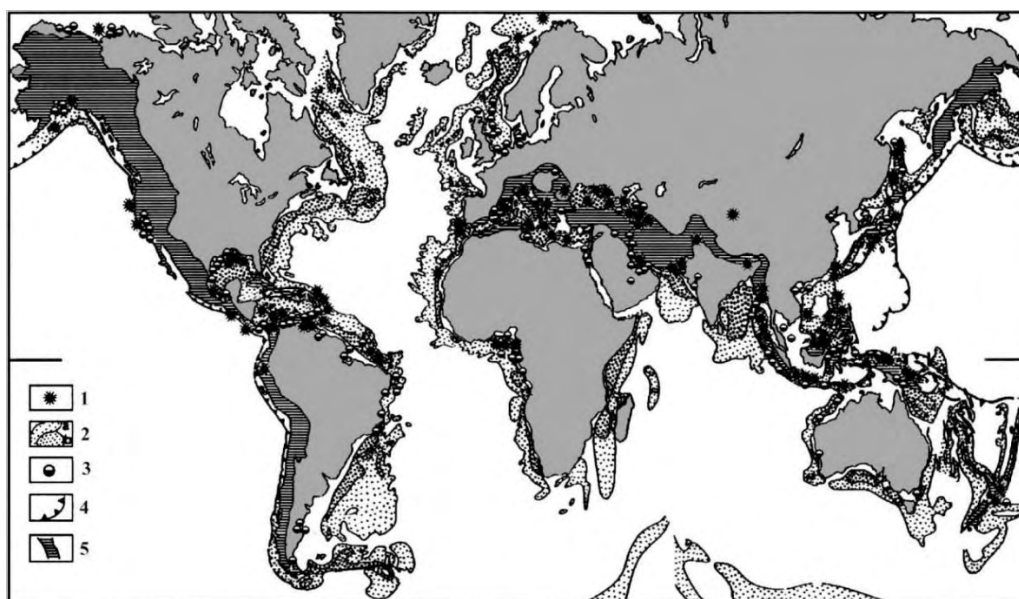


**Εικόνα 57:** Δυο δίδυμα ηφαίστεια ιλύος, που σχηματίζουν ένα κοινό σώμα στην καλδέρα Menes στον κώνο του Νείλου (Πηγή: Mazzini & Etiope, 2017).

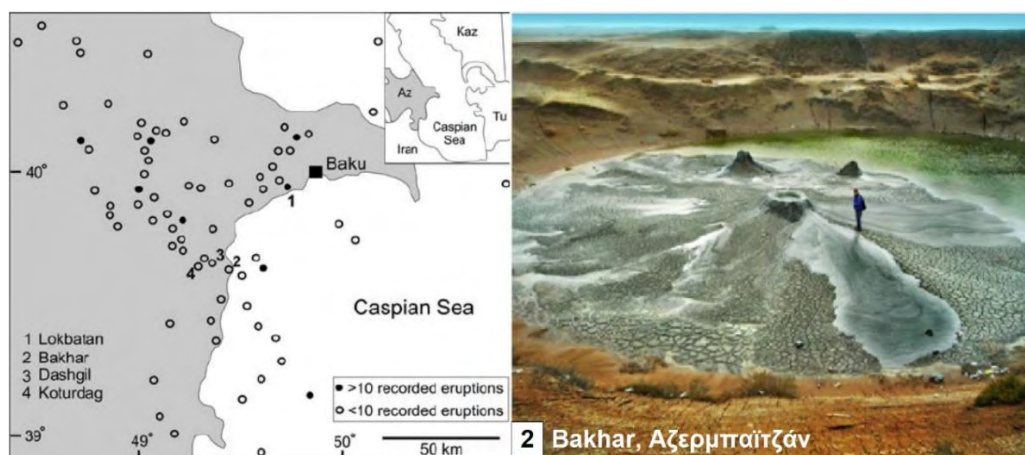
Στην πραγματικότητα, αναφορικά με το σχήμα, η πλειοψηφία των ηφαιστειών ιλύος είναι σύνθετα, περιλαμβάνοντας αρκετούς διαφορετικού σχήματος κρατήρες. Όσο αφορά το μέγεθος, το ύψος των ηφαιστειών ιλύος κυμαίνεται από μερικά μέτρα έως 400 m, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να υπερβεί ακόμα και τα 500 m. Σε κάτοψη είναι σχεδόν συμμετρικά με κρατήρες των οποίων η διάμετρος μπορεί να φτάσει ακόμα και τα 500 m και με βάση διαμέτρου που κυμαίνεται από 3 km έως 4 km. Μερικά ηφαίστεια ιλύος βρίσκονται ιδιαίτερα κοντά το ένα στο άλλο, σχηματίζοντας ένα κοινό ενιαίο σώμα (εικόνα 57) και με αποτέλεσμα οι ροές



λατυποπαγούς λάσπης να καλύπτουν ακόμα και περιοχές έκτασης μεγαλύτερης από 100 km<sup>2</sup> (Ηρακλέους, 2018).



**Εικόνα 58:** Η κατανομή υποθαλάσσιων ηφαιστειών υλός σε παγκόσμια κλίμακα. (Πηγή: Dimitrov, 2002)



**Εικόνα 59:** Αριστερά ο χάρτης με τα σημαντικότερα ηφαιστεια υλός της περιοχής του Αζερμπαϊτζάν (Πηγή: Planke et al., 2003) και δεξιά το ηφαιστειο υλός Bakhar, No2 στον αριστερό χάρτη (Mazzini & Etiope, 2017) Ίδια επεξεργασία.

Ο ακριβής αριθμός ηφαιστειών υλός του πλανήτη είναι άγνωστος, ωστόσο μέχρι σήμερα έχουν εντοπιστεί περισσότερα από 600 χερσαία ηφαιστεια υλός, ενώ τα υποθαλάσσια εκτιμάται ότι είναι μερικές χιλιάδες (Mazzini & Etiope, 2017). Όπως φαίνεται στην εικόνα 58, ηφαιστεια υλός εντοπίζονται στη ζώνη σύγκρουσης των Άλπεων- Ιμαλαίων, στην περιοχή της Μεσογείου, τη Μαύρη και Κασπία θάλασσα,

την περιοχή του Αζερμπαϊτζάν (εικόνα 59), όπου βρίσκεται το μεγαλύτερο ηφαίστειο ιλύος του κόσμου, το Ιράν και την Ινδία.

Επιπρόσθετα, ηφαίστεια ιλύος σχηματίζονται στα ενεργά ηπειρωτικά περιθώρια (π.χ. νησιά Barbados), στις ζώνες επώθησης (π.χ. Καραϊβική), στις ζώνες καταβύθισης (π.χ. Ινδικός ωκεανός) και σε ηφαιστειακές περιοχές. Τέλος, ηφαίστεια ιλύος αναπτύσσονται εκτός των άλλων στα παθητικά περιθώρια (πλατφόρμες, λιμνοθάλασσες, δελταϊκά περιβάλλοντα), όπως για παράδειγμα στο δέλτα του Νείλου και στον κόλπο του Μεξικού (Ηρακλέους, 2018).

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει ιδιαίτερα έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον σχετικά με τον εντοπισμό ηφαιστειών ιλύος. Οι βασικές αιτίες είναι οι ακόλουθες (Ηρακλέους, 2018):

- Συνδέονται άμεσα με περιοχές όπου υπάρχουν υδρογονάνθρακες με αποτέλεσμα να αποτελούν αξιόπιστο δείκτη εντοπισμού κοιτασμάτων πετρελαίου, με χαρακτηριστικά παραδείγματα το Αζερμπαϊτζάν, την Ινδονησία, την Καραϊβική, τη Βόρεια θάλασσα και την Μεσόγειο.
- Αποτελούν ιδιαίτερα σημαντική πηγή ροής μεθανίου από τη λιθόσφαιρα στην υδρόσφαιρα και στην ατμόσφαιρα, με σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, συμβάλλοντας έντονα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και την κλιματική αλλαγή.
- Παρέχουν ιδιαίτερα χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την γεωλογία και την βιοχημεία της περιοχής, μέσω της μελέτης των υλικών που εκχύνονται από αυτά.
- Θεωρούνται ενεργειακές δεξαμενές μεθανίου και πολλά υποσχόμενες δυνητικά ενεργειακές πηγές, εξαιτίας των εκλυόμενων αερίων συνδυαστικά με το εκλυόμενο πυθμενικό νερό υψηλής θερμότητας.
- Δυσχεραίνουν εξαιρετικά την διεξαγωγή γεωτρήσεων συνιστώντας σημαντικό υποθαλάσσιο γεωκίνδυνο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

*«Η ανθρώπινη εφευρετικότητα ποτέ δεν θα γεννήσει κάτι πιο όμορφο, πιο απλό και ακριβές από τη φύση, γιατί στα πλάσματά της τίποτα δεν λείπει και τίποτα δεν είναι περιττό» Λεονάρντο Ντα Βίντσι (1452-1519), Ιταλία.*

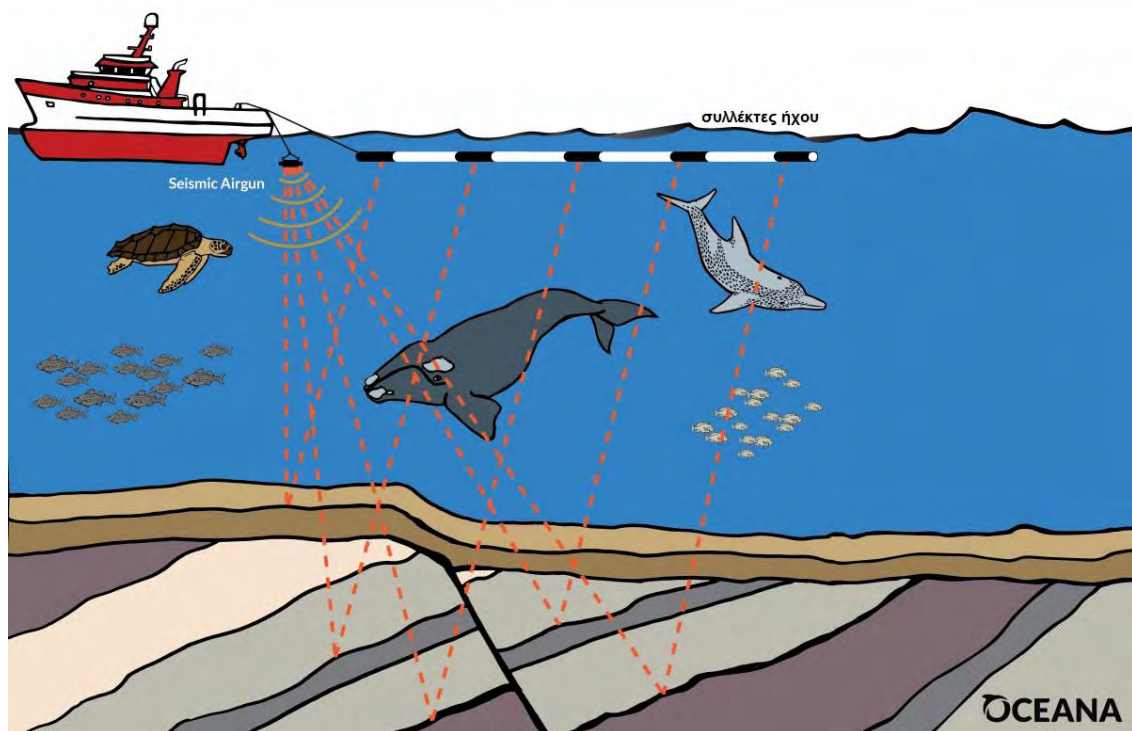
### 3.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις εξόρυξης υποθαλάσσιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων

Οι σημαντικότερες επιπτώσεις της εξόρυξης υποθαλάσσιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων εμφανίζονται στην περίπτωση ατυχήματος, εξαιτίας ανεξέλεγκτων ποσοτήτων πετρελαίου που διαφεύγουν στη θάλασσα. Εντούτοις, περιβαλλοντικές επιπτώσεις μικρότερης κλίμακας παρατηρούνται και κατά τη διάρκεια τόσο της έρευνας όσο και της λειτουργίας των παράκτιων εξεδρών (Βεργούλης, 2016).

Στο στάδιο της έρευνας, οι συσκευές σόναρ, οι οποίες χρησιμοποιούνται στις σεισμικές έρευνες για τον εντοπισμό υποθαλάσσιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων, είναι δυνατό να προκαλέσουν προσωρινά ή μόνιμα ακουστικά τραύματα στα θαλάσσια θηλαστικά που κινούνται στην ευρύτερη περιοχή (Καρατζά, 2016). Τα τραύματα αυτά είναι ιδιαίτερα σοβαρά, καθώς οι φάλαινες, τα δελφίνια και οι χελώνες επικοινωνούν μέσω ακουστικών σημάτων και αν υπάρξει απώλεια αυτής της επικοινωνίας τίθεται σε άμεσο κίνδυνο η επιβίωσή τους (OCEANA, 2019). Όπως φαίνεται από την εικόνα 60, οι σεισμικές έρευνες πραγματοποιούνται μέσω πλοίων, τα οποία ρυμουλκούν ειδικές συσκευές, τα seismic airguns<sup>6</sup>, που παράγουν ισχυρά ακουστικά κύματα που εισχωρούν βαθιά στο εσωτερικό του φλοιού της γης με σκοπό τον εντοπισμό πετρελαίου. Εκτός των άλλων, οι ερευνητικές γεωτρήσεις, που εκτελούνται μετά το τέλος των σεισμικών ερευνών, είναι δυνατό να προκαλέσουν διαρροή υδρογονανθράκων στη θάλασσα (Καρατζά, 2016).

---

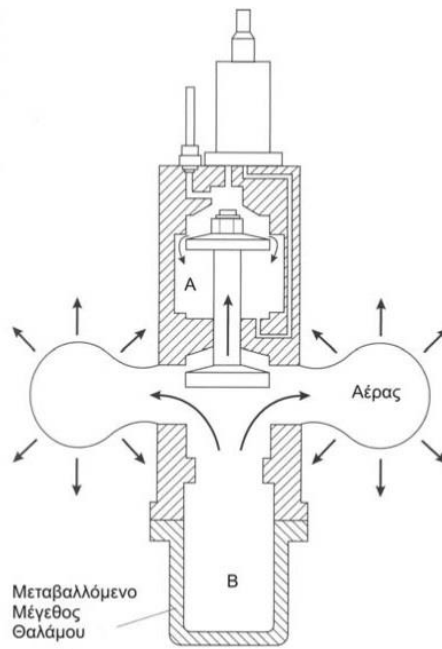
<sup>6</sup> Κάθε πλοίο που εκτελεί σεισμικές έρευνες διαθέτει 12-48 airguns.



**Εικόνα 60:** Τρόπος λειτουργίας και επιπτώσεις σεισμικών ερευνών.  
(Πηγή: OCEANA, 2019)

Τα seismic airguns είναι οι πιο συνηθισμένες υποθαλάσσιες σεισμικές πηγές και αποτελούνται από 2 δοχεία υψηλής πίεσης, που είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω ενός κινούμενου εμβόλου. Κατά τη λειτουργία τους, αέρας υψηλής πίεσης (2.000 psi<sup>7</sup>), εισέρχεται στο δοχείο Α και δια μέσου μιας οπής που υπάρχει στο έμβολο, μεταφέρεται στο δοχείο Β (εικόνα 61). Έπειτα, με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού παλμού ανοίγει μία σωληνοειδής βαλβίδα που μεταφέρει αέρα υψηλής πίεσης κάτω από την ανώτερη επιφάνεια του εμβόλου, προκαλώντας κατ' αυτόν τον τρόπο την κίνησή του προς τα πάνω και την απότομη διαφυγή του αέρα, που βρίσκεται στο εσωτερικό του δοχείου Β, στο θαλασσινό νερό. Κατά συνέπεια, η πίεση που υπάρχει στο εσωτερικό του δοχείου Α ωθεί το έμβολο στην κατώτερη θέση και ο κύκλος επαναλαμβάνεται αρκετές ακόμα φορές (Αποστολόπουλος, 2013)

<sup>7</sup> 1psi = 6,8948 kPa.



**Εικόνα 61:** Τρόπος λειτουργίας των airguns.  
(Πηγή: Αποστολόπουλος, 2013)

Στο στάδιο της εκμετάλλευσης ενός υποθαλάσσιου κοιτάσματος, οι κυριότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις προκαλούνται από ατυχήματα διαρροής αργού πετρελαίου και χημικών ουσιών, τόσο εξαιτίας ανεπάρκειας του εξοπλισμού όσο και εξαιτίας ανθρώπινου λάθους<sup>8</sup>. Οι διαρροές αυτές είναι δυνατό να εμφανιστούν είτε κατά τη διάρκεια της γεώτρησης, είτε κατά τη διάρκεια των εργασιών φόρτωσης και εκφόρτωσης των δεξαμενών, είτε κατά τη διάρκεια των εργασιών καθαρισμού και αποστράγγισης των φρεατίων. Οι επιπτώσεις τους στα οικοσυστήματα είναι καταστροφικές (βλέπε παράγραφο 3.3).

Εξίσου σημαντική αιτία πρόκλησης σοβαρών περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι η απόρριψη στη θάλασσα του παραγόμενου, κατά τη φάση της άντλησης, νερού που περιέχει ίχνη πετρελαίου, πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, αλκυλοφαινόλες, βαρέα μέταλλα και ραδιενεργές ουσίες<sup>9</sup> (εικόνα 62). Το νερό αυτό είναι το άθροισμα του νερού, που βρίσκεται στο υπέδαφος με φυσικό τρόπο εντός του κοιτάσματος μαζί με το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο<sup>10</sup>, και του νερού που

<sup>8</sup> Σημαντικός παράγοντας αύξησης του κινδύνου διαρροής θεωρείται η μεγάλη ηλικία της υποδομής.

<sup>9</sup> Οι επικίνδυνες αυτές ουσίες σε χαμηλές συγκεντρώσεις έχουν δημιουργηθεί με φυσικό τρόπο μέσα στο κοιτάσμα.

<sup>10</sup> Το νερό που υπάρχει εντός των κοιτασμάτων υδρογονανθράκων είναι πολύ πιο αλμυρό σε σχέση με αυτό των ωκεανών.

διοχετεύεται, κατά τη φάση της εξόρυξης, στο κοίτασμα ώστε, είτε να αυξηθεί η πίεση του κοιτάσματος με σκοπό την διατήρηση των επιπέδων άντλησης σε ικανοποιητικά επίπεδα, είτε να ξεπλυθούν τα πετρώματα του κοιτάσματος. Πιο απλά, κατά την άντληση του πετρελαίου ή του φυσικού αερίου αναπόφευκτα αντλείται ταυτόχρονα σημαντική ποσότητα νερού (το παραγόμενο κατά τη φάση της άντλησης νερό). Η ποσότητα αυτή με το πέρασμα των ετών άντλησης αυξάνεται ραγδαία, με αποτέλεσμα όταν ολοκληρωθεί η εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος, ο όγκος του νερού που έχει εξαχθεί να είναι μεγαλύτερος του όγκου των υδρογονανθράκων. Η διαχείριση των τεράστιων αυτών ποσοτήτων νερού είναι δύσκολη και η συχνότερη λύση είναι η απόρριψή του στη θάλασσα, αφού πρώτα απομακρυνθούν, στο μέτρο του εφικτού, οι επικίνδυνες και τοξικές ουσίες (Καρατζά, 2016).

Μια από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εξόρυξης υποθαλάσσιων κοιτασμάτων οφείλεται στην διοχέτευση κατά περιόδους μιας ποσότητας τοξικής γεωτρητικής λάσπης (mud) στη θάλασσα. Η λάσπη αυτή συνιστά ένα μείγμα χημικών ουσιών που έχουν χαρακτηριστικά υψηλή τοξικότητα<sup>11</sup> και χρησιμοποιούνται ώστε να αποφευχθεί η ανεξέλεγκτη και βίαιη έξοδος πετρελαίου κατά τη διάρκεια της γεώτρησης, καθώς το κοίτασμα βρίσκεται σε κατάσταση πολύ υψηλών πιέσεων, πολλαπλάσιων της ατμοσφαιρικής. Κατά συνέπεια, η λάσπη διοχετεύεται στην οπή της γεώτρησης, με αποτέλεσμα να αναπτυχθεί μια υδροστατική πίεση μεγαλύτερη της πίεσης εκροής, που έχει την τάση να οδηγεί το πετρέλαιο έξω από το κοίτασμα, εξασφαλίζοντας την ασφάλεια της υποδομής και του περιβάλλοντος. Εκτός του βασικού ρόλου που αναλύθηκε, η λάσπη ψύχει και λιπαίνει το γεωτρήσιμο, αφαιρεί τα θρύμματα, τα οποία συσσωρεύονται περιμετρικά του πηγαδιού της γεώτρησης και συγκρατεί ενδεχόμενες καταπτώσεις βραχωδών ή και εδαφικών υλικών από τα τοιχώματα της οπής της γεώτρησης. Εντούτοις, κυρίως κατά τη διάρκεια των ιδιαίτερα συχνών εργασιών συντήρησης και αντικατάστασης των αντλιών<sup>12</sup>, που αντλούν το αργό πετρέλαιο, αναπόφευκτα μια ποσότητα της λάσπης καταλήγει στη θάλασσα. Γενικά, η λάσπη από την εξέδρα εξόρυξης διοχετεύεται σε ειδικά δοχεία και ειδικές φορηγίδες, πράγμα το οποίο καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολο κατά τη διάρκεια έντονων και δυσμενών καιρικών συνθηκών (Καρατζά, 2016).

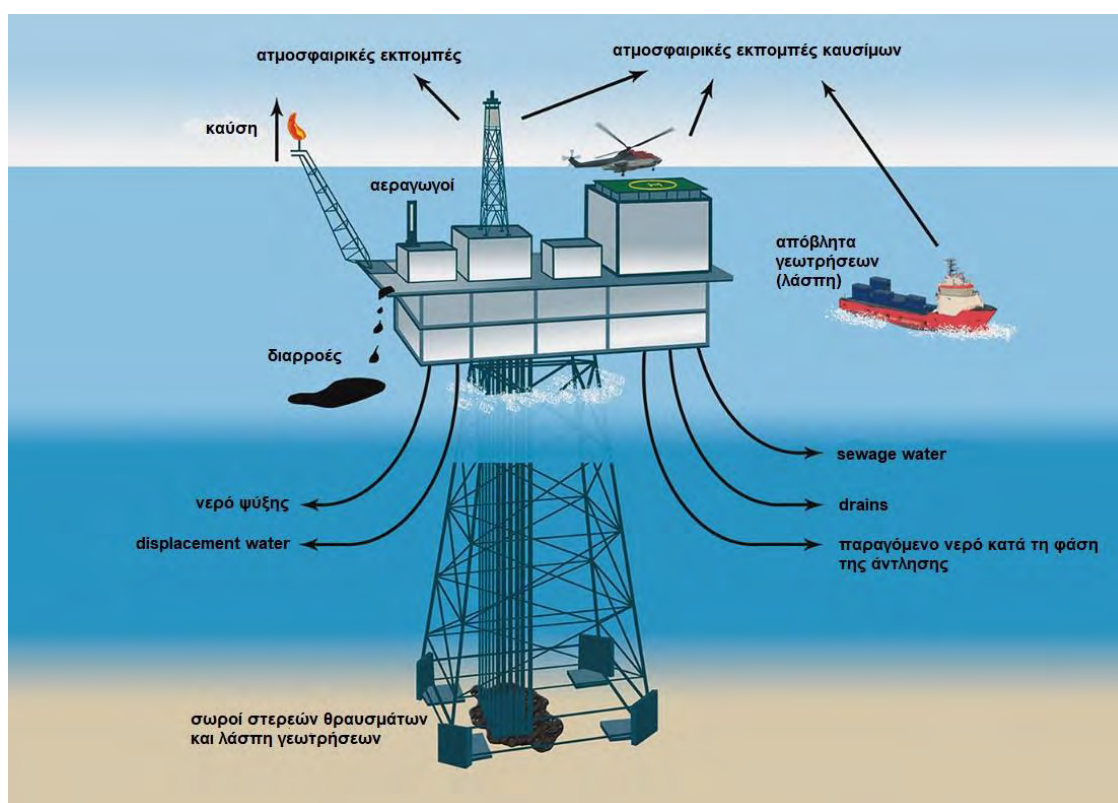
---

<sup>11</sup> Στα κοιτάσματα πετρελαίου συνηθίζεται να χρησιμοποιείται συνθετική λάσπη, που αποτελείται από συνθετικά και έντονα τοξικά έλαια.

<sup>12</sup> Κάθε εξέδρα εξόρυξης είναι δυνατό να διαθέτει ακόμα και 25 αντλίες.

Εκτός των άλλων, αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι δυνατό να προκληθούν από ατμοσφαιρικές εκπομπές, είτε άμεσα, κατά τη διάρκεια των δοκιμών παραγωγής των γεωτρήσεων, καθώς επίσης και κατά τη φόρτωση και εκφόρτωση των δεξαμενών (εκπομπές κυρίως πτητικών οργανικών ενώσεων), είτε έμμεσα, κατά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για την άντληση και επεξεργασία του πετρελαίου.

Τέλος, η εγκατάσταση του γεωτρητικού εξοπλισμού, των σωληνώσεων και των αγωγών μεταφοράς στον θαλάσσιο πυθμένα, καθώς επίσης και τα απόβλητα των διατρήσεων, είναι δυνατό να επηρεάσουν αρνητικά τις βενθικές βιοκοινωνίες (Καρατζά, 2016). Σημαντική μπορεί να θεωρηθεί ορισμένες φορές και η όχληση από την κίνηση ελικοπτέρων όταν οι εξέδρες εξόρυξης βρίσκονται εντός σημαντικών βιοτόπων πτηνών, καθώς επίσης και η ηχορύπανση που προκαλείται εξαιτίας διαφόρων εργασιών (Βεργούλης, 2016).



**Εικόνα 62:** Οι επιπτώσεις μιας τυπικής εξέδρας εξόρυξης υποθαλάσσιου κοιτάσματος.

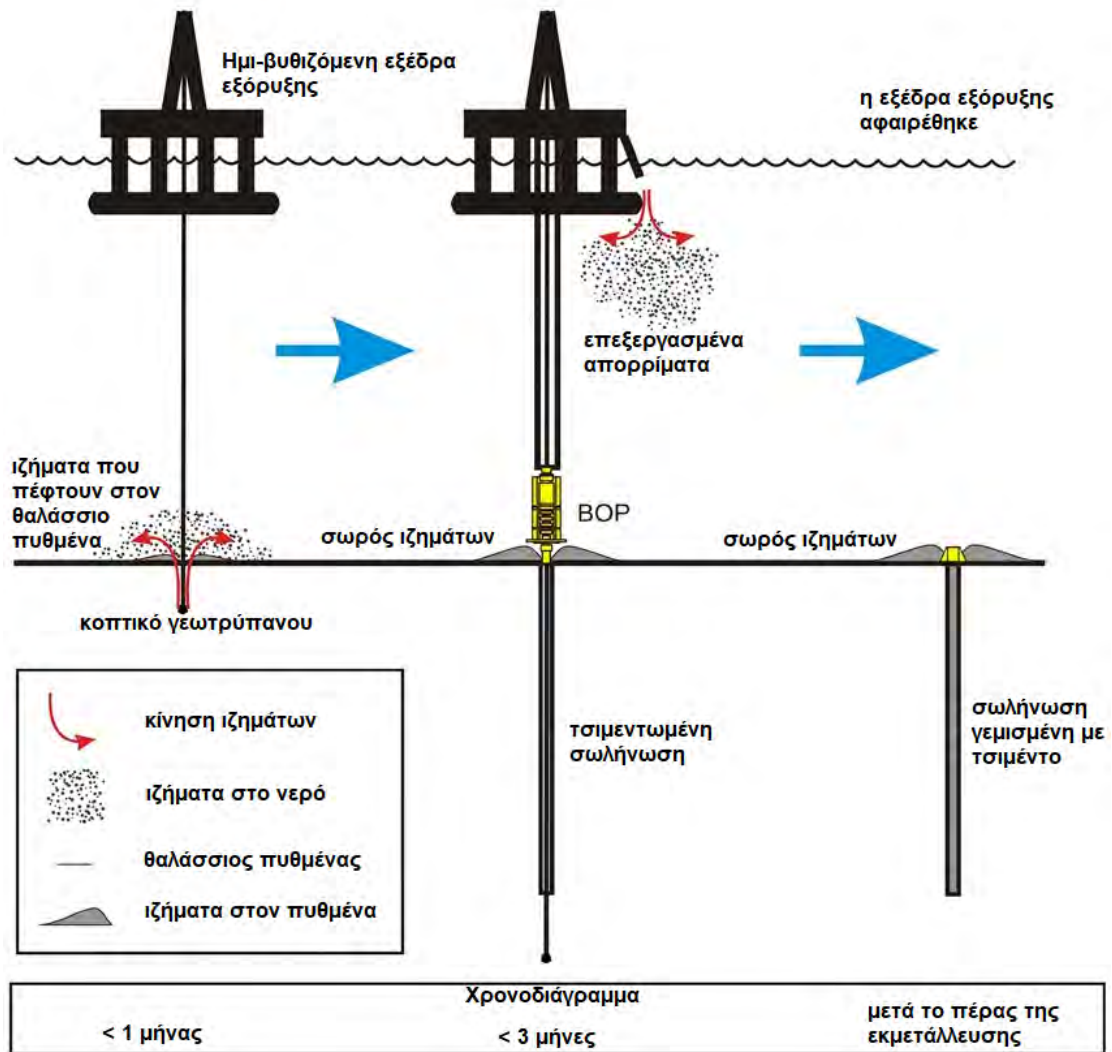
displacement water = διαχωρισμένο νερό από το πετρέλαιο,  
sewage water = λύματα, drains = αποχέτευση,

(Πηγή: OSPAR Commission, 2010) Ίδια επεξεργασία.

Φυσικά, η υιοθέτηση των αυστηρότερων δυνατών μέτρων προστασίας του περιβάλλοντος και η αυστηρή τήρηση των περιβαλλοντικών όρων των μελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, σύμφωνα με τους διεθνείς κανόνες ασφαλείας, καθώς και η εφαρμογή των βέλτιστων τεχνολογιών είναι δυνατό να ελαχιστοποιήσουν τους περιβαλλοντικούς κινδύνους. Σε κάθε περίπτωση, η απόφαση εξόρυξης ενός υποθαλάσσιου κοιτάσματος δεν σημαίνει αυτόματα και περιβαλλοντική υποβάθμιση της περιοχής, καθώς υπάρχουν δεκάδες παραδείγματα διατήρησης αδιατάρακτων οικοσυστημάτων σε πολύ μικρή απόσταση από υπεράκτιες πλατφόρμες εξόρυξης, μεταξύ αυτών και ο Πρίνος (στον κόλπο Καβάλας), όπου μέχρι και σήμερα δεν έχει συμβεί απολύτως καμία διαρροή πετρελαίου (Βεργούλης, 2016).

Η εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος υδρογονανθράκων, που βρίσκεται σε μεγάλα βάθη, είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί μέσω της εγκατάστασης μιας ημι-βυθιζόμενης πλατφόρμας εξόρυξης. Τον πρώτο μήνα της τοποθέτησης της πλατφόρμας και της αντίστοιχης γεώτρησης, ιζήματα καταλήγουν στον θαλάσσιο πυθμένα, σχηματίζοντας έναν σωρό εδαφικού υλικού περιμετρικά της οπής της γεώτρησης, εξαιτίας της λειτουργίας του κοπτικού του γεωτρώπανου. Το επόμενο διάστημα και πριν το πέρας 3 μηνών από την έναρξη της εγκατάστασης, τοποθετείται ο μηχανισμός ασφαλείας BOP (Blow Out Preventer) στην κορυφή της τσιμεντωμένης σωλήνωσης και απορρίπτονται στη θάλασσα ιζήματα (επεξεργασμένα απορρίμματα). Στο τέλος, μετά το πέρας της εκμετάλλευσης του κοιτάσματος αφαιρείται η εξέδρα εξόρυξης και στον θαλάσσιο πυθμένα έχει απομείνει μόνο ένας σωρός ιζημάτων (εικόνα 63).





**Εικόνα 63:** Η εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος υδρογονανθράκων μέσω μιας ημι-βυθιζόμενης πλατφόρμας εξόρυξης σε μεγάλα βάθη θάλασσας σε συνάρτηση με τον χρόνο και η απόρριψη των ιζημάτων (στερεών θραυσμάτων), (Πηγή: Cordes et al., 2016) Ίδια επεξεργασία.

### 3.2 Ατυχήματα

Αναντίρρητα η εξόρυξη υδρογονανθράκων είναι μια δραστηριότητα που προκαλεί όχληση στο φυσικό και στο ανθρωπογενές περιβάλλον. Εντούτοις, ο μεγαλύτερος κίνδυνος, τόσο για το περιβάλλον όσο και για τον άνθρωπο, έγκειται στην περίπτωση ατυχήματος. Ο κίνδυνος αυτός αυξάνεται σημαντικά στην περίπτωση της εκμετάλλευσης υποθαλάσσιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα του περιβαλλοντικού κινδύνου που εγκυμονεί η εκμετάλλευση υποθαλάσσιων κοιτασμάτων συνιστούν τα 3 μεγαλύτερα ατυχήματα που έλαβαν χώρα σε υπεράκτιες εξέδρες εξόρυξης (εικόνα 64).



**Εικόνα 64:** Οι δέκα μεγαλύτερες διαρροές πετρελαίου (σε εκ. βαρέλια) από εξέδρες εξόρυξης υποθαλάσσιων κοιτασμάτων, 1969- 2010. (Πηγή: Bourne, 2010)

Το πρώτο έλαβε χώρα το 1979 στην εξέδρα Ixtoc I στον Κόλπο του Μεξικού και αφορούσε διαρροή 3,5 εκ. βαρελιών πετρελαίου. Η ρύπανση που προκλήθηκε από το συμβάν ήταν τόσο μεγάλης έκτασης ώστε τα συνεργεία διάσωσης χρειάστηκαν περίπου 9 μήνες για να την περιορίσουν. Έπειτα, το 1983, στο Nowruz του Περσικού Κόλπου έγινε διαρροή 1,9 εκ. βαρελιών<sup>13</sup> (Βλάχος, 1999). Τέλος, το πιο πρόσφατο και καταστροφικότερο ατύχημα, έλαβε χώρα τον Απρίλιο του 2010 στην εξέδρα εξόρυξης Deepwater Horizon της BP στον Κόλπο του Μεξικού, ανοιχτά της Νέας Ορλεάνης (Bourne, 2010). Η αιτία ήταν η αδυναμία λειτουργίας του υποβρύχιου μηχανισμού αυτόματου σφραγίσματος, γνωστού και ως βαλβίδα Blow

<sup>13</sup> Στον Περσικό Κόλπο, λίγα χρόνια μετά, το 1991, κατά τη διάρκεια του Πολέμου του Κόλπου ο Ιρακινός στρατός απελευθέρωσε περίπου 11 εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου στη θάλασσα περιοχή του Περσικού Κόλπου (Καρατζά, 2016) ώστε να αποφευχθεί ενδεχόμενη υποθαλάσσια επίθεση του ναυτικού των Ηνωμένων Πολιτειών. Το περιστατικό αυτό, θεωρείται στρατηγική απόφαση και όχι ατύχημα.

Out Preventer (BOP)<sup>14</sup>, που ήταν εγκατεστημένος στον υποθαλάσσιο πυθμένα σε βάθος θάλασσας 1.500 m. Η αδυναμία αυτή προκλήθηκε εξαιτίας μιας αποτυχημένης διαδικασίας τσιμεντοποίησης<sup>15</sup> και είχε ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση αερίου υψηλής πίεσης, που οδήγησε σε έκρηξη (Καρατζά, 2016). Η έκρηξη στην εξέδρα Deepwater Horizon προκάλεσε τη βύθισή της ύστερα από 36 ώρες προσπαθειών κατάσβεσης (εικόνα 65), την απώλεια της ζωής 11 εργαζομένων και τη διαρροή περίπου 5 εκ. βαρελιών πετρελαίου. Έχει χαρακτηριστεί ως το σημαντικότερο ατύχημα θαλάσσιας ρύπανσης από διαρροή πετρελαίου στην παγκόσμια ιστορία (Bourne, 2010). Η περιβαλλοντική υποβάθμιση 32.000 km<sup>2</sup> υγροτόπων της Louisiana, ενός από τα πιο παραγωγικά οικοσυστήματα της Βόρειας Αμερικής, είχε ιδιαίτερα αρνητικό οικονομικό αντίκτυπο στις κοινωνίες της περιοχής, αυξάνοντας με ραγδαίους ρυθμούς την ανεργία εξαιτίας της αδυναμίας αλιείας και του περιορισμού της τουριστικής βιομηχανίας (Barcott, 2010).

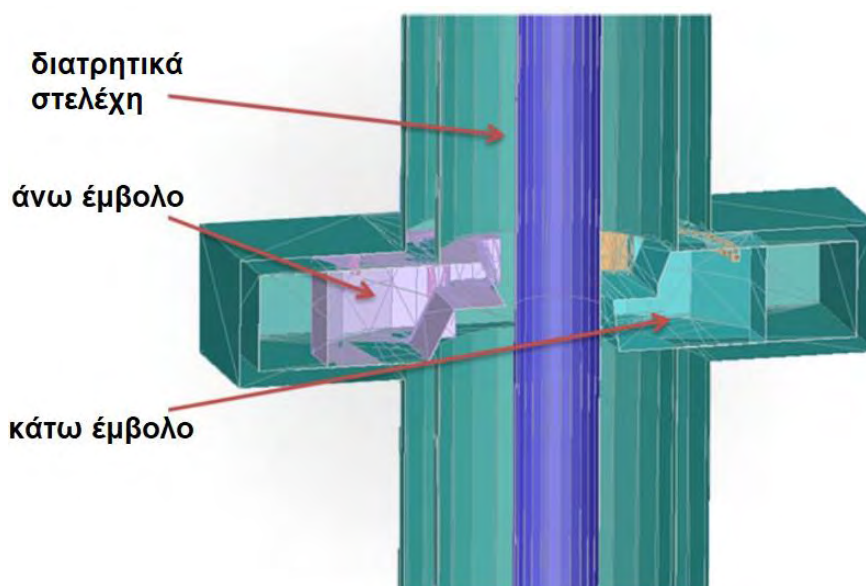


**Εικόνα 65:** Οι προσπάθειες κατάσβεσης και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του ατυχήματος στην εξέδρα Deepwater Horizon (Πηγή: Barcott, 2010) Ίδια επεξεργασία.

<sup>14</sup> Η βαλβίδα BOP χρησιμοποιείται στις πλωτές κατασκευές εξόρυξης ως προστασία για την αποτροπή της ανεξέλεγκτης ροής πετρελαίου, λόγω διαφοράς πίεσης αποσκοπώντας κατ' επέκταση στην προστασία του πληρώματος και του εξοπλισμού.

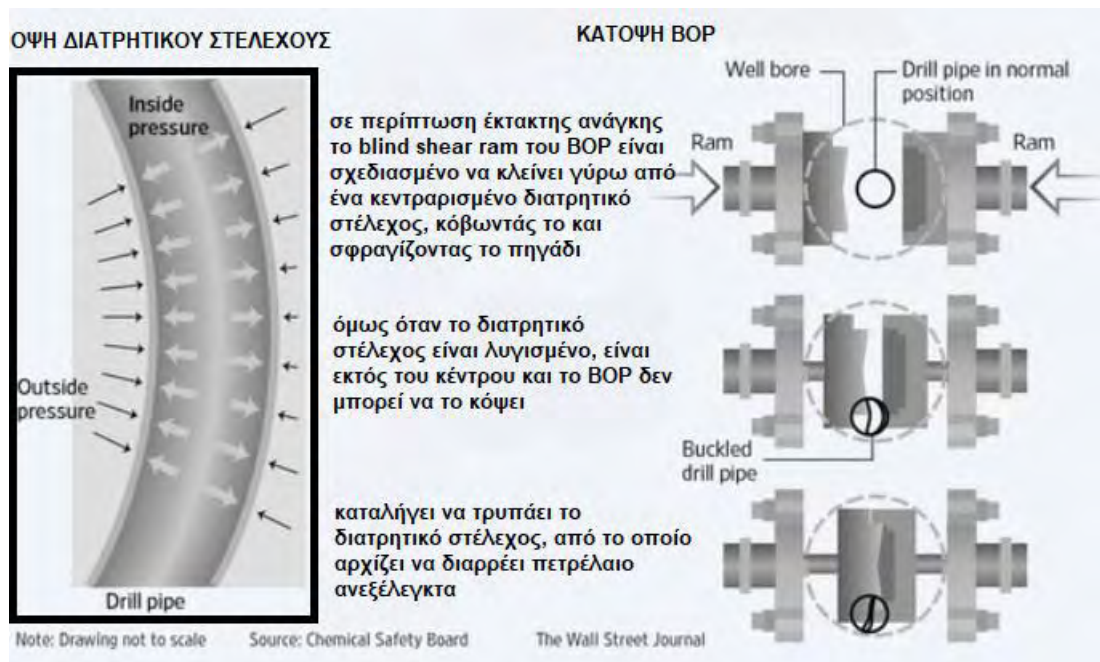
<sup>15</sup> Η διαδικασία τσιμεντοποίησης είναι η διοχέτευση τσιμέντου γύρω από το ασάλινο περίβλημα του σωλήνα της γεώτρησης με σκοπό την πλήρωση του κενού μεταξύ αυτού και του τοιχώματος του φρέατος.

Ειδικότερα, το 2017, επτά χρόνια μετά το συγκεκριμένο ατύχημα, αναφέρθηκαν 1.129 μηχανολογικές αστοχίες στις εξέδρες εξόρυξης του Κόλπου του Μεξικού. Δεκάδες από τις αστοχίες αυτές αφορούσαν τα συστήματα των βαλβίδων ασφαλείας Blow Out Preventer, αλλά συνέβησαν σε απλές δοκιμές χαμηλής επικινδυνότητας. Εάν μια αστοχία του BOP λάβει χώρα σε μια κρίσιμη κατάσταση της γεώτρησης, όταν οι πιέσεις κάτω από τον θαλάσσιο πυθμένα είναι εξαιρετικά ισχυρές, τότε οι συνέπειες θα είναι καταστροφικές. Άλλωστε η έκρηξη στην εξέδρα εξόρυξης Deepwater Horizon θα είχε αποφευχθεί εάν η αντίστοιχη υποβρύχια βαλβίδα BOP είχε λειτουργήσει, σφραγίζοντας τη γεώτρηση. Έρευνα το 2012 έδειξε ότι το BOP δεν είναι σχεδιασμένο ώστε να σφραγίζει όλους τους τύπους και τα μεγέθη διατρητικών στελεχών, που μπορεί να υπάρξουν. Τέλος, μια μεταγενέστερη μελέτη που πραγματοποιήθηκε το 2014 έδειξε ότι το έμβολο σφραγίσματος του BOP (Blind Shear Ram), (εικόνα 66) δεν είναι σχεδιασμένο να σταματήσει την κυκλοφορία διατρητικού στελέχους που είναι λυγισμένο ή μη κεντραρισμένο. Σύμφωνα με την BP όταν απαιτούνταν η χρήση του BOP, τη στιγμή της έκρηξης, τα διατρητικά στελέχη της γεώτρησης Deepwater Horizon ήταν λυγισμένα, εξαιτίας της μεγάλης διαφοράς στην πίεση εξωτερικά και εσωτερικά του στελέχους<sup>16</sup> (εικόνα 67), και μη κεντραρισμένα στο πηγάδι της γεώτρησης (Hilzenrath, 2018).



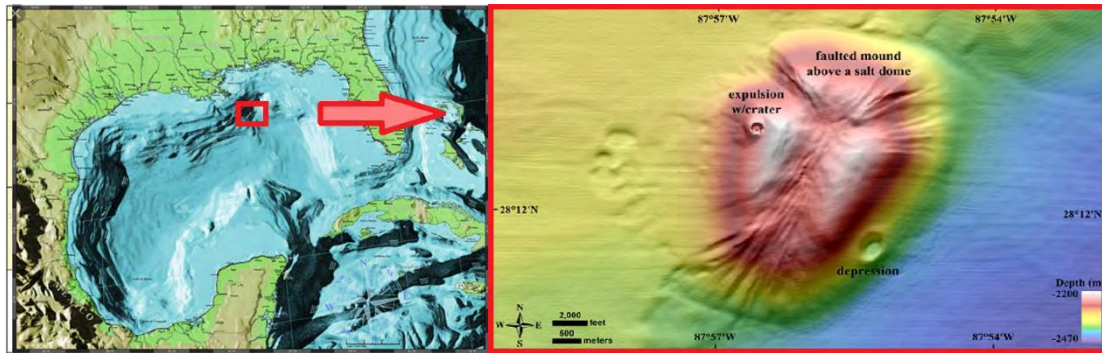
**Εικόνα 66:** Σχηματική απεικόνιση του εμβόλου σφραγίσματος (Blind Shear Ram) σε μοντέλο CAD σε προσομοίωση υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (Computational Fluid Dynamics, CFD), (Πηγή: McCleney, 2019) Ίδια επεξεργασία.

<sup>16</sup> Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ενεργή συμπίεση (effective compression), (Gold, 2014).



**Εικόνα 67:** Η αιτία εξαιτίας της οποίας δεν είναι δυνατή η λειτουργία του συστήματος ασφαλείας BOP όταν το διατρητικό στέλεχος της γεώτρησης είναι λυγισμένο (Πηγή: Gold, 2014) Ίδια επεξεργασία.

Αξίζει να σημειωθεί πως ο θαλάσσιος πυθμένας του Κόλπου του Μεξικού χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα ανώμαλο ανάγλυφο με βαθιά φαράγγια, υποθαλάσσιες ράχες και ενεργά ηφαίστεια ιλύος ύψους 150 m. Αν και σε ημερήσια βάση εκρέουν στη θάλασσα τουλάχιστον 2.000 βαρέλια πετρελαίου μέσω των υδροθερμικών φρεατίων του πυθμένα, τα εμπορικά εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα της περιοχής βρίσκονται σε μεγάλα βάθη κάτω από ασταθή στρώματα αλάτων. Στους γεωκινδύνους της περιοχής εκτός των υποθαλάσσιων κατολισθήσεων, που είναι συχνό φαινόμενο, πρέπει να προστεθούν οι παγωμένοι αλλά ασταθείς θύλακες μεθανίου (υδρίτες αερίων) στα επιφανειακά ιζήματα του πυθμένα (εικόνα 68), (Bourne, 2010).



**Εικόνα 68:** Ένα από τα ηφαίστεια υλός του Κόλπου του Μεξικού και μια δομή άλατος (Πηγή: Kramer & Shedd, 2017) Ίδια επεξεργασία.

Γενικά οι δυο κυριότεροι παράγοντες που συμβάλουν στα ατυχήματα πλωτών εγκαταστάσεων εξόρυξης υδρογονανθράκων<sup>17</sup> είναι οι ακραίες καιρικές συνθήκες, όπως κυκλώνες, και τα ανθρώπινα λάθη (Καραμαλίκη, 2017). Καθίσταται σαφές πως η μελέτη και αξιοποίηση της διεθνούς εμπειρίας είναι απαραίτητη ώστε να ελαχιστοποιηθεί το δεδομένο περιβαλλοντικό ρίσκο της υποθαλάσσιας εξόρυξης υδρογονανθράκων και να αποφευχθούν παρόμοια ατυχήματα στο μέλλον (Βεργούλης, 2016). Για παράδειγμα το ατύχημα στον Κόλπο του Μεξικού ανέδειξε τις δυσκολίες που υπάρχουν στην αντιμετώπιση ατυχημάτων και ανεξέλεγκτων διαρροών σε περιπτώσεις εξόρυξης σε υποθαλάσσια κοιτάσματα μεγάλου βάθους (Καραμαλίκη, 2017).

Εντούτοις, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως από το 1970 μέχρι σήμερα έλαβαν χώρα δεκαέξι μεγάλα ατυχήματα διαρροής πετρελαίου, εκ των οποίων η συντριπτική πλειοψηφία αφορούσε ατυχήματα που συνέβησαν σε τάνκερ μεταφοράς πετρελαίου και όχι σε παράκτιες εξέδρες εξόρυξης<sup>18</sup>. Χαρακτηριστική περίπτωση ήταν η προσάραξη του τάνκερ Exxon Valdez, το 1989, στην Αλάσκα. Εκτιμάται ότι από το συγκεκριμένο ατύχημα έχασαν τη ζωή τους 300.000 με 675.000 θαλασσοπούλια, ενώ ακόμα και 10 χρόνια ύστερα από το συμβάν μόλις 2 είδη άγριας ζωής κατάφεραν να επανέλθουν. Στην Ελλάδα, ανοιχτά της Πύλου, το 1980, η βύθιση του τάνκερ Irenes Serenade απελευθέρωσε στο Ιόνιο πέλαγος 730.000 βαρέλια αργού πετρελαίου (Τσακίρογλου, 2014), ενώ το 2017 η βύθιση του δεξαμενόπλοιου Αγία Ζώνη II απελευθέρωσε περίπου 2.500 τόνους καυσίμου στον Αργοσαρωνικό.

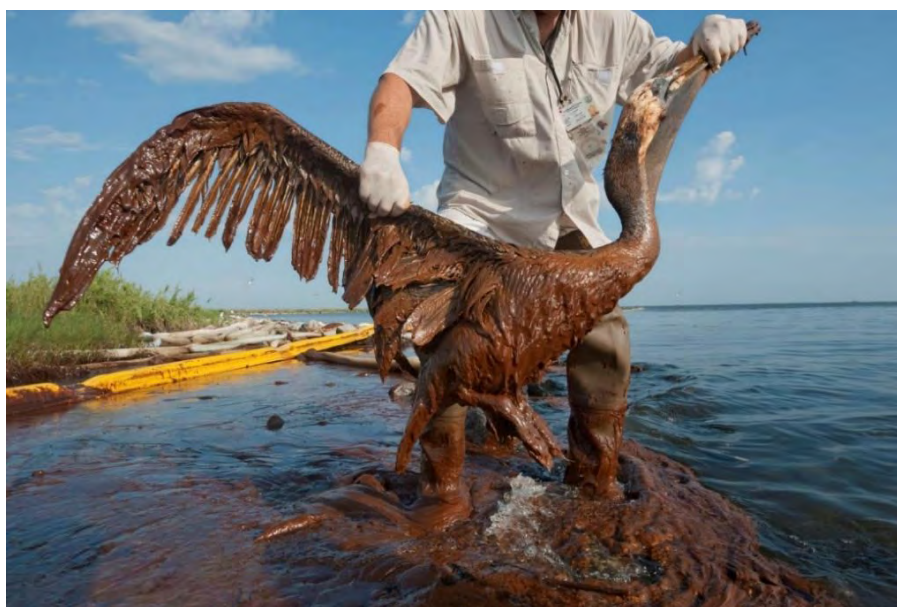
<sup>17</sup> Εκτός των ενδεχόμενων γεωκινδύνων.

<sup>18</sup> Μόλις το 1% της θαλάσσιας ρύπανσης παγκοσμίως προέρχεται από την εξόρυξη υποθαλάσσιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων (Καρατζά, 2016).

### 3.3 Επιπτώσεις σε οικοσυστήματα

Οι κύριες περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εξόρυξης υποθαλάσσιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων σχετίζονται με διαρροές πετρελαίου και αφορούν το θαλάσσιο περιβάλλον και τη βιοποικιλότητα των οικοσυστημάτων (Βεργούλης, 2016). Οι βασικές οικολογικές επιπτώσεις από την διαρροή πετρελαίου στη θάλασσα οφείλονται στα τοξικά συστατικά του αργού πετρελαίου (πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες<sup>19</sup>, φαινόλες, ναφθαλίνη, και φαινανθρένιο) και είναι οι ακόλουθες.

Ιδιαίτερα σημαντική επίπτωση είναι η πρόκληση σοβαρών προβλημάτων υγείας σε πτηνά και θαλάσσια θηλαστικά εξαιτίας της επικάλυψης από πετρέλαιο των φτερών τους και του δέρματός τους αντίστοιχα<sup>20</sup>. Επίσης, μελέτες έχουν δείξει την πρόκληση βλαβών στο αναπαραγωγικό σύστημα των εν λόγω θηλαστικών και πτηνών (Καρατζά, 2016). Ο πελεκάνος της εικόνας 69 τελικά επέζησε του καταστροφικού ατυχήματος της εξέδρας εξόρυξης Deepwater Horizon στον Κόλπο του Μεξικού, το 2010, χάρη στην άμεση βοήθεια των σωστικών συνεργείων. Ωστόσο, η πλειοψηφία αντίστοιχων περιστατικών επικάλυψης θαλάσσιων οργανισμών από πετρέλαιο είχε θανατηφόρα κατάληξη (Bourne, 2010).



**Εικόνα 69:** Επικάλυψη των φτερών ενός πελεκάνου από πετρέλαιο εξαιτίας του ατυχήματος στην εξέδρα Deepwater Horizon, στον Κόλπο του Μεξικού.  
(Πηγή: Bourne, 2010)

<sup>19</sup> Οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες μπορεί να είναι μεταλλαξιογόνοι και καρκινογόνοι.

<sup>20</sup> Τέτοιου είδους περιστατικά συμβαίνουν σε περιπτώσεις διαρροών πετρελαίου μεγάλης έκτασης.

Αξίζει να σημειωθεί πως όπως φαίνεται και στην προηγούμενη εικόνα ο κίνδυνος για την ζωή των πτηνών εντείνεται από την τάση τους να καθαρίζουν τα φτερά τους με το ράμφος τους, γεγονός που οδηγεί αναπόφευκτα σε κατάποση μεγάλων ποσοτήτων τοξικού για τον οργανισμό τους πετρελαίου. Εκτός των πτηνών, κατάποση ποσοτήτων πετρελαίου είναι δυνατό να συμβεί και στα θαλάσσια θηλαστικά και τις θαλάσσιες χελώνες (εικόνα 70), μέσω της τροφής τους (Καρατζά, 2016).



**Εικόνα 70:** Πλήρης επικάλυψη μιας θαλάσσιας χελώνας από πετρέλαιο εξαιτίας του ατυχήματος στην εξέδρα Deerwater Horizon, στον Κόλπο του Μεξικού. (Πηγή: Donnelly, 2010)

Οι επιπτώσεις του πετρελαίου στην υγεία των ψαριών και των οστρακόδερμων είναι ιδιαίτερα σημαντικές, καθώς κατάλοιπα πετρελαίου είναι δυνατό να συσσωρευτούν στους ιστούς τους. Όπως είναι αναμενόμενο, οι επιπτώσεις της τοξικότητας του πετρελαίου στα αυγά και στις προνύμφες ψαριών, γαρίδων και καβουριών είναι πολύ σοβαρότερες σε σχέση με τους ενήλικους θαλάσσιους οργανισμούς, λόγω της εξαιρετικής ευαισθησίας τους στα τοξικά περιβάλλοντα. Το ίδιο ισχύει και για την περίπτωση των κοραλλιών, που είναι ακόμα πιο ευαίσθητα στην τοξικότητα (Καρατζά, 2016). Στην εικόνα 71 φαίνεται μια μικροσκοπική γαρίδα, μεγέθους μόλις 2 cm, η οποία κινείται ανάμεσα σε καφετιά σφαιρίδια πετρελαίου (Bourne, 2010). Ακόμα και η απλή επαφή με το πετρέλαιο προκαλεί στα οστρακοειδή, όπως η γαρίδα της εικόνας, αναπνευστικά προβλήματα και κακή απορρόφηση της τροφής. (Τσακίρογλου, 2014).





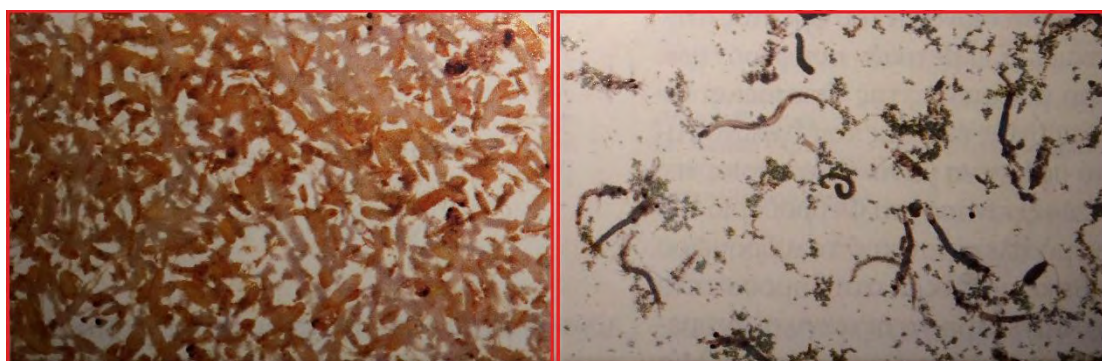
**Εικόνα 71:** Γαρίδα μεγέθους μόλις 2 cm κινείται ανάμεσα σε σφαιρίδια πετρελαίου.  
(Πηγή: Bourne, 2010, φωτογραφία: David Liittschwager)

Εντούτοις, τα ορατά αποτελέσματα της πετρελαϊκής ρύπανσης δεν είναι πάντα τα πιο σοβαρά (Τσακίρογλου, 2014). Το πλαγκτόν, η βάση της θαλάσσιας τροφικής αλυσίδας, επηρεάζεται και αυτό αρνητικά από την παρουσία πετρελαίου, καθώς δεν επιβιώνει σε νερά με μειωμένο οξυγόνο (υποξικά νερά) και τα μικρόβια που τρέφονται με πετρέλαιο και αέριο μεθάνιο προερχόμενο από τη διαρροή πολλαπλασιάζονται με ραγδαίους ρυθμούς εκτοπίζοντας το πλαγκτόν. Χαρακτηριστικά, σε δείγμα νερού που συλλέχθηκε από βάθος περίπου 10 m ανοιχτά των ακτών της Louisiana, μόλις δυο μήνες μετά το ατύχημα της εξέδρας Deerwater Horizon, εντοπίστηκαν (εικόνα 72, αριστερά) ακμαία μικροσκοπικά καρκινοειδή (κωπήποδα<sup>21</sup>), ενώ έξι μέτρα πιο κάτω υπήρχε ένα υποξικό στρώμα σχεδόν στερημένο από ζωή (εικόνα 72, δεξιά). Τα βαθιά νερά κατά συνέπεια είναι πιο πιθανό να γίνουν υποξικά και κατ' επέκταση χωρίς πλαγκτόν, εξαιτίας μιας πετρελαϊκής διαρροής (Bourne, 2010). Αξιοσημείωτο είναι ότι όταν πρόκειται για πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων στη θάλασσα, της τάξης των 50 ng/g, παρατηρείται επιτάχυνση της φωτοσύνθεσης του πλαγκτόν, καθώς δρουν ως θρεπτικά συστατικά. Όταν οι συγκεντρώσεις πετρελαιοειδών στη θάλασσα υπερβούν αυτήν την πολύ

---

<sup>21</sup> Ένα είδος ζωοπλαγκτού.

χαμηλή τιμή, υπάρχει σταδιακή μείωση των ρυθμών φωτοσύνθεσης<sup>22</sup>, παρεμπόδιση της ανάπτυξης και του πολλαπλασιασμού των πλαγκτονικών μικροοργανισμών με τελική κατάληξη τον πρόωρο θάνατό τους. Εκτός των άλλων, το ζωοπλαγκτόν έχει την τάση να καταναλώνει μικρά σταγονίδια πετρελαίου με αποτέλεσμα το πετρέλαιο να φτάνει σε υψηλότερα τροφικά επίπεδα, ενώ οι μη αφομοιώσιμες ουσίες καταλήγουν στο περιβάλλον του βυθού με τα εκκρίματα των οργανισμών αυτών (Καραμαλίκη, 2017).



**Εικόνα 72:** Οι αθέατες επιπτώσεις του ατυχήματος στην εξέδρα Deepwater Horizon, στον Κόλπο του Μεξικού.  
(Πηγή: Bourne, 2010)

Ίχνη πετρελαίου στη θάλασσα επηρεάζουν την αναπαραγωγική συμπεριφορά των θαλάσσιων οργανισμών, τη δυνατότητα προσανατολισμού τους και τους ρυθμούς αφομοίωσης της τροφής τους. Χαρακτηριστικά, ακόμα και 1  $\mu\text{g}$  πετρελαίου σε ένα λίτρο θαλασσινού νερού (1ppb) είναι πιθανό να έχει σοβαρές συνέπειες στους πιο ευαίσθητους οργανισμούς. Αναλυτικότερα, μόλις 0,2  $\mu\text{g}$  πετρελαίου σε ένα λίτρο θαλασσινού νερού μπορούν να επηρεάσουν την αναπαραγωγή ορισμένων φυκιών (Φυτιάνος, 1996), όπως τα πολύ ευαίσθητα κόκκινα φύκια (Γρηγορίου, 2012). Συγκεντρώσεις πετρελαίου που κυμαίνονται από 2  $\mu\text{g/l}$  έως 10  $\mu\text{g/l}$  θαλασσινού νερού παρεμποδίζουν την επιβίωση των νυμφών των ψαριών και μειώνουν την ωοτοκία. Συγκεντρώσεις πετρελαίου που κυμαίνονται από 20  $\mu\text{g/l}$  έως 40  $\mu\text{g/l}$  θαλασσινού νερού είναι δυνατό να επιφέρουν μεταβολές στη σύσταση του φυτοπλαγκτού, ευνοώντας για παράδειγμα τα μικρότερα είδη, ανατρέποντας έτσι κατά συνέπεια την ισορροπία της τροφικής αλυσίδας. Τέλος, συγκεντρώσεις

<sup>22</sup> Καθώς παρατηρείται μείωση της διαπερατότητας του φωτός.

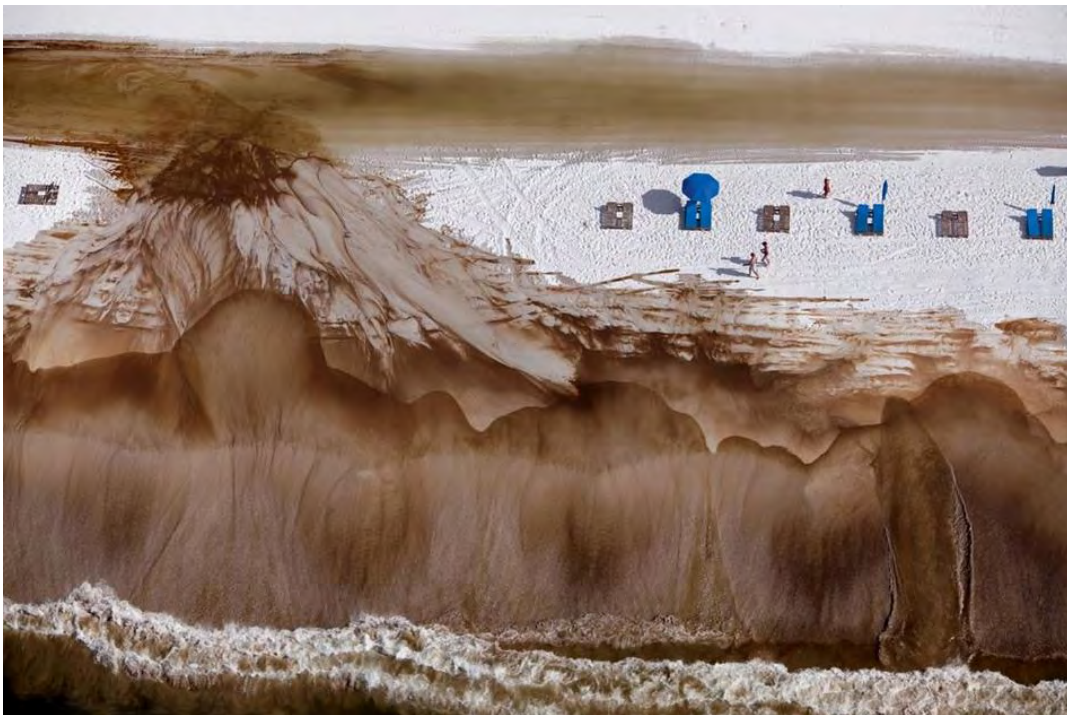
πετρελαίου της τάξης των 0,1 g/kg ιζημάτων είναι πιθανό να επηρεάσουν αρνητικά τους βενθικούς οργανισμούς (Φυτιάνος, 1996).

Όπως είναι λογικό, αφού η πετρελαϊκή ρύπανση επηρεάζει το σύνολο της τροφικής αλυσίδας, υπάρχουν μικρές επιπτώσεις της ακόμα και για την ανθρώπινη υγεία. Οι βενθικοί οργανισμοί, όπως τα στρείδια, συσσωρεύουν υδρογονάνθρακες με ταχύτατους ρυθμούς, με αποτέλεσμα να αποκτούν δυσάρεστη γεύση όταν η συγκέντρωση σε υδρογονάνθρακες φτάσει τα 10 ppb. Για τα ψάρια και τα καρκινοειδή οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 4 ppm έως 300 ppm. Εκτιμάται ότι η κατανάλωση θαλασσινών, παγκοσμίως, συνεισφέρει 2-3% της συνολικής κατανάλωσης καρκινογόνων πολυκυκλικών υδρογονανθράκων (PAH) από τρόφιμα, καθώς τα θαλασσινά περιέχουν γενικά πολύ μικρές ποσότητες αυτών των επικίνδυνων ουσιών. Κατά συνέπεια, οι συγκεντρώσεις αυτές των καρκινογόνων ουσιών (PAH) δεν συνιστούν άμεσο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία, ευθύνονται όμως για όγκους και απολεπίσεις ψαριών και παρακαρκινικές καταστάσεις σε όστρακα, που παρατηρούνται σε περιοχές με χρόνια πετρελαϊκή ρύπανση (Καραμαλίκη, 2017).

Αναλυτικότερα, οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της πετρελαϊκής ρύπανσης αφορούν ορμονικές διαταραχές, μεταλλαξιογόνες και τοξικές επιδράσεις. Χημικές ουσίες που είναι ανθεκτικές και βιοσυσσωρεύσιμες είναι δυνατό να συσσωρευτούν κατά μήκος της τροφικής αλυσίδας και να οδηγήσουν σε υψηλά επίπεδα έκθεσης τους οργανισμούς που βρίσκονται στην κορυφή της. Τέτοιοι οργανισμοί είναι τα θαλάσσια πτηνά, τα θηλαστικά και ο άνθρωπος. Χαρακτηριστικά, ακόμα και χαμηλές συγκεντρώσεις ορισμένων χημικών ουσιών είναι ικανές να προκαλέσουν επιπλοκές στο ανοσοποιητικό και αναπαραγωγικό σύστημα των οργανισμών (Καρατζά, 2016).

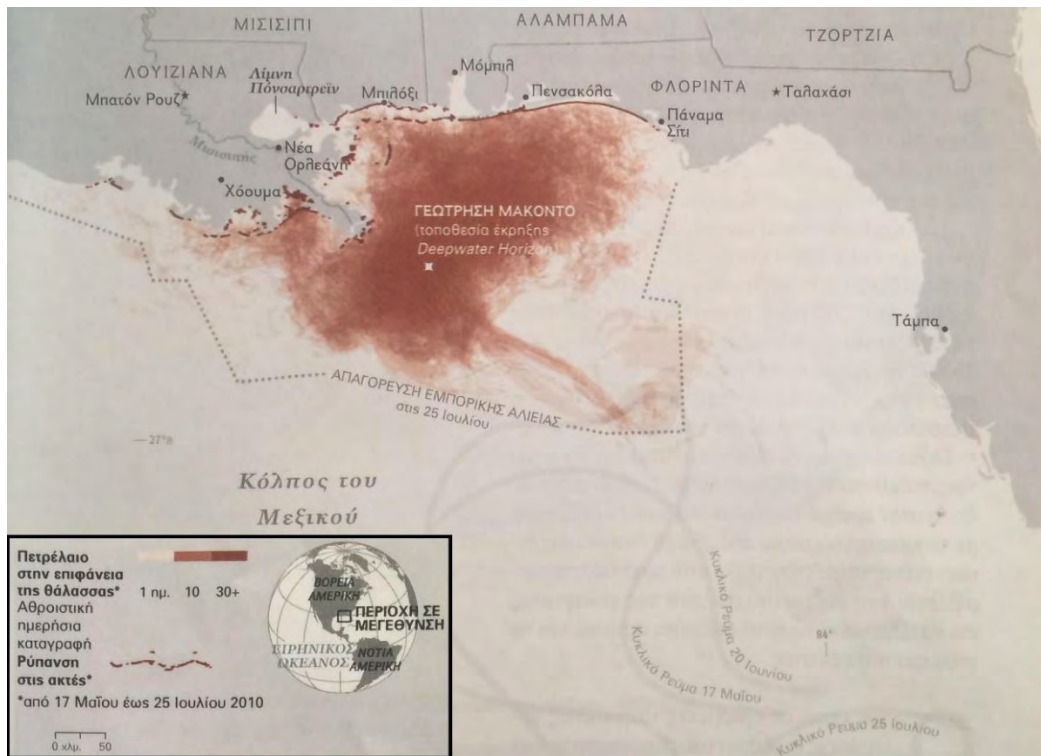
Εκτός των άλλων όμως, εξαιτίας της πετρελαϊκής ρύπανσης εμφανίζονται οικολογικές επιπτώσεις και στις ακτές, καθώς το πετρέλαιο δεν απορροφάται εύκολα από τις αμμώδεις ακτές (εικόνα 73). Ειδικότερα, σε υγρή μορφή το πετρέλαιο μπορεί να διεισδύσει σε μεγαλύτερο βάθος, όπου εξαιτίας χαμηλότερης διαθεσιμότητας οξυγόνου δυσχεραίνεται η αποδόμηση του με αποτέλεσμα την διατήρηση των τοξικών του ιδιοτήτων για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Μάλιστα, αν επικρατούν αναερόβιες συνθήκες, τα τοξικά συστατικά του πετρελαίου είναι δυνατό να παραμείνουν στα ιζήματα για εξαιρετικά μεγάλα χρονικά διαστήματα. Εντούτοις, εξίσου σοβαρές είναι οι επιπτώσεις της πετρελαϊκής ρύπανσης και σε περίπτωση βραχωδών ακτών. Επιπρόσθετα, η πετρελαϊκή ρύπανση επηρεάζει αρνητικά την

παράκτια βλάστηση, καθώς το πετρέλαιο προσκολλάται στα παράκτια φυτά και δεν απομακρύνεται εύκολα με την παλίρροια. Χαρακτηριστικά, όταν η ρύπανση είναι μικρής έκτασης, τα φυτά μπορούν αν επανακάμψουν πλήρως, αλλά σε περιπτώσεις σοβαρής ρύπανσης νεκρώνονται και μπορεί να χρειασθούν 2 ή ακόμα και 3 περίοδοι βλάστησης για να επιτευχθεί μερική επανάκαμψή τους. Τέλος, το πετρέλαιο επηρεάζει το ριζικό σύστημα των φυτών, τους μικροβιακούς πληθυσμούς και τη διαθεσιμότητα του οξυγόνου στο έδαφος (Γρηγορίου, 2012).



**Εικόνα 73:** Η παραλία Όραντζ της Αλαμπάμα τις επόμενες ημέρες του ατυχήματος στην εξέδρα Deerwater Horizon, στον Κόλπο του Μεξικού.  
(Πηγή: Bourne, 2010 φωτογραφία: Tyrone Turner)

Οι άνεμοι και τα ρεύματα είναι δυνατό να μεταφέρουν το πετρέλαιο που βρίσκεται στην επιφάνεια της θάλασσας σε ακτές που απέχουν ακόμα και χιλιάδες χιλιόμετρα. Στην περίπτωση του ατυχήματος Deerwater Horizon τα ρεύματα του Κόλπου του Μεξικού μετέφεραν το πετρέλαιο στις ακτές της Louisiana, Mississippi, Alabama και Florida, ρυπαίνοντας πάνω από 1.000 km ακτογραμμής (εικόνα 74).



**Εικόνα 74:** Οι παράκτιες περιοχές που επηρεάστηκαν από το ατύχημα στην εξέδρα Deerwater Horizon, στον Κόλπο του Μεξικού.  
(Πηγή: Bourne, 2010)

Χαρακτηριστικό του μεγέθους της ρύπανσης των ακτών είναι το γεγονός ότι ποσότητες πετρελαίου εντοπίζονταν μήνες μετά το συμβάν κάτω από την επιφάνεια του εδάφους των νησιών της Louisiana και των λευκών παραλιών της Florida. Ειδικότερα, ερευνητές εντόπισαν πετρέλαιο σε βάθος μέχρι και σχεδόν 1 m στην παραλία Pensacola της Florida (εικόνα 75). Το πετρέλαιο παγιδεύεται κάτω από το έδαφος των ακτών όταν μικροσκοπικά σταγονίδια πετρελαίου εισχωρήσουν διαμέσου των πόρων της άμμου ή όταν τα κύματα μεταφέρουν στις ακτές πίσσα την οποία στη συνέχεια καλύπτουν με άμμο. Μάλιστα αν δεν αφαιρεθούν τα ανώτερα στρώματα της άμμου (π.χ. εξαιτίας ενός τυφώνα) το πετρέλαιο μπορεί να παραμείνει θαμμένο εκεί σε συνθήκες έλλειψης οξυγόνου για αρκετά χρόνια (Dell' Amore, 2010).



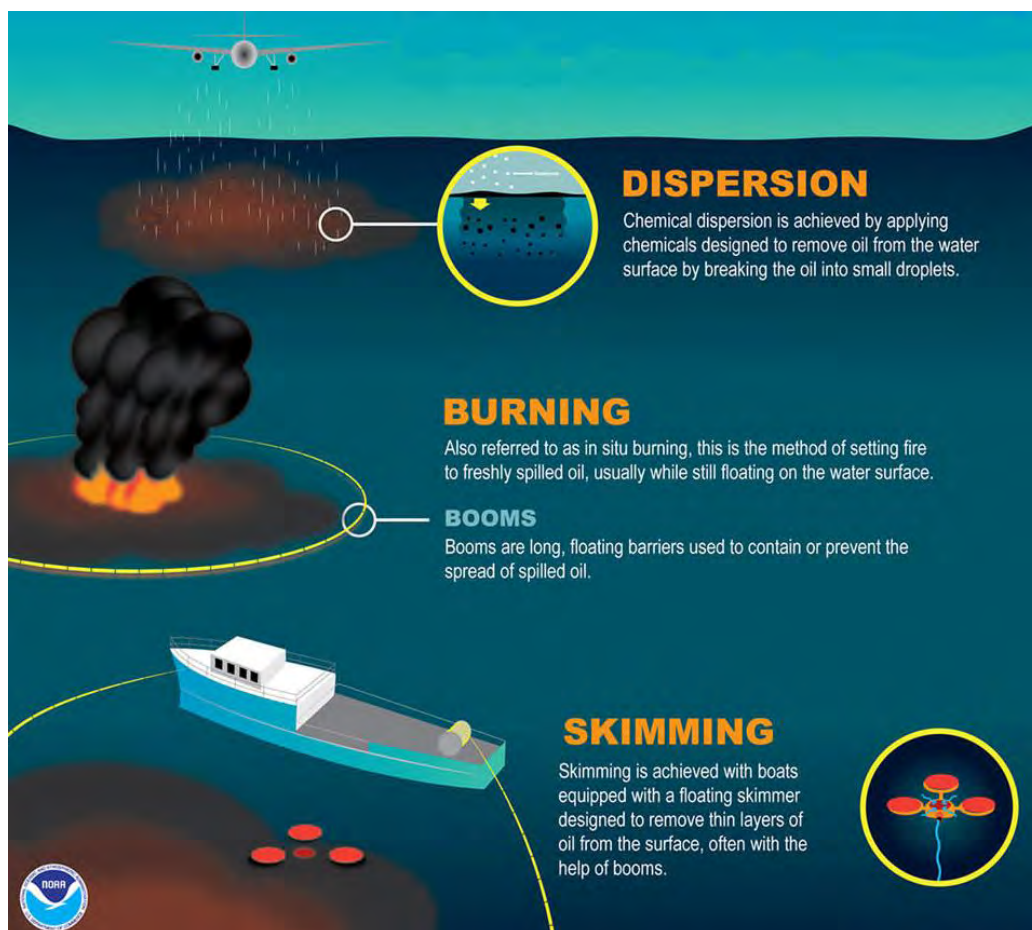
**Εικόνα 75:** Στρώμα πετρελαίου (αριστερά) και δείγμα άμμου (δεξιά) από την παραλία Pensacola της Florida.  
(Πηγή: Zuijdgeest and Huettel, 2012)

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που είναι δυνατό να προκαλέσει μια πετρελαιοκηλίδα, που σχηματίστηκε εξαιτίας μιας διαρροής πετρελαίου, εξαρτώνται από το είδος του πετρελαίου που διέρρευσε, τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν και την ευαισθησία του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Τα οικοσυστήματα επανέρχονται με φυσικούς ρυθμούς, οι οποίοι είναι ανάλογοι με το μέγεθος της διαρροής και την τοξικότητα του πετρελαίου (Τσακίρογλου, 2014).

### 3.4 Μέτρα αποκατάστασης περιβάλλοντος

Σε περίπτωση ατυχήματος σε μια θαλάσσια εξέδρα εξόρυξης υδρογονανθράκων τα μέτρα αντιμετώπισης της πετρελαιοκηλίδας στη θάλασσα (εικόνα 76) και στην στεριά (εικόνα 77) διαφέρουν και είναι ανάλογα με το μέγεθος της διαρροής και τον τύπο του οικοσυστήματος. Για παράδειγμα ο καθαρισμός βραχωδών ακτών ή παραλιών με βότσαλο είναι δυσκολότερος συγκριτικά με τον καθαρισμό αμμωδών ακτών, καθώς το πετρέλαιο διεισδύει στο εσωτερικό του εδάφους μέσω των μεγάλων κενών ανάμεσα στα βότσαλα<sup>23</sup> (Τσακίρογλου, 2014).

<sup>23</sup> Το πορώδες της άμμου είναι μικρότερο από αυτό των κροκάλων (βότσαλων).



**Εικόνα 76:** Μέτρα αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδας στη θάλασσα.

Dispersion = Διασπορά χημικών.

Ρίψη χημικών σχεδιασμένων ώστε να απομακρύνουν το πετρέλαιο από την επιφάνεια της θάλασσας, μετατρέποντάς την πετρελαιοκηλίδα σε μικροσκοπικά σταγονίδια πετρελαίου.

Burning = Καύση.

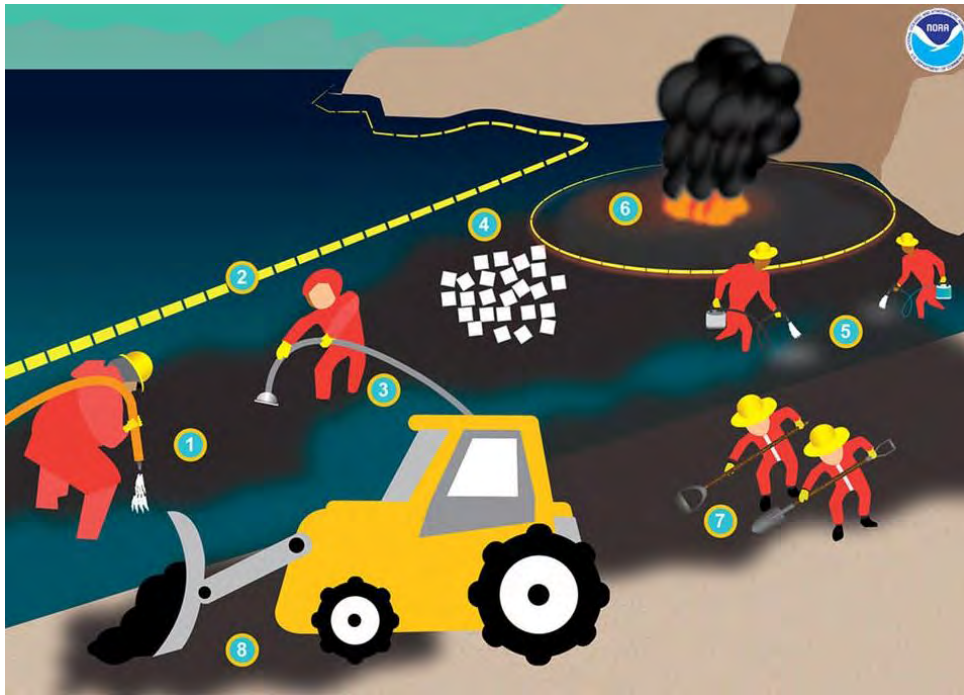
Επιτόπου καύση τις πρώτες ώρες του σχηματισμού της πετρελαιοκηλίδας, όσο επιπλέει ακόμα στην επιφάνεια της θάλασσας,

booms = Υδατοφράγματα, είναι μεγάλου μήκους φράγματα που επιπλέουν και τοποθετούνται ώστε να περιοριστεί η έκταση της πετρελαιοκηλίδας.

Skimming = Επιφανειακή συλλογή.

Η επιφανειακή συλλογή πραγματοποιείται μέσω πλοίων εξοπλισμένων με μια συσκευή που επιπλέει στο νερό και ονομάζεται skimmer. Η συσκευή αυτή είναι σχεδιασμένη ώστε να αφαιρεί λεπτές στρώσεις πετρελαίου από την επιφάνεια της θάλασσας με τη βοήθεια συνήθως των υδατοφραγμάτων.

(Πηγή: National Oceanic and Atmospheric Administration, 2019)



**Εικόνα 77:** Μέτρα αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδας στη στεριά.

1. Έκπλυση ακτογραμμής (Shoreline flushing/ washing) με μάνικες νερού με σκοπό την διοχέτευση του πετρελαίου από την ακτή στη θάλασσα, όπου η συλλογή του είναι πιο εύκολη.
2. Υδατοφράγματα (booms), είναι μεγάλου μήκους φράγματα που επιπλέουν και τοποθετούνται ώστε να περιοριστεί η έκταση της πετρελαιοκηλίδας.
3. Μεγάλες αντλίες (vacuums) που αναρροφούν πετρέλαιο από την ακτογραμμή ή από την επιφάνεια του νερού.
4. Ειδικά απορροφητικά υλικά (sorbents) που δρουν σαν σφουγγάρια και δεσμεύουν πετρέλαιο και όχι νερό.
5. Χημικοί καθαριστές (shoreline cleaners), που δρουν σαν σαπούνια και χρησιμοποιούνται ώστε να αφαιρέσουν το πετρέλαιο, αλλά απαιτούν ειδική άδεια. Στους χημικούς καθαριστές μπορούν να προστεθούν ορισμένες θρεπτικές ουσίες για να βοηθήσουν τα μικρόβια να εξαλείψουν το πετρέλαιο ως μέσα βιοαποικοδόμησης (Biodegradation agents).
6. Επιτόπου καύση (burning) τις πρώτες ώρες του σχηματισμού της πετρελαιοκηλίδας, όσο επιπλέει ακόμα στην επιφάνεια της θάλασσας.
7. Συνεργεία καθαρισμού με χρήση φτυαριών απομακρύνουν το πετρέλαιο από την ακτογραμμή. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ειδικά όταν η ρυπασμένη από πετρέλαιο ακτή είναι αδύνατο να προσεγγιστεί από βαριά μηχανήματα.
8. Βαριά μηχανήματα, όπως εκσκαφείς και φορτωτές, χρησιμοποιούνται όταν είναι δυνατή η πρόσβαση στην ακτή.

(Πηγή: National Oceanic and Atmospheric Administration, 2019)



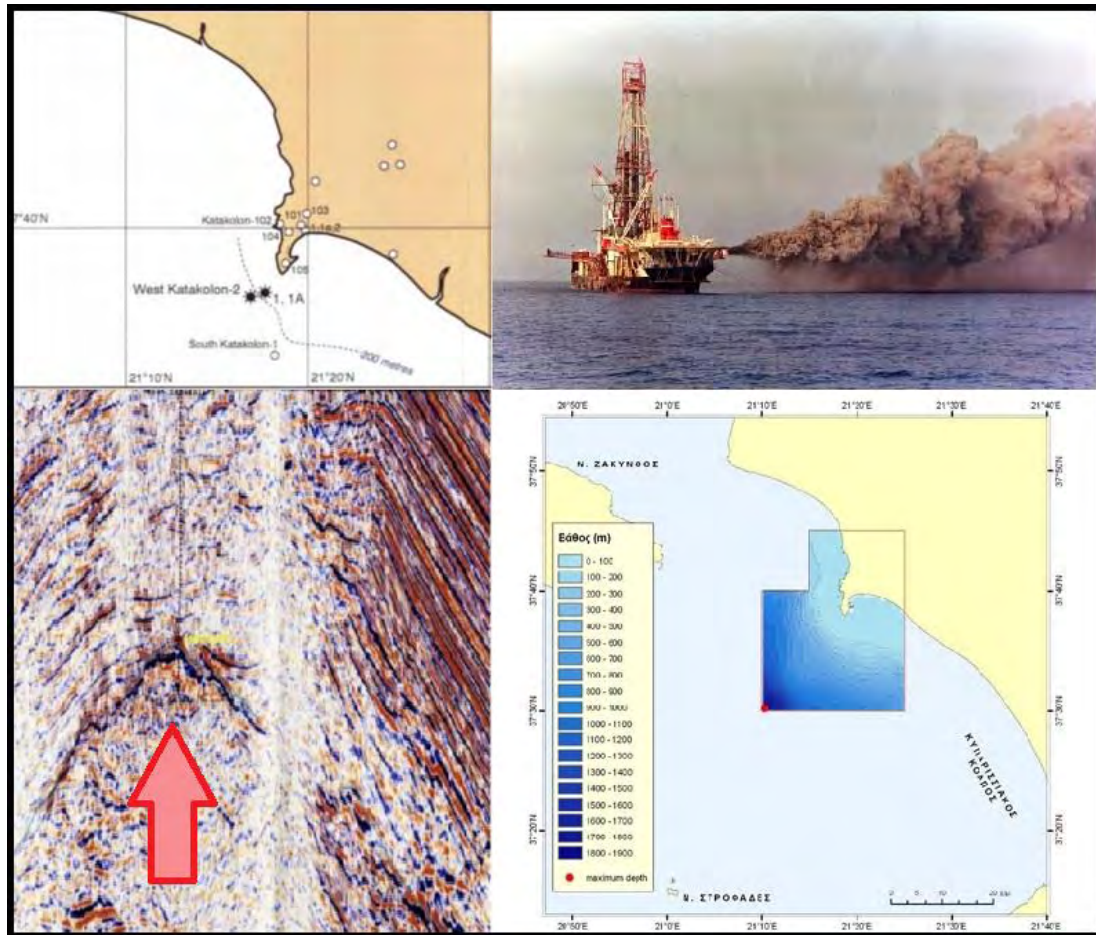
### 3.5 Κοινωνική αποδοχή εξόρυξης υποθαλάσσιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων στην Ελλάδα

Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το θέμα της κοινωνικής αποδοχής της εξόρυξης υποθαλάσσιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων, στην Ανατολική Μεσόγειο και ειδικότερα στα Ελληνικά χωρικά ύδατα, καθώς η εκδήλωση αντιδράσεων από τις τοπικές κοινωνίες κοντά στις περιοχές των εν λόγω κοιτασμάτων είναι αναμενόμενη.

Για αυτόν τον λόγο κρίνεται σκόπιμη η περιγραφή της περίπτωσης του κοιτάσματος του Κατάκολου, του μοναδικού μέχρι αυτή τη στιγμή μη εξορυγμένου επιβεβαιωμένου πετρελαϊκού κοιτάσματος της Ελλάδας (εικόνα 78). Το κοιτάσμα βρίσκεται 3,5 km νοτιοδυτικά του ακρωτηρίου του Κατάκολου, σε βάθος θάλασσας περίπου 250 m, εντός της Ιόνιας Ζώνης. Το πέτρωμα του ταμιευτήρα αποτελούν Κρητιδικοί – Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι σε αντικλινική δομή, οι οποίοι καλύπτονται ασύμφωνα από κλαστικά Νεογενή ιζήματα. Εντοπίστηκε το 1982 από την κρατική ΔΕΠ (Δημόσια Επιχείρηση Πετρελαίου) σε βάθος περίπου 2.500 m κάτω από τον θαλάσσιο πυθμένα και η ανακάλυψη και η επιβεβαίωσή του έγινε με τρεις θαλάσσιες γεωτρήσεις. Οι δοκιμές παραγωγής έδειξαν ημερήσια δυναμικότητα παραγωγής ίση με 1.500 βαρέλια. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αρχική εκτίμηση του ΥΠΕΚΑ (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας) για αποθέματα ύψους 3 εκ. βαρελιών πετρελαίου θεωρείται εξαιρετικά συντηρητική<sup>24</sup>. Την εποχή της ανακάλυψής του θεωρήθηκε οικονομικά οριακό λόγω του μεγάλου βάθους θάλασσας, των τότε τιμών του πετρελαίου, αλλά και της παρουσίας H<sub>2</sub>S και CO<sub>2</sub>. Την τελευταία δεκαετία μέχρι και το 2014 η σταθερά υψηλή τιμή του αργού πετρελαίου (πλην της περιόδου ύφεσης της αμερικάνικης οικονομίας το 2008) καθιστούσε το κοιτάσμα όχι απλά οικονομικά εκμεταλλεύσιμο αλλά και ιδιαίτερα κερδοφόρο (Βεργούλης, 2013).

---

<sup>24</sup> Οι νέες εκτιμήσεις της Energean Oil & Gas αναφέρονται σε ποσότητες πετρελαίου δεκαπλάσιες της αρχικής συντηρητικής αρχικής εκτίμησης του ΥΠΕΚΑ.



**Εικόνα 78:** Το κοιτάσμα του Κατάκολου (Ίδια επεξεργασία).

Πάνω αριστερά: Ο χάρτης του κοιτάσματος (Πηγή: Νικολάου, 2012),

Πάνω δεξιά: Δοκιμές καύσης του κοιτάσματος το 1982 (Πηγή: Vergoulis and Damigos, 2013),

Κάτω αριστερά: Η σεισμική γραμμή του κοιτάσματος, που προέκυψε από εφαρμογή θαλάσσιας σεισμικής μεθόδου γεωφυσικής διασκόπησης με χρήση airguns ως σεισμική πηγή (Πηγή: Νικολάου, 2012),

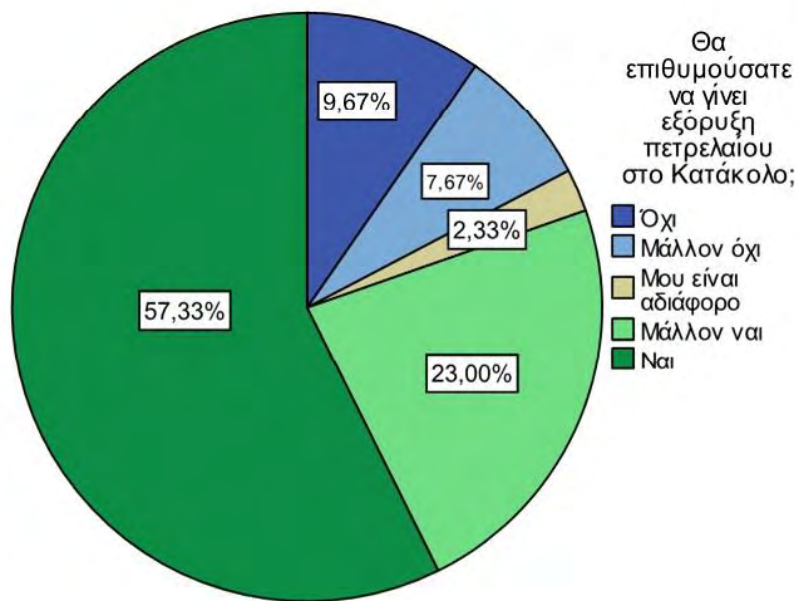
Κάτω δεξιά: Βαθυμετρία του πυθμένα της περιοχής του Κυπαρισσιακού κόλπου- μέγιστο βάθος τα 1.909 m, με κόκκινο κύκλο στον χάρτη (Πηγή: ΥΠΕΚΑ., 2012α).

Σήμερα, οι σχετικά χαμηλές τιμές του αργού πετρελαίου, εξαιτίας της παγκόσμιας ύφεσης σε συνδυασμό με την κατακόρυφη αύξηση των παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου (λόγω της εύρεσης τρόπου εκμετάλλευσης των σχιστολιθικών πετρελαϊκών κοιτασμάτων που μέχρι πρότινος δεν ήταν τεχνολογικά εφικτή), συντελούν σε ένα δύσκολο οικονομικό περιβάλλον για την εκμετάλλευση του κοιτάσματος στο Κατάκολο. Εντούτοις, η τεχνολογία επιτρέπει πλέον την εκμετάλλευσή του κοιτάσματος από την ξηρά με κεκλιμένη γεώτρηση από την περιοχή στην οποία βρίσκεται σήμερα ο βιολογικός καθαρισμός του Κατάκολου.

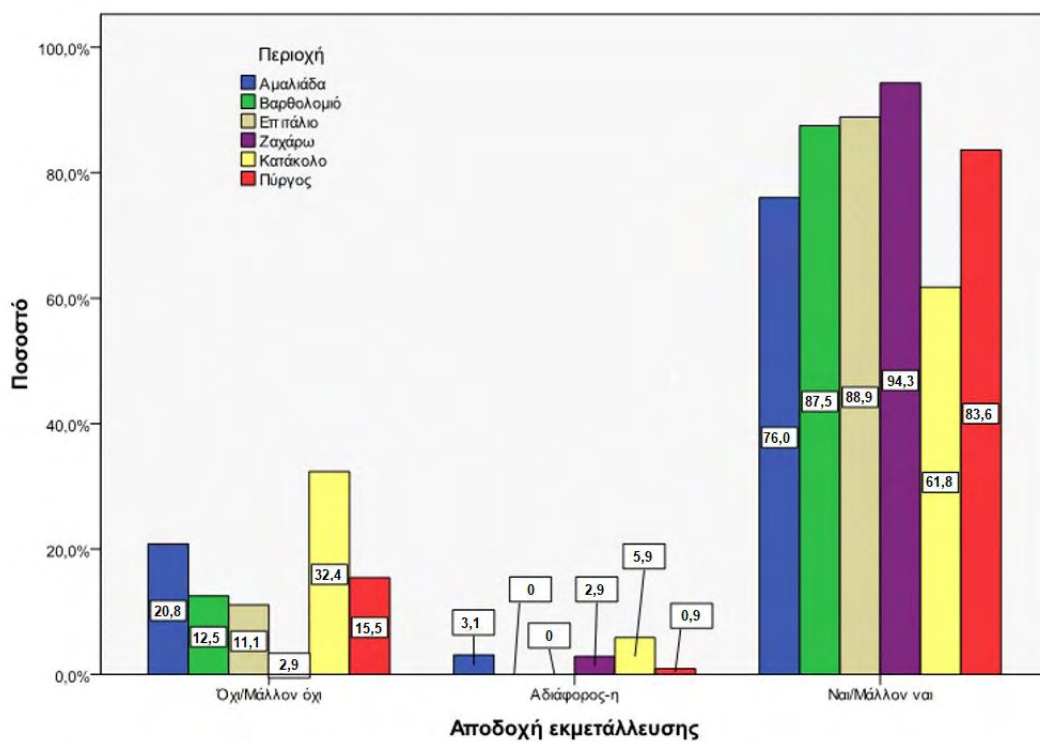
Το 2012 για πρώτη φορά στην Ελλάδα έγινε **διερεύνηση των απόψεων της τοπικής κοινωνίας** αναφορικά με την εξόρυξη υδρογονανθράκων στη χώρα μας. Η έρευνα διεξήχθη σε δείγμα τριακοσίων νοικοκυριών της ευρύτερης περιοχής του Κατάκολου μέσω τηλεφωνικών συνεντεύξεων την περίοδο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου του 2012 (εικόνες 79, 80). Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν νοικοκυριά από τις έξι μεγαλύτερες σε πληθυσμό πόλεις της περιοχής, δηλαδή από το Κατάκολο, τον Πύργο, την Αμαλιάδα, το Επιτάλιο, το Βαρθολομιό και τη Ζαχάρω. Τέλος, έγινε μια στρωμάτωση του δείγματος ανάλογα με τον πληθυσμό της κάθε περιοχής και ενίσχυση του δείγματος από το Κατάκολο λόγω της εγγύτητας του πληθυσμού του προς το κοίτασμα.

Σύμφωνα με την έρευνα η συντριπτική πλειοψηφία γνωρίζει το κοίτασμα πετρελαίου στο Κατάκολο, αλλά οι μισοί από αυτούς ξέρουν απλά ότι υπάρχει και τίποτα περισσότερο. Οι περισσότεροι πιστεύουν ότι λόγω της εξόρυξης θα προκύψουν περιβαλλοντικά προβλήματα, αλλά υπάρχει και ένα σχετικά υψηλό ποσοστό (20%), περίπου 1 στους 5, που θεωρεί ότι δεν θα υπάρξει κανένα πρόβλημα.

Επίσης ένα 42% θεωρεί ως σημαντικότερο όφελος του έργου την μείωση της ανεργίας και ακολουθούν η ανάπτυξη της περιοχής και η συμβολή του έργου στην έξοδο της χώρας από την οικονομική κρίση. Συνολικά, το 80% και πλέον των ερωτώμενων θεωρεί ότι οι επιπτώσεις του έργου για την περιοχή θα είναι θετικές. Δεν είναι λοιπόν παράξενο που ένα αντίστοιχο ποσοστό επιθυμεί την εξόρυξη του πετρελαίου. Η επιθυμία να γίνει το έργο εκφράζεται σε όλες τις περιοχές, ωστόσο στην περιοχή του Κατάκολου εμφανίζεται το υψηλότερο ποσοστό αρνητικών απαντήσεων, περίπου 1 στους 3. Τέλος, το 80% εμφανίζεται θετικό προς την εκμετάλλευση του κοιτάσματος. Ωστόσο, η αποδοχή αυτή φαίνεται να σχετίζεται με την οικονομική κατάσταση της χώρας, καθώς το 77,6% των ερωτώμενων που επιθυμούν την πραγματοποίηση του έργου θεωρούν ως σημαντικότερα προβλήματα της περιοχής την ανεργία και τη φτώχεια, απόρροια της οικονομικής κρίσης (Βεργούλης, 2013).



**Εικόνα 79:** Αποδοχή εκμετάλλευσης του κοιτάσματος συνολικά.  
(Πηγή: Vergoulis and Damigos, 2013)



**Εικόνα 80:** Αποδοχή εκμετάλλευσης του κοιτάσματος ανά κάτοικο περιοχής.  
(Πηγή: Vergoulis and Damigos, 2013)

Σήμερα, παρατηρείται εντατικοποίηση εκδηλώσεων διαμαρτυρίας και οργανωμένων κινημάτων κατά των επικείμενων εξορύξεων υδρογονανθράκων στο Ιόνιο και την Ήπειρο (εικόνα 81).



**Εικόνα 81:** Διαμαρτυρία κατά των εξορύξεων υδρογονανθράκων στην Ελλάδα (Πηγή: Greenpeace, 2019) Ίδια επεξεργασία.

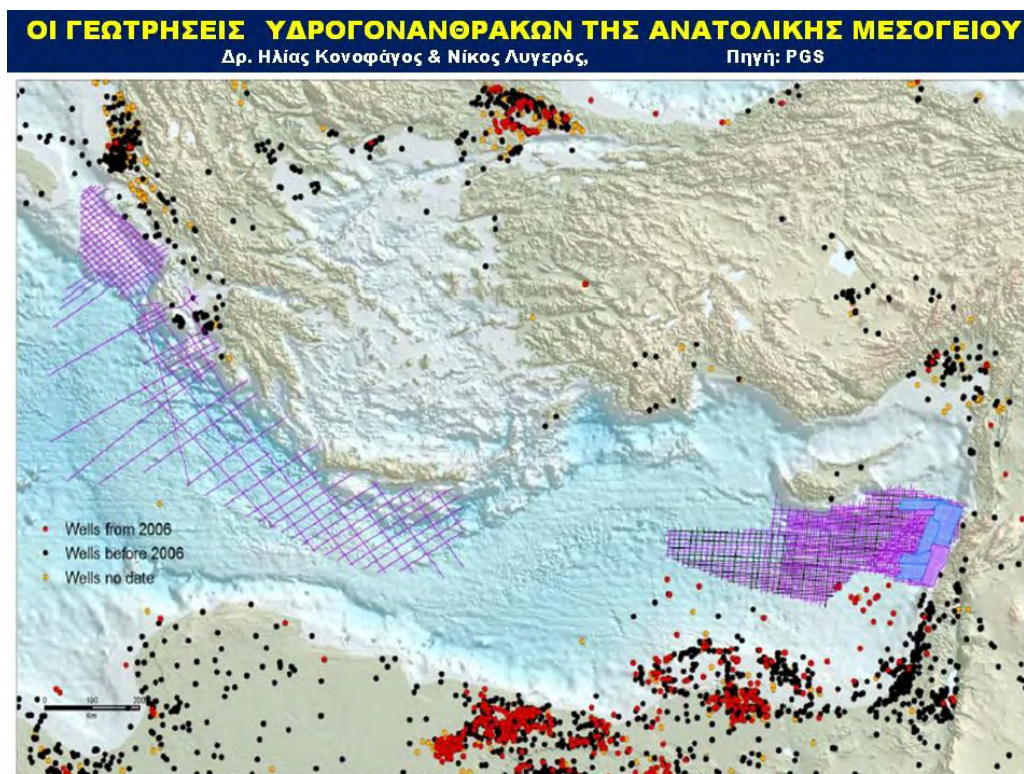
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΡΕΥΝΑ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΚΙΝΔΥΝΟΙ ΣΤΗΝ ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ

«ή ἐντὸς καὶ καθ' ἡμᾶς λεγομένη θάλαττα», Στράβων, Γεωγραφικά Β', 5.18, 2<sup>ος</sup> αιώνας μ.Χ.

Ο χαρακτηρισμός του Στράβωνα για την Μεσόγειο Θάλασσα.

## 4.1 Ιστορική αναδρομή έρευνας υδρογονανθράκων και κοιτάσματα στη νοτιοανατολική μεσόγειο

Η νοτιοανατολική μεσόγειος τα τελευταία χρόνια αποτελεί μήλον της Έριδος των μεγαλύτερων πετρελαϊκών κολοσσών, καθώς οι ενδείξεις που έρχονται σταδιακά στο φως δείχνουν την ύπαρξη δεκάδων νέων πιθανών υποθαλάσσιων κοιτασμάτων πολύ μεγάλου μεγέθους.



Εικόνα 82: Οι γεωτρήσεις υδρογονανθράκων και οι σεισμικές έρευνες της Ανατ. Μεσογείου (Πηγή: Κονοφάγος και Λυγερός, 2015).

Οι χώρες στις οποίες ανήκουν οι σημαντικότεροι πετρελαιοπιθανοί στόχοι της νοτιοανατολικής μεσογείου είναι η Ελλάδα, η Κύπρος, το Ισραήλ και η Αίγυπτος. Κρίνεται σκόπιμο κατά συνέπεια να γίνει μια ιστορική αναδρομή των σεισμικών ερευνών και των ερευνητικών γεωτρήσεων που έλαβαν χώρα στα θαλάσσια ύδατα αυτών των χωρών (εικόνα 82).

#### **4.1.1 Έρευνα υδρογονανθράκων και κοιτάσματα στην Ελλάδα**

- **1903-2010:**

Στην Ελλάδα οι πρώτες ερευνητικές δραστηριότητες υδρογονανθράκων πραγματοποιήθηκαν την αρχή του 20<sup>ου</sup> αιώνα, και ειδικότερα το 1903 (Σταματάκη, 2004), εντούτοις υπάρχουν στη χώρα πολλοί γεωλογικοί πετρελαιοπιθανοί στόχοι που παραμένουν ακόμα και σήμερα ανεξερεύνητοι (Γρηγορίου, 2012), εξαιτίας της αποσπασματικότητας των ερευνών και των μεγάλων διαστημάτων αδράνειας (Νικολάου, 2013α). Παρόλο που γειτονικές χώρες, με ανάλογα γεωλογικά χαρακτηριστικά με περιοχές του Ελλαδικού χώρου, όπως η Αλβανία και η Ιταλία, είναι πετρελαιοπαραγωγές χώρες (Σταματάκη, 2004), η Ελλάδα δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια ερευνημένη περιοχή και έτσι σύμφωνα με τη διεθνή ορολογία κατατάσσεται σε frontier area, δηλαδή ανεξερεύνητη περιοχή (ΥΠΕΚΑ, 2012β).

Από τις αρχές του 20ου αιώνα μέχρι και το 2010 πραγματοποιήθηκαν περίπου 75.000 km σεισμικών ερευνών και 175 ερευνητικές γεωτρήσεις (Νικολάου, 2013α), που κατέληξαν στο συμπέρασμα πως υπάρχει εν δυνάμει δυναμικό, με κατά περιοχές επιβεβαιωμένα ενεργά (ή σε άλλες περιπτώσεις πολύ πιθανά) πετρελαϊκά συστήματα (Βεργούλης, 2016). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως η συντριπτική πλειοψηφία των ερευνητικών γεωτρήσεων (σε ποσοστό μεγαλύτερο από 80%) που έλαβαν χώρα στην Ελλάδα, είτε είχαν τοποθετηθεί εκτός στόχων, είτε ήταν υπερβολικά ρηχές, είτε τεχνικά άστοχες. Αυτός είναι άλλωστε και ο λόγος (δηλαδή οι ελάχιστες σωστά στοχευμένες γεωτρήσεις) για τον οποίο η χώρα παραμένει πρακτικά ανεξερεύνητη, κυρίως στα βαθιά νερά και τους βαθείς στόχους, αλλά και σε αρκετούς πολλά υποσχόμενους, για βιοαέριο, ρηχούς (αβαθείς) στόχους (Νικολάου, 2013α).

Τα πρώτα βήματα στην έρευνα υδρογονανθράκων, από το 1903 μέχρι και το 1960, στόχευαν κυρίως χερσαίες περιοχές στις οποίες υπήρχαν επιφανειακές

εμφανίσεις υδρογονανθράκων (Κερί Ζακύνθου, Κατάκολο, Λουτρά Κυλλήνης, Ήπειρος), (εικόνα 83). Μάλιστα οι περισσότερες ερευνητικές γεωτρήσεις ήταν ρηχές με ενδείξεις πετρελαίου και αερίων υδρογονανθράκων, χωρίς κανένα εμπορικό ενδιαφέρον (Νικολάου, 2013α).



**Εικόνα 83:** Οι πρώτοι στόχοι των ερευνών ήταν περιοχές με επιφανειακές εμφανίσεις υδρογονανθράκων (Πηγή: Νικολάου, 2018).

Στη δεύτερη φάση των ερευνών, από το 1960 μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του εβδομήντα (1975), διεξήχθησαν αρκετές παραχωρήσεις Ελληνικών περιοχών προς έρευνα υδρογονανθράκων σε διάφορες πετρελαϊκές εταιρίες (όπως η Esso, η Texaco, η BP και η Oceanic), (εικόνα 84). Οι εταιρείες αυτές πραγματοποίησαν 12.200 km σεισμικών ερευνών και 68 γεωτρήσεις βάθους από λίγες δεκάδες μέτρα έως και 4.573 m (Ζαφειρόπουλος, 2012). Οι έρευνες για πρώτη φορά, εκτός της Δυτικής Ελλάδας, συμπεριέλαβαν και εκτεταμένες περιοχές ολόκληρου του Αιγαίου Πελάγους. Το σημαντικότερο αποτέλεσμα των ερευνών ήταν η ανακάλυψη των κοιτασμάτων πετρελαίου του Πρίνου (1974) και αερίου της Νότιας Καβάλας (1972), στο Θρακικό πέλαγος από την εταιρεία Oceanic (Νικολάου, 2013α). Ωστόσο εκτός των άλλων, παρουσιάστηκαν και ενδείξεις υδρογονανθράκων σε αρκετές γεωτρήσεις σε μεγάλα επιφανειακά αντίκλινα (Αιτωλικό, Ζάκυνθος, Θερμαϊκός κ.τ.λ.). Μάλιστα οι βαθιές γεωτρήσεις συνέβαλαν σημαντικά στη βελτίωση της γεωλογικής, στρωματογραφικής και τεκτονικής γνώσης του Ελλαδικού χώρου (Ζαφειρόπουλος, 2012).





**Εικόνα 84:** Οι εταιρείες που ανέλαβαν τη 2<sup>η</sup> φάση των ερευνών στην Ελλάδα (1960- 75).  
(Πηγή: Νικολάου, 2018)

Στην περίοδο που ακολούθησε μέχρι και το 2000, πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη έρευνα στο σύνολο των λεκανών της χώρας από την κρατική Δημόσια Επιχείρηση Πετρελαίου (ΔΕΠ), δίνοντας κατά συνέπεια μια ολοκληρωμένη αποτίμηση του Πετρελαϊκού δυναμικού της Ελλάδας. Το έργο περιλάμβανε γεωλογικές χαρτογραφήσεις και μελέτες, γεωχημικές αναλύσεις, καθώς επίσης και 12.300 km χερσαίων και 41.600 km θαλάσσιων σεισμικών δεδομένων. Στο πλαίσιο της έρευνας, εκτελέστηκαν 62 χερσαίες και 13 θαλάσσιες γεωτρήσεις βάθους που κυμαινόταν από λίγα δεκάδες μέτρα έως και 5.494 m. Όπως ήταν φυσικό η συστηματική μελέτη απέδωσε καρπούς, ανακαλύπτοντας τέσσερα νέα κοιτάσματα, τα κοιτάσματα πετρελαίου «Δυτικό Κατάκολο» στο Κατάκολο (1981) και «Βόρειος Πρίνος» στην Καβάλα (1994), το κοιτάσμα φυσικού αερίου στην Επανομή (1988) στη Χαλκιδική (1989) και το κοιτάσμα ασφάλτου στη Ζάκυνθο. Επιπρόσθετα αξιολογήθηκαν για πρώτη φορά σε τέτοιο βαθμό οι χερσαίες καθώς και αρκετές θαλάσσιες λεκάνες (στις περισσότερες λεκάνες η έρευνα επικεντρώθηκε στα νεογενή

ιζήματα και στην οροφή της μεσοζωικής σειράς). Αξίζει να σημειωθεί πως στις θαλάσσιες περιοχές η έρευνα στόχευε κυρίως σε βάθη θάλασσας μικρότερα των 500 m, αλλά αραιότερα σεισμικά δεδομένα ελήφθησαν και από περιοχές με μεγαλύτερο βάθος θάλασσας. Όπως και στην προηγούμενη ερευνητική φάση εντοπίστηκαν ενδείξεις υδρογονανθράκων σε πολλές γεωτρήσεις (Ζαφειρόπουλος, 2012).

Το 1997 άρχισε ο πρώτος γύρος παραχωρήσεων, που ολοκληρώθηκε το 2002, χωρίς ιδιαίτερη επιτυχία. Στα Ιωάννινα πραγματοποιήθηκαν 450 km νέων σεισμικών από τις εταιρείες Enterprise, Ελληνικά Πετρέλαια (ΕΛΠΕ) και Magyar Oil (MOL). Ωστόσο, η γεώτρηση Δήμητρα-1 στο Καλάκι Ηπείρου, την οποία είχαν αναλάβει οι εταιρείες, εγκαταλείφτηκε στα 3.966 m, πριν φτάσει στον στόχο της, λόγω τεχνικών προβλημάτων (εξαιτίας υπερυψηλών πιέσεων). Στη Βορειοδυτική Πελοπόννησο οι ίδιες εταιρείες κατέληξαν σε αρνητικά αποτελέσματα ύστερα από 360 km σεισμικών ερευνών και δυο ερευνητικές γεωτρήσεις. Αρνητικά ήταν και τα αποτελέσματα από τα 220 km νέων σεισμικών ερευνών (καθώς και από τις βαρυτικές και μαγνητικές μετρήσεις) και τις δυο ρηχές γεωτρήσεις, που διεξήχθησαν στην Αιτωλοακαρνανία από την Triton και τα ΕΛΠΕ. Εντούτοις, στα δυτικά του Πατραϊκού οι ίδιες εταιρείες εντόπισαν ελπιδοφόρους στόχους για γεώτρηση ύστερα από 1.136 km νέων σεισμικών δεδομένων. Σημαντική είναι η ανακάλυψη του πετρελαϊκού κοιτάσματος «Έψιλον», το 2001, με ερευνητική γεώτρηση της Καβάλα Oil 4 km δυτικά του Πρίνου (Ζαφειρόπουλος, 2012).

Τα επόμενα 10 χρόνια οι έρευνες για εξεύρεση υδρογονανθράκων αδρανοποιήθηκαν. Ο κύριος λόγος της στασιμότητας αυτής της περιόδου ήταν η διάλυση της κρατικής εταιρείας ΔΕΠ. Μοναδική εξαίρεση στη στασιμότητα αποτέλεσαν οι ερευνητικές και παραγωγικές δραστηριότητες στην περιοχή του Πρίνου στο Θρακικό πέλαγος (Βεργούλης, 2016).

#### ▪ **2011-2019:**

Από το 2011 μέχρι και σήμερα στην Ελλάδα δεν έχει εκτελεστεί καμία ερευνητική γεώτρηση, ωστόσο διεξήχθησαν εκτεταμένες θαλάσσιες σεισμικές έρευνες με σκοπό τη μελέτη του υποθαλάσσιου εν δυνάμει πετρελαϊκού δυναμικού της χώρας. Έτσι, το 2011 προκηρύχθηκε από το Ελληνικό κράτος διαγωνισμός για νέες σεισμικές έρευνες, για τις θαλάσσιες περιοχές του Ιονίου πελάγους και νότια της

Κρήτης. Από τις 8 εταιρείες που εκδήλωσαν ενδιαφέρον, επιλέχθηκε ως ανάδοχος του έργου η Νορβηγική εταιρεία Petroleum Geo-Services (PGS). Το γεωφυσικό ερευνητικό σκάφος της PGS, Nordic Explorer, μετά από σχεδόν τέσσερις μήνες συνεχούς πλεύσης (ξεκίνησε τον Νοέμβριο του 2012) και 12.431 km νέων γεωφυσικών δεδομένων (εικόνα 85) ολοκλήρωσε τις έρευνές του και επέστρεψε στο λιμάνι της Πάτρας στα τέλη Φεβρουαρίου του 2013 (Βεργούλης, 2016).



**Εικόνα 85:** Το σύνολο της θαλάσσιας περιοχής εντός της οποίας διεξήγαγε σεισμικές έρευνες το ερευνητικό σκάφος της Petroleum Geo-Services (PGS).  
(Πηγή: Βεργούλης, 2016)

Τα στοιχεία των σύνθετων γεωφυσικών ερευνών που εκτελέστηκαν χαρακτηρίστηκαν ως πολύ καλά από τον εκτελεστικό αντιπρόεδρο της Petroleum Geo-Services (PGS), ενώ ο τότε υπουργός Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ), Γιάννης Μανιάτης, ανέφερε ότι «από την προκαταρκτική αξιολόγηση των δεδομένων προκύπτουν ενδιαφέρουσες γεωλογικές δομές που παρουσιάζουν σημαντικές ομοιότητες με ανάλογες δομές σε περιοχές που ήδη

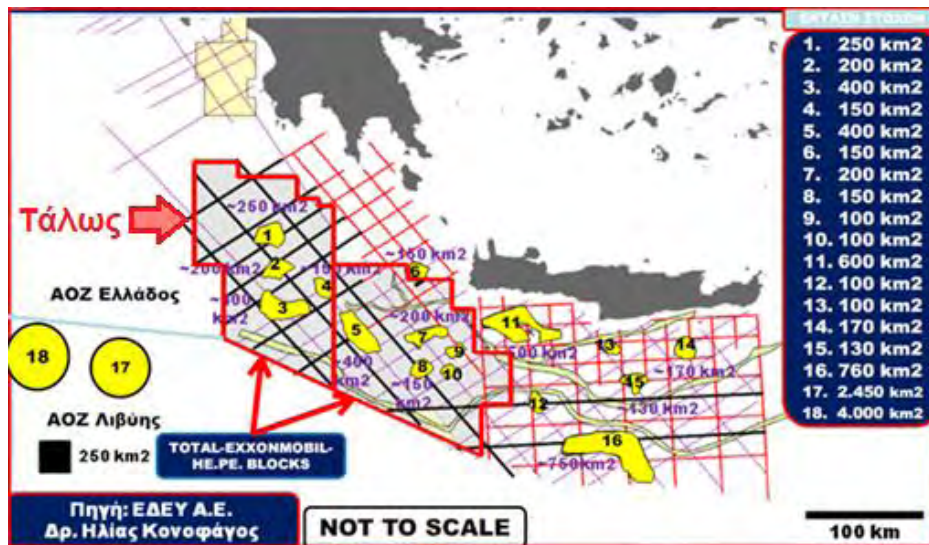
παράγουν υδρογονάνθρακες, σε γειτονικές χώρες<sup>25</sup>». Στα τέλη του 2014 προκηρύχθηκε μεγάλος διεθνής γύρος παραχωρήσεων έρευνας και εκμετάλλευσης οικοπέδων υδρογονανθράκων για τρεις χερσαίες περιοχές (Βορειοδυτική Πελοπόννησος, Αιτωλοακαρνανία και Άρτα- Πρέβεζα) καθώς και για τα 20 υπεράκτια οικόπεδα στο Ιόνιο Πέλαγος και νότια της Κρήτης, που μελετήθηκαν από την PGS (Βεργούλης, 2016). Ωστόσο, υπήρξε μικρό ενδιαφέρον από τις πετρελαϊκές εταιρείες, καθώς έγινε κατάθεση προσφορών μόνο για τρία από τα 20 θαλάσσια οικόπεδα του Ιονίου πελάγους και της περιοχής νότια της Κρήτης (δύο στο Βόρειο Ιόνιο στα θαλάσσια σύνορα με την Αλβανία και ένα στο κεντρικό Ιόνιο). Εντυπωσιακό μάλιστα είναι το γεγονός πως καμία πετρελαϊκή εταιρεία δεν ενδιαφέρθηκε για κάποιο από τα οικόπεδα νότια της Κρήτης συνυπολογίζοντας ίσως το υψηλό κόστος μιας τέτοιας επένδυσης σε μεγάλα βάθη θάλασσας, παρόλο που η περιοχή ήταν μια από τις πιο ελκυστικές σύμφωνα με τις έρευνες της PGS (Βεργούλης, 2016).

Η ερμηνεία των σεισμικών δεδομένων της PGS που ακολούθησε τα επόμενα χρόνια και συνεχίζεται μέχρι και σήμερα, ανέδειξε τις πλέον ελκυστικές περιοχές από άποψη πετρελαϊκού δυναμικού. Από την συνολική έκταση των 220.000 km<sup>2</sup> θαλάσσιων ερευνών, οι περιοχές που εμφάνισαν αρχικά το μεγαλύτερο ενδιαφέρον (πυκνό δίκτυο σεισμικών), με διαφορετικά ωστόσο γεωλογικά χαρακτηριστικά, εντοπίζονται στους Παξούς, βορειοδυτικά της Κέρκυρας (αλλά και στα θαλάσσια σύνορα της χώρας με την Αλβανία), δυτικά της Κεφαλονιάς, δυτικά του Κατάκολου και νότια της Κρήτης (Βεργούλης, 2016).

Μάλιστα η περιοχή νότια και νοτιοδυτικά της Κρήτης εμφανίζει μεγάλο ενδιαφέρον, καθώς δεν είχε μελετηθεί κατά το παρελθόν. Στα τέλη Οκτωβρίου του 2019 η ενδεδειγμένη μελέτη των σεισμικών ερευνών της PGS νότια και νοτιοδυτικά της Κρήτης, στα οικόπεδα της κοινοπραξίας των Total- ExxonMobil- ΕΛΠΕ, έδειξε γεωλογική δομή όμοια με εκείνη του Αιγυπτιακού κοιτάσματος Zor (βλέπε §4.2). Η δομή αυτή ονομάστηκε «Τάλως» (εικόνα 86) και η ανάλυση της οδηγεί τους ειδικούς σε αρχικές εκτιμήσεις πιθανών αποθεμάτων φυσικού αερίου της τάξης των 300 δις m<sup>3</sup>, ποσότητα ανάλογη του Ισραηλινού κοιτάσματος Ταμάρ (Φιλίππου, 2019).

---

<sup>25</sup> Ιταλία και Αλβανία.



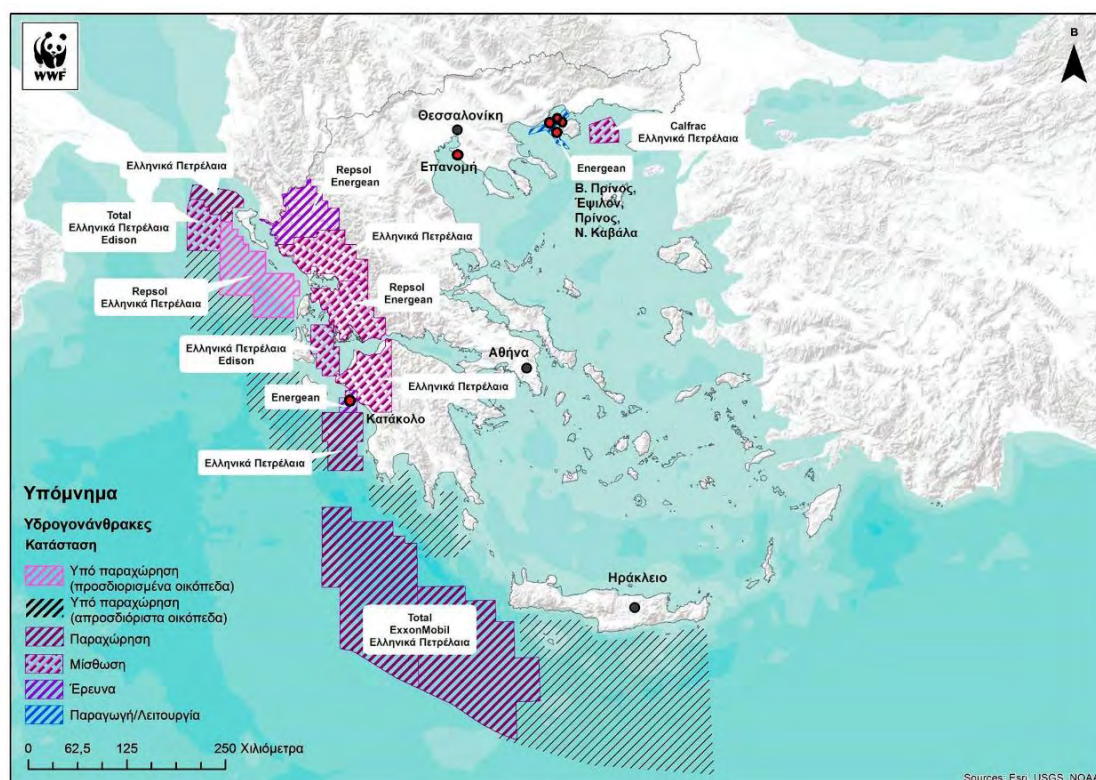
**Εικόνα 86:** Πιθανά κοιτάσματα νότια και νοτιοδυτικά της Κρήτης και η δομή Τάλως στα οικόπεδα της κοινοπραξίας Total- ExxonMobil- ΕΛ.ΠΕ. (Πηγή: Κονοφάγος, 2019).

Ωστόσο, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η πλήρως ανεξερεύνητη, εξαιτίας απουσίας Ελληνικής Αποκλειστικής Οικονομικής Ζώνης στο Αιγαίο πέλαγος, λεκάνη του Ηροδότου, νοτιοανατολικά της Κρήτης στα θαλάσσια σύνορα με την Αίγυπτο. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από πολύ βαθιά νερά (σε ορισμένα σημεία βάθος μεγαλύτερο και από 2.500 m) και πολλά υποσχόμενους πετρελαιοφόρους γεωλογικούς σχηματισμούς σύμφωνα με έρευνες της Αιγύπτου στο Αιγυπτιακό τμήμα της λεκάνης. Εκτιμήσεις που έρχονται στο φως της δημοσιότητας για τα πιθανά κοιτάσματα της περιοχής είναι παρακινδυνευμένες καθώς τα μέχρι σήμερα ερευνητικά δεδομένα είναι ανεπαρκή (Βεργούλης, 2016).

Παράλληλα με τις θαλάσσιες έρευνες της PGS, η Ελλάδα, το 2012 διεξήγαγε διεθνή διαγωνισμό «ανοικτής πόρτας» με σκοπό την παραχώρηση των δικαιωμάτων έρευνας και εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων σε άλλα τρία οικόπεδα της χώρας (Ιωάννινα, Πατραϊκός Κόλπος και Κατάκολο). Τον Μάιο του 2014, ολοκληρώθηκε ο διαγωνισμός και η κοινοπραξία της Energean Oil and Gas με την Petra Petroleum ανέλαβε τη χερσαία περιοχή των Ιωαννίνων (εκτιμώμενα πιθανά απολήψιμα αποθέματα 50- 100 εκ. βαρέλια). Τα Ελληνικά Πετρέλαια και η Edison ανέλαβαν τη θαλάσσια περιοχή του Πατραϊκού (εκτιμώμενα πιθανά απολήψιμα αποθέματα 200 εκ. βαρέλια), ενώ το βεβαιωμένο κοίτασμα του Κατάκολου παραχωρήθηκε στην Energean Oil and Gas (10,7 εκ. βαρέλια). Παρόλη τη διεθνώς αρνητική συγκυρία των χαμηλών τιμών πετρελαίου, σήμερα έχουν οριστικοποιηθεί οι παραχωρήσεις και οι

εταιρείες διανύουν ήδη τον πέμπτο χρόνο των ερευνών τους, υπό την εποπτεία των αρμόδιων κρατικών επιτροπών (Βεργούλης, 2016).

Όσο αφορά το Αιγαίο πέλαγος, σήμερα ισχύει η παραχώρηση του συνόλου της περιοχής του Πρίνου και της Νότιας Καβάλας στην Energean Oil & Gas S.A., καθώς επίσης η παραχώρηση του Θρακικού Πελάγους στην Calfrac και τα ΕΛΠΕ (Ζαφειρόπουλος, 2012). Συνοψίζοντας, στην εικόνα 87 παρουσιάζεται το σύνολο των οικοπέδων που έχουν παραχωρηθεί σε εταιρείες προς έρευνα και εκμετάλλευση υδρογονανθράκων.



**Εικόνα 87:** Χάρτης παραχωρήσεων οικοπέδων υδρογονανθράκων σε εταιρείες και βεβαιωμένα κοιτάσματα Ελλάδας (κόκκινες κουκίδες) (Πηγή: WWF, 2018)- Ίδια επεξεργασία.

Αξίζει να αναφερθεί πως μόνον οι γεωτρήσεις μπορούν να πιστοποιήσουν ένα κοιτάσμα υδρογονανθράκων. Οι γεωλογικές, γεωφυσικές και σεισμικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται από τις εταιρίες προκειμένου να βρεθούν οι κατάλληλοι γεωτρητικοί στόχοι και να εντοπιστούν οι πετρελαιοπιθανές περιοχές. Πολύ συχνά πιθανά κοιτάσματα, δηλαδή πόροι που δεν έχουν πιστοποιηθεί ακόμα από καμία

γεώτρηση, αναφέρονται ως κοιτάσματα εσφαλμένα, καθώς το ενδεχόμενο να μην υφίστανται είναι εξαιρετικά υψηλό (Βεργούλης, 2016).

Τα μοναδικά κοιτάσματα υδρογονανθράκων, που έχουν εντοπιστεί από τις μέχρι σήμερα έρευνες στο σύνολο του Ελλαδικού χώρου είναι τα κοιτάσματα πετρελαίου του Κατάκολου (1981) στην Ηλεία, του Πρίνου (1974), του Βόρειου Πρίνου (1994) και του Έψιλον (2001) στο Θρακικό πέλαγος, το κοιτάσμα φυσικού αερίου της Νότιας Καβάλας (1972) στο Θρακικό πέλαγος, της Επανομής στη Χαλκιδική (1989) και ασφάλτου στη Ζάκυνθο. Εκτός των άλλων στην περιοχή του Θρακικού πελάγους εντοπίστηκαν ανακαλύψεις υδρογονανθράκων μέσω γεωτρήσεων στην Ανατολική Θάσο, στον Άθω και στην Αμμώδη (Νικολάου, 2018). Σε τέσσερις από τις συνολικά δέκα ανακαλύψεις υδρογονανθράκων πραγματοποιείται εκμετάλλευση σήμερα, ενώ ορισμένες από τις υπόλοιπες χρήζουν συμπληρωματικής έρευνας ώστε να επιχειρηθεί η ανάπτυξή τους (Βεργούλης, 2016). Στην Ελλάδα έχουν εντοπιστεί 11- 12 ενεργά πετρελαϊκά συστήματα και υπάρχουν περισσότερες από 200 εμφανίσεις ή ενδείξεις υδρογονανθράκων στην επιφάνεια και σε γεωτρήσεις (Νικολάου, 2018).

Το κοιτάσμα πετρελαίου του Πρίνου στο Θρακικό πέλαγος (στην Καβάλα), που ανακαλύφθηκε το 1974 από την Oceanic, συνιστά το μοναδικό πετρελαϊκό κοιτάσμα που εξορύσσεται εδώ και δεκαετίες στη χώρα μας. Από τον Ιούλιο του 1981, όταν και άρχισε η εκμετάλλευσή του από την Εταιρεία Βορείου Αιγαίου (ΕΠΕ), παρήγαγε μέχρι σήμερα περίπου 116 εκ. βαρέλια, με μέγιστο ύψος παραγωγής τα 26.500 βαρέλια ημερησίως το έτος 1986. Τα εκτιμώμενα αποθέματα πετρελαίου του Πρίνου ανέρχονται σε 300 εκ. βαρέλια. Το 1981, παράλληλα με το πετρελαϊκό κοιτάσμα, στην περιοχή, ξεκίνησε και η εκμετάλλευση του μεγάλου κοιτάσματος φυσικού αερίου της Νότιας Καβάλας, που εντοπίστηκε από την Oceanic λίγα χρόνια νωρίτερα (το 1972). Μέχρι σήμερα από τη Νότια Καβάλα έχουν παραχθεί 855 εκ. m<sup>3</sup> φυσικό αέριο. Εκτός των άλλων στο Θρακικό πέλαγος έχει γίνει εκμετάλλευση των πετρελαϊκών κοιτασμάτων Βόρειου Πρίνου, που ανακαλύφθηκε το 1994 (παραγωγή 3,5 εκ. βαρέλια) και Έψιλον, που ανακαλύφθηκε το 2001 (παραγωγή 350.000 βαρέλια, αλλά διακόπηκε λόγω τεχνικών προβλημάτων). Οι παραγωγικές ζώνες των κοιτασμάτων βρίσκονται σε βάθος 2.500 με 2.850 m, ενώ το βάθος θάλασσας στην περιοχή των εξεδρών είναι μόλις 30 m (Βεργούλης, 2016).

#### 4.1.2 Έρευνα υδρογονανθράκων και κοιτάσματα στην Κύπρο

- **1938-2001:**

Οι πρώτες γεωλογικές και γεωφυσικές έρευνες διεξήχθησαν την δεκαετία 1938- 1948 από την εταιρεία Iraq Petroleum Company Ltd σε διάφορες περιοχές της Κύπρου. Το διάστημα 1949- 1957 η εταιρεία Oil Prospectors Ltd πραγματοποίησε δύο χερσαίες ερευνητικές γεωτρήσεις χωρίς κανένα θετικό αποτέλεσμα. Η μια γεώτρηση ήταν νότια του χωριού Μονή της Επαρχίας Λεμεσού και σε βάθος 1.799 m, ενώ η άλλη ήταν στην περιοχή Τσερίου και σε βάθος μόλις 1.250 m. Χωρίς επιτυχία ήταν και οι δύο γεωτρήσεις που εκτέλεσε η εταιρεία Forest Oil Corporation στις περιοχές Αρχάγγελος<sup>26</sup>, το 1969 (βάθους 2.586 m), και Λευκόνοικο, το 1970 (βάθους 3.295 m), (εικόνα 88).



✦ Γεωτρήσεις χωρίς ένδειξη παρουσίας υδρογονανθράκων

**Εικόνα 88:** Οι 4 πρώτες αποτυχημένες γεωτρήσεις για εύρεση υδρογονανθράκων στην Κύπρο, (Πηγή: Κασίνης, 2011).

Το 1972, το Ινστιτούτο Πετρελαίου της Γαλλίας πραγματοποίησε γεωφυσικές έρευνες στην περιοχή της Κύπρου, ενώ το διάστημα 1970- 1974 οι αντίστοιχες έρευνες της Delta Exploration κάλυψαν τη θαλάσσια περιοχή μέχρι ένα βάθος της τάξης των 200 m, ωστόσο διακόπηκαν εξαιτίας της τουρκικής εισβολής. Τα αποτελέσματα των ερευνών τόσο του Ινστιτούτου Πετρελαίου της Γαλλίας, όσο και της Delta Exploration δεν δόθηκαν ποτέ στις κυπριακές Αρχές (Μιχαηλίδης, 2014).

---

<sup>26</sup> Νότια της Λευκωσίας.



Το 1975, η καναδική εταιρεία Sefel Geophysical Ltd πραγματοποίησε θαλάσσιες σεισμικές έρευνες συνολικού μήκους 8.000 km στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου. Δέκα χρόνια αργότερα, το 1985, η εταιρεία πτώχευσε<sup>27</sup>, όμως το 1989, τα δικαιώματα των ερευνητικών αποτελεσμάτων της αγοράστηκαν από την εταιρεία Spectrum Energy and Information Technology Ltd. Η επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων του 1975 από την Spectrum (εικόνα 89), το 2000, έδειξε δομές του υπεδάφους της Κύπρου με δυνητικές συνθήκες για σχηματισμό κοιτασμάτων υδρογονανθράκων (Μιχαηλίδης, 2014).



**Εικόνα 89:** Χάρτης σεισμικών προγραμμάτων Κύπρου μέχρι το 2001 (Πηγή: Νικολάου, 2013β).

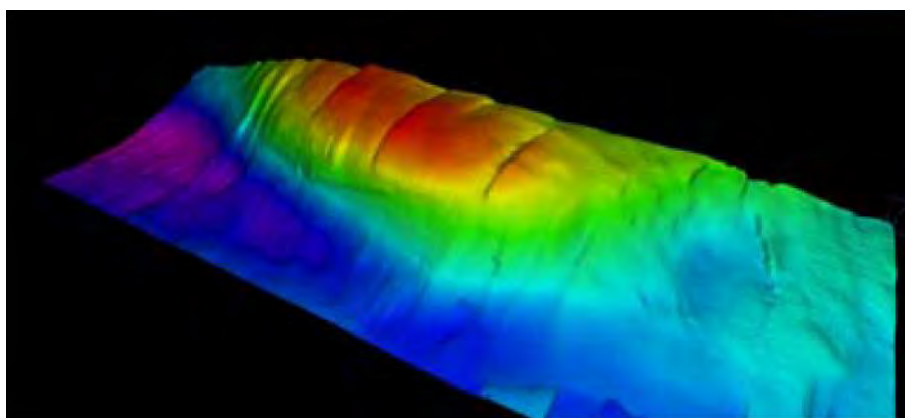
▪ **2002-2019:**

Στις αρχές του 2000, οι ανακαλύψεις δεκάδων μεγάλων πιθανών κοιτασμάτων φυσικού αερίου στην ευρύτερη περιοχή νότια της Κύπρου, από την Αίγυπτο και το Ισραήλ, αναθέρμανε το ενδιαφέρον της χώρας για εντοπισμό υδρογονανθράκων. Το 2003 οριοθετήθηκε η θαλάσσια Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη (ΑΟΖ) της Κύπρου με την Αίγυπτο, στη μέση γραμμή. Ακολούθησε η συμφωνία με τον Λίβανο και έτσι το 2007 έλαβε χώρα ο πρώτος γύρος παραχωρήσεων για έρευνα και παραγωγή υδρογονανθράκων στην Κύπρο. Ακολούθως το 2012, οριοθετήθηκε η θαλάσσια Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη (ΑΟΖ) της Κύπρου με το Ισραήλ, στη μέση γραμμή, και προκηρύχθηκε ο δεύτερος γύρος παραχωρήσεων με μεγάλη συμμετοχή διεθνών

<sup>27</sup> Εκτός των άλλων, την διετία που ακολούθησε της πτώχευσης (1985-1987) η Σοβιετική Ακαδημία Επιστημών πραγματοποίησε έρευνες στον χερσαίο και θαλάσσιο χώρο της Κύπρου.

εταιρειών πετρελαίου (Νικολάου, 2013β). Το 2016, προκηρύχθηκε τρίτος γύρος παραχωρήσεων με εξίσου έντονο ενδιαφέρον πετρελαϊκών κολοσσών.

Όπως ήταν αναμενόμενο, η έντονη ερευνητική δραστηριότητα είχε ιδιαίτερα θετικά αποτελέσματα. Το 2011, η αμερικανική εταιρεία Noble Energy, σε συνεργασία με την Ισραηλινή Delek και τη Shell, εκτέλεσε δύο ερευνητικές γεωτρήσεις (την Cyprus A-1<sup>28</sup> και την Cyprus A-2) στο οικοπέδο 12, ανακαλύπτοντας το κοιτάσμα φυσικού αερίου «Αφροδίτη» (Παναγούλης, 2018), (εικόνα 90). Η δοκιμή παραγωγής, το 2013, έδειξε κοιτάσμα φυσικού αερίου με βεβαιωμένα αποθέματα 128 δις m<sup>3</sup> (Υπηρεσία Υδρογονανθράκων, 2019α). Αξίζει να σημειωθεί πως τα αποθέματα αυτά θα αρκούσαν για την κάλυψη των εγχώριων αναγκών της Κύπρου για τα επόμενα 40 χρόνια προσφέροντας ακόμα και την δυνατότητα εξαγωγών (Σταμπολής, 2016).



**Εικόνα 90:** Η δομή του κοιτάσματος Αφροδίτη με τα αντίστοιχα βυθομετρικά χαρακτηριστικά του πυθμένα  
(Πηγή: Κασίνης, 2011).

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν άλλες δύο ερευνητικές γεωτρήσεις αυτή τη φορά εντός του οικοπέδου 9 από τη συνεργασία της Ιταλικής ENI με την Κορεάτικη KOGAS (Παναγούλης, 2018). Η γεώτρηση «Ονασαγόρας», το 2014 (βάθους 5.800 m)<sup>29</sup>, και η γεώτρηση «Αμαθούσα», το 2015 (βάθους 5.485 m)<sup>30</sup>. Τα αποτελέσματα αυτών των γεωτρήσεων ήταν αρνητικά, καθώς έδειξαν την μη ύπαρξη οικονομικά εκμεταλλεύσιμης συγκέντρωσης υδρογονανθράκων (Υπηρεσία Υδρογονανθράκων, 2019α).

<sup>28</sup> Σε βάθος νερού 1.689 m (Αρχή Ανάπτυξης Ανθρώπινου Δυναμικού Κύπρου, 2012).

<sup>29</sup> Βάθος από την επιφάνεια της θάλασσας.

<sup>30</sup> Βάθος από την επιφάνεια της θάλασσας.

Στο δεύτερο εξάμηνο του 2017 πραγματοποιήθηκε μία ακόμα ερευνητική γεώτρηση, η «Onesiphoros West-1», της Γαλλικής TOTAL, σε συνεργασία με την Ιταλική ENI, στο οικοπέδο 11, ανακαλύπτοντας το κοίτασμα «Ονησιφόρος» (9 δις m<sup>3</sup>). Τα ευρήματα χαρακτηρίστηκαν ως μικρού έως μεσαίου μεγέθους (Παναγούλης, 2018), και δεν διέθεταν εκμεταλλεύσιμη συγκέντρωση υδρογονανθράκων (Υπηρεσία Υδρογονανθράκων, 2019α). Εντούτοις, σε ποιοτικό επίπεδο χαρακτηρίστηκαν ως πολύ ελπιδοφόρα και αύξησε το ενδιαφέρον για έρευνες, καθώς ο Ονησιφόρος βρίσκεται πολύ κοντά στο τεράστιο Αιγυπτιακό κοίτασμα φυσικού αερίου Ζορ (Παναγούλης, 2018). Στη συνέχεια, τον Φεβρουάριο του 2018, ολοκληρώθηκε η ερευνητική γεώτρηση «Calypso-1» (βάθους 3.827 m)<sup>31</sup> εντός του οικοπέδου 6 από την ίδια κοινοπραξία εταιρειών (ENI και TOTAL), εντοπίζοντας το κοίτασμα «Καλυψώ» (εκτιμώμενα αποθέματα 200 δις m<sup>3</sup>). Εντούτοις, προκειμένου να εκτιμηθεί με βεβαιότητα η ποσότητα του φυσικού αερίου που περιέχεται στον ταμιευτήρα του συγκεκριμένου κοιτάσματος, απαιτείται η εκτέλεση περαιτέρω γεωλογικών και γεωφυσικών ερευνών (Υπηρεσία Υδρογονανθράκων, 2019α).

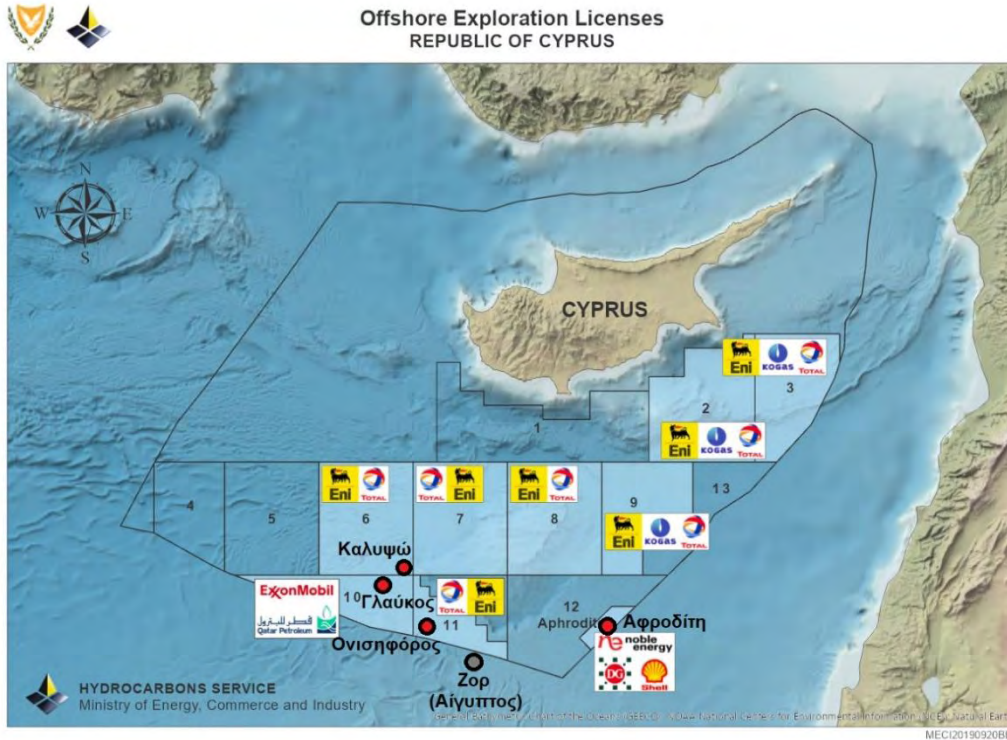
Τέλος, τον Φεβρουάριο του 2019 ολοκληρώθηκε η ερευνητική γεώτρηση «Glaucus-1» (βάθους 4.200 m)<sup>32</sup> εντός του οικοπέδου 10, εντοπίζοντας το κοίτασμα «Γλαύκος». Τα δεδομένα που προέκυψαν έδειξαν την ύπαρξη ταμιευτήρα με 140 έως 230 δις m<sup>3</sup> φυσικού αερίου. Αξίζει να σημειωθεί πως πριν την γεώτρηση «Glaucus-1» είχε πραγματοποιηθεί η γεώτρηση «Delphyne-1», τον Ιανουαρίου του 2019, χωρίς ωστόσο να εντοπιστεί οικονομικά εκμεταλλεύσιμη συγκέντρωση υδρογονανθράκων (Υπηρεσία Υδρογονανθράκων, 2019α).

Στην εικόνα 91 εμφανίζονται οι παραχωρήσεις έρευνας και εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων που ισχύουν σήμερα στην Κύπρο, καθώς επίσης και τα κοιτάσματα που έχουν εντοπιστεί από αυτές μέχρι και το 2019. Να σημειωθεί πως, όπως φαίνεται και στον χάρτη, τα οικοπέδα 1, 4, 5 και 13 δεν έχουν παραχωρηθεί σε καμία εταιρεία, ενώ στα οικοπέδα 2, 3, 8 και 9 δεν έχει εκτελεστεί καμία ερευνητική γεώτρηση.

---

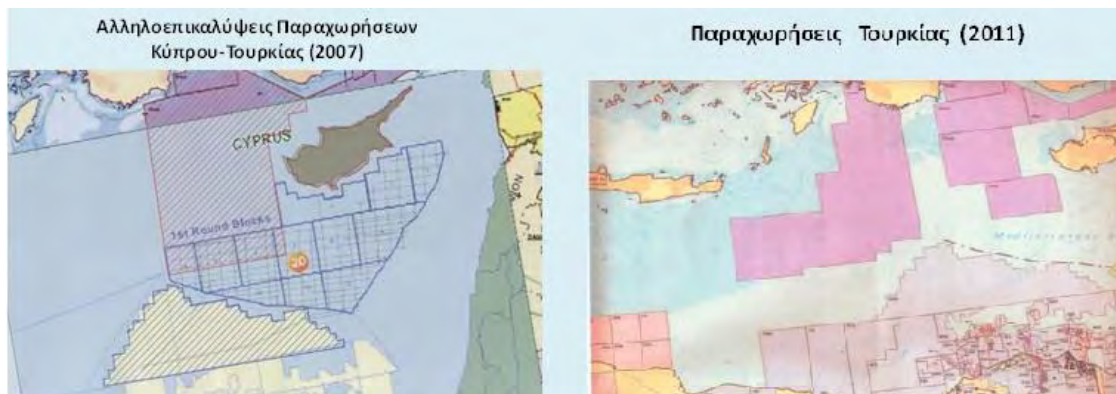
<sup>31</sup> Βάθος από την επιφάνεια της θάλασσας. Ειδικότερα το βάθος νερού ήταν 1.902 m

<sup>32</sup> Βάθος από την επιφάνεια της θάλασσας. Ειδικότερα το βάθος νερού ήταν μεγαλύτερο από 2.000 m (GEO Ex Pro, 2019)



**Εικόνα 91:** Χάρτης παραχωρήσεων έρευνας και εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων και βεβαιωμένα κοιτάσματα Κύπρου (κόκκινες κουκίδες).  
(Πηγή: Υπηρεσία Υδρογονανθράκων, 2019β) Ίδια επεξεργασία

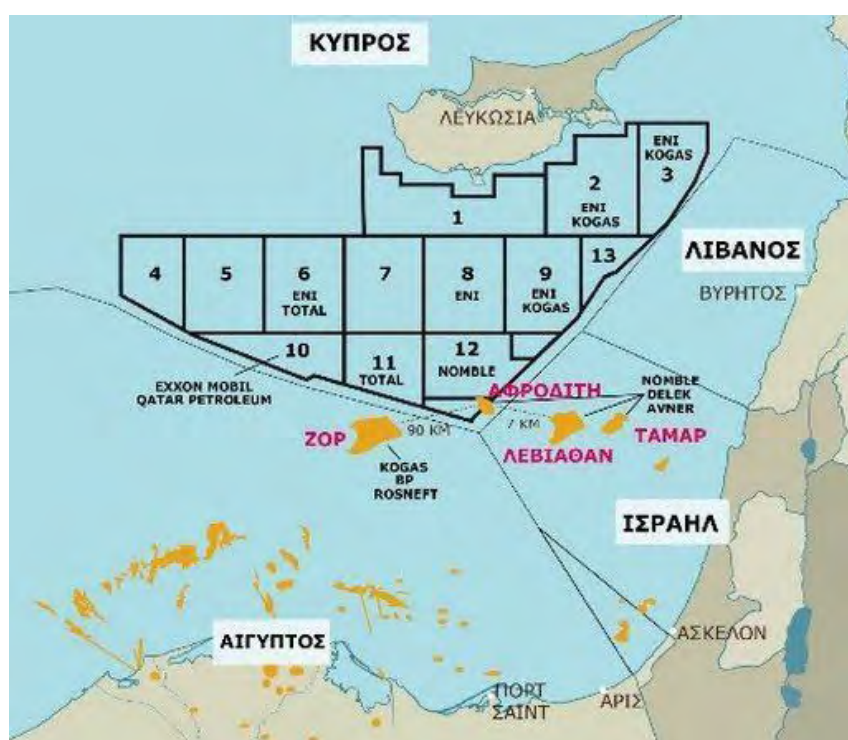
Το 2007 και το 2011, η Τουρκία παραχώρησε άδειες έρευνας υδρογονανθράκων στην τουρκική κρατική εταιρεία Turkish Petroleum Corporation (TPAO), δυτικά της Κύπρου, με μερική επικάλυψη των δυτικών θαλάσσιων οικοπέδων της Κύπρου, καθώς επίσης και αγνόηση της δυνητικής υφαλοκρηπίδας του Καστελόριζου (εικόνα 92). Μέχρι σήμερα δεν έχει ανακοινωθεί ο εντοπισμός κανενός υποθαλάσσιου κοιτάσματος στις περιοχές που διεξάγει έρευνες η Τουρκία.



**Εικόνα 92:** Αλληλοεπικαλύψεις παραχωρήσεων Κύπρου- Τουρκίας, το 2007 και το 2011  
(Πηγή: Νικολάου, 2013β)

#### 4.1.3 Έρευνα υδρογονανθράκων και κοιτάσματα στο Ισραήλ και στην Αίγυπτο

Στην Ανατολική Μεσόγειο, στις Αποκλειστικές Οικονομικές Ζώνες (ΑΟΖ) Αιγύπτου, Ισραήλ, Κύπρου και Λιβάνου, από το 2002, που ξεκίνησαν οι πρώτες ανακαλύψεις κοιτασμάτων, μέχρι και σήμερα έχουν εντοπιστεί συνολικά 2,2 τρις m<sup>3</sup> υδρογονανθράκων<sup>33</sup>, με τα 2 μεγαλύτερα κοιτάσματα από μόνα τους, δηλαδή το "Ζορ", στην Αίγυπτο, και το "Λεβιάθαν", στο Ισραήλ, να συγκεντρώνουν τα 1,5 τρις m<sup>3</sup> από τα 2,2 τρις m<sup>3</sup> υδρογονανθράκων (εικόνα 93).



**Εικόνα 93:** Τα κοιτάσματα που έχουν ανακαλυφθεί στην Ανατολική Μεσόγειο από το Ισραήλ και την Αίγυπτο  
(Πηγή: Σοφοκλέους, 2018)

Ειδικότερα, στην ΑΟΖ του Ισραήλ έχουν πραγματοποιηθεί 21 γεωτρήσεις, σε 17 διαφορετικούς στόχους. Οι εννέα στόχοι από αυτούς δεν είχαν θετικό αποτέλεσμα. Σε τρεις στόχους βρέθηκαν μικρά, μη εμπορικά εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα<sup>34</sup>, και εντοπίστηκαν 4 μικρά αλλά εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα, το "Noa North"<sup>35</sup> (1999), το "Mari-B"<sup>36</sup> (2000), το "Νταλίτ" (2009) και το Ντόλφιν" (2011). Σε άλλους τρεις

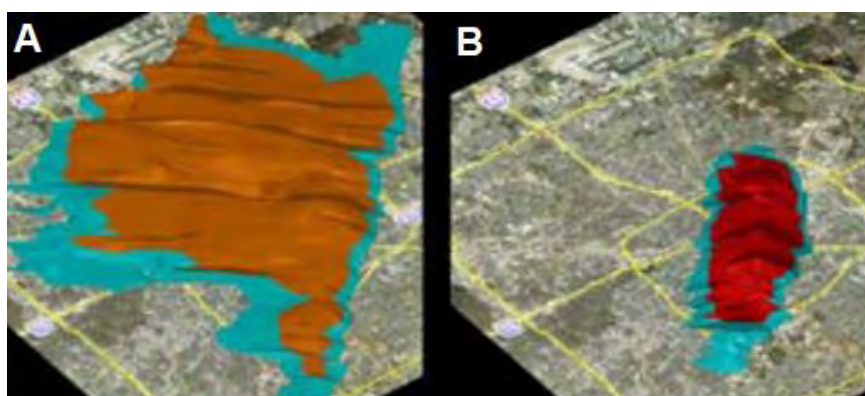
<sup>33</sup> Ποσότητα υπερδιπλάσια των αντίστοιχων Αζέρικων κοιτασμάτων της Κασπίας (0,9 τρις m<sup>3</sup>), που εμφανίζονταν ως η λύση του ενεργειακού προβλήματος της Ευρώπης (Σταμπολής, 2016).

<sup>34</sup> Το ένα από αυτά τα κοιτάσματα ήταν σε θαλάσσια ύδατα της Λωρίδας της Γάζας.

<sup>35</sup> Παράγει φυσικό αέριο από το 2012.

<sup>36</sup> Παράγει φυσικό αέριο από το 2004.

στόχους, εντοπίστηκαν ικανοποιητικά και οικονομικά εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα, το "Ταμάρ" (2009)<sup>37</sup>, το "Τανίν" (2012) και το "Καρίς" (2013). Το 2010, η κοινοπραξία της αμερικανικής Noble με την Ισραηλινή Delek ανακάλυψε ένα πολύ μεγάλο κοιτάσμα φυσικού αερίου, το "Λεβιάθαν", με επιβεβαιωμένα αποθέματα της τάξης των 620 δις m<sup>3</sup> (εικόνα 94). Την τελευταία διετία γίνονται συνεχείς γεωτρήσεις προκειμένου να ξεκινήσει η παραγωγή φυσικού αερίου από το Λεβιάθαν, όπως και υποδομές για τη μεταφορά του φυσικού αερίου στο Ισραήλ<sup>38</sup> (Θεοχαρίδης, 2019).



**Εικόνα 94:** Τα κοιτάσματα: (Α) Λεβιάθαν (έκταση 323 km<sup>2</sup>) και (Β) Ταμάρ (έκταση 97 km<sup>2</sup>) (Πηγή: Κασίνης, 2011).

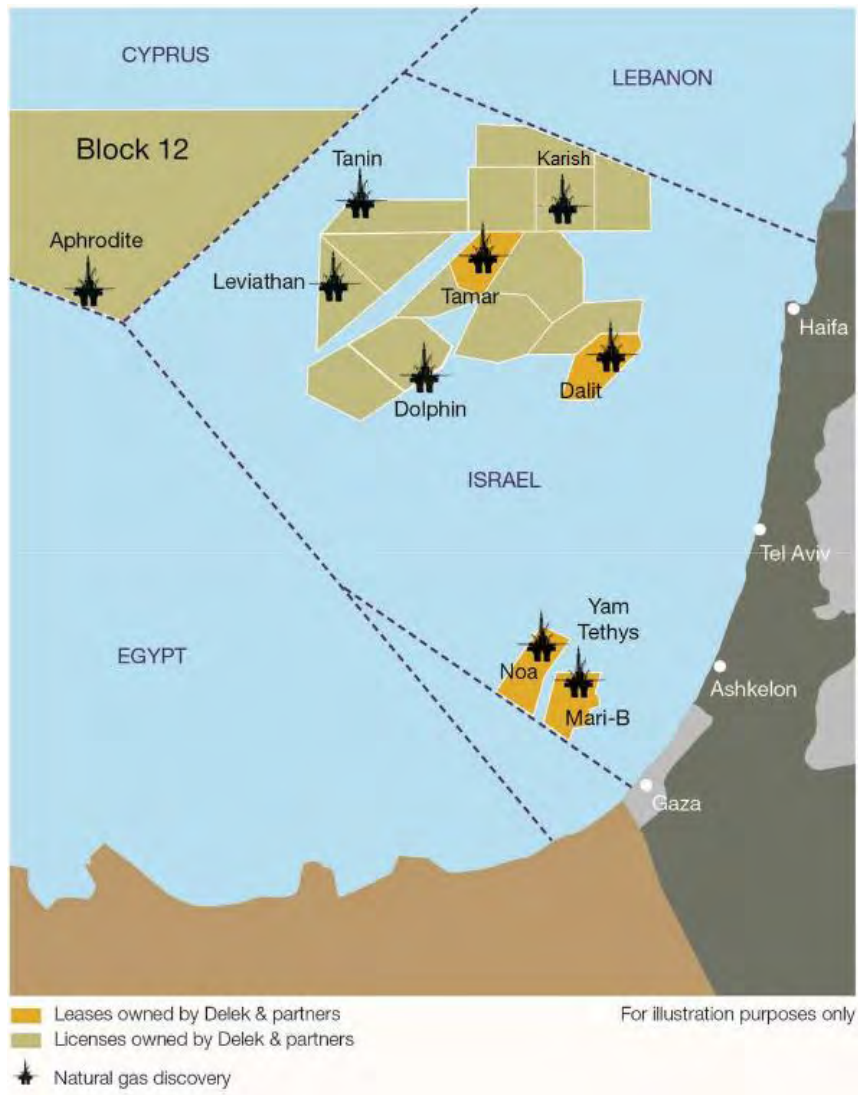
Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα οκτώ υποθαλάσσια κοιτάσματα φυσικού αερίου που έχουν ανακαλυφθεί μέχρι σήμερα από το Ισραήλ στην Ανατολική Μεσόγειο (εικόνα 95). Τα περισσότερα βρίσκονται σε βάθη θάλασσας μεγαλύτερα των 1.300 m, με εξαίρεση το Mari-B και το Noa North, που εντοπίστηκαν σε βάθος νερού 235 m και 790 m αντίστοιχα.

<sup>37</sup> Παράγει φυσικό αέριο από το 2013.

<sup>38</sup> Την 1/1/2020 ανακοινώθηκε η έναρξη παραγωγής φυσικού αερίου από το κοιτάσμα Λεβιάθαν.

**Πίνακας 2:** Τα επιβεβαιωμένα κοιτάσματα φυσικού αερίου του Ισραήλ στην Ανατ. Μεσόγειο

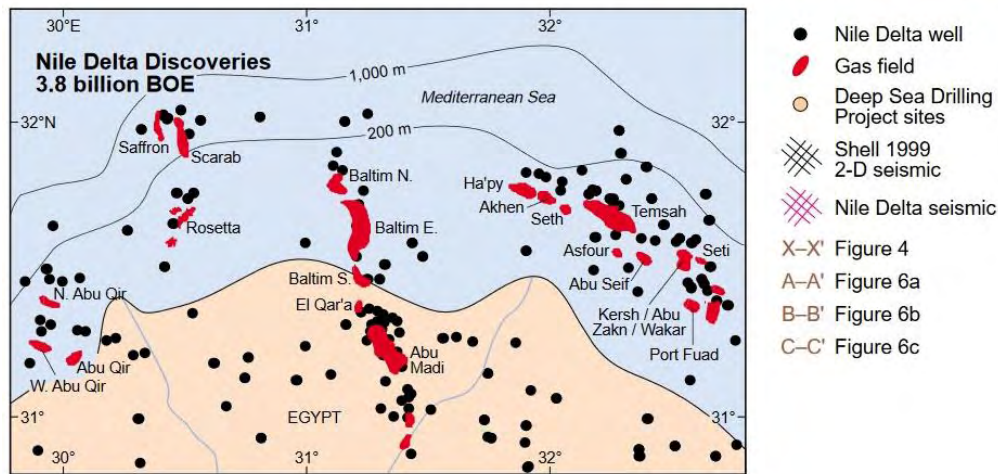
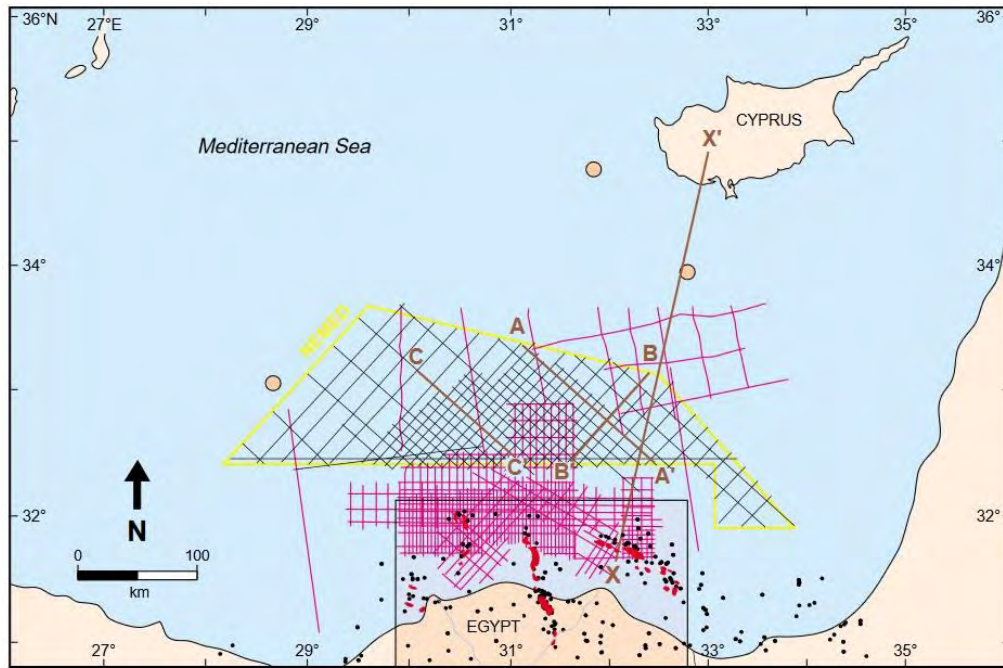
	<b>Κοίτασμα</b>	<b>Έτος εντοπισμού</b>	<b>Εταιρεία που το εντόπισε</b>	<b>Αποθέματα (σε δις m<sup>3</sup>)</b>	<b>Βάθος θάλασσας (σε m)</b>	<b>Σε παραγωγή</b>
1	Λεβιάθαν	2010	Noble, Delek	620	1.650	Από 2020
2	Ταμάρ	2009	Noble, Delek, Avner	300	1.680	Από 2013
3	Καρίς	2013	Noble, Energean Oil & Gas	85	1.737	OXI
4	Τανίν	2012	Noble, Energean Oil & Gas	34	1.555	OXI
5	Mari-B	2000	Noble, Delek, Avner	28	235	Από 2004
6	Νταλίτ	2009	Noble, Delek, Avner	20	1.380	OXI
7	Ντόλφιν	2011	Noble, Delek	2,3	1.400	OXI
8	Noa North	1999	Noble, Delek, Avner	1,4	790	Από 2012



**Εικόνα 95:** Τα κοιτάσματα που έχουν ανακαλυφθεί στην Ανατολική Μεσόγειο από το Ισραήλ (Πηγή: Delek Group, 2012) Ιδία επεξεργασία.

Η Αίγυπτος άρχισε να διεξάγει σεισμικές έρευνες και ερευνητικές γεωτρήσεις στην Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη (ΑΟΖ) της στην Μεσόγειο Θάλασσα πριν το 2000 με αποτέλεσμα το 2001 να έχει εντοπίσει δεκάδες υποθαλάσσια κοιτάσματα φυσικού αερίου στην ευρύτερη περιοχή (εικόνα 96).





**Εικόνα 96:** Οι σεισμικές έρευνες και τα κοιτάσματα φυσικού αερίου που ανακάλυψε η Αίγυπτος στην Ανατολική Μεσόγειο μέχρι το 2000. (Πηγή: Abdel Aal et al., 2001)

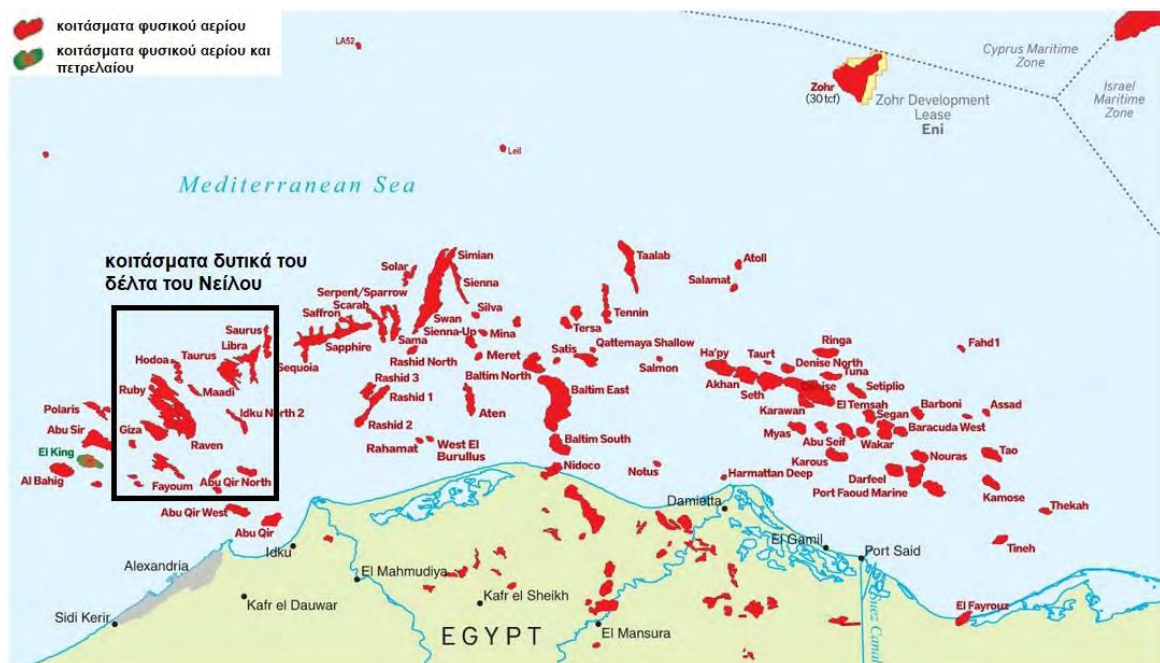
Στην ΑΟΖ της Αιγύπτου και σε πολύ μικρή απόσταση από τα όριά της με την ΑΟΖ της Κύπρου, το 2015, εντοπίστηκε από την Ιταλική ENI το κοιτάσμα "Zor" (βάθος θάλασσας 1.450 m). Το Zor με 850 δις m<sup>3</sup> φυσικού αερίου είναι το μεγαλύτερο μέχρι σήμερα επιβεβαιωμένο κοιτάσμα στην Ανατολική Μεσόγειο (Θεοχαρίδης, 2019). Αξίζει να σημειωθεί πως η πλατφόρμα εξόρυξης που εγκαταστάθηκε στο Zor από την ENI παράγει φυσικό αέριο<sup>39</sup> από τον Δεκέμβριο του 2017 (Νικολάου, 2018), (εικόνα 97).

<sup>39</sup> Περίπου 50 εκ. m<sup>3</sup> φυσικού αερίου την ημέρα.



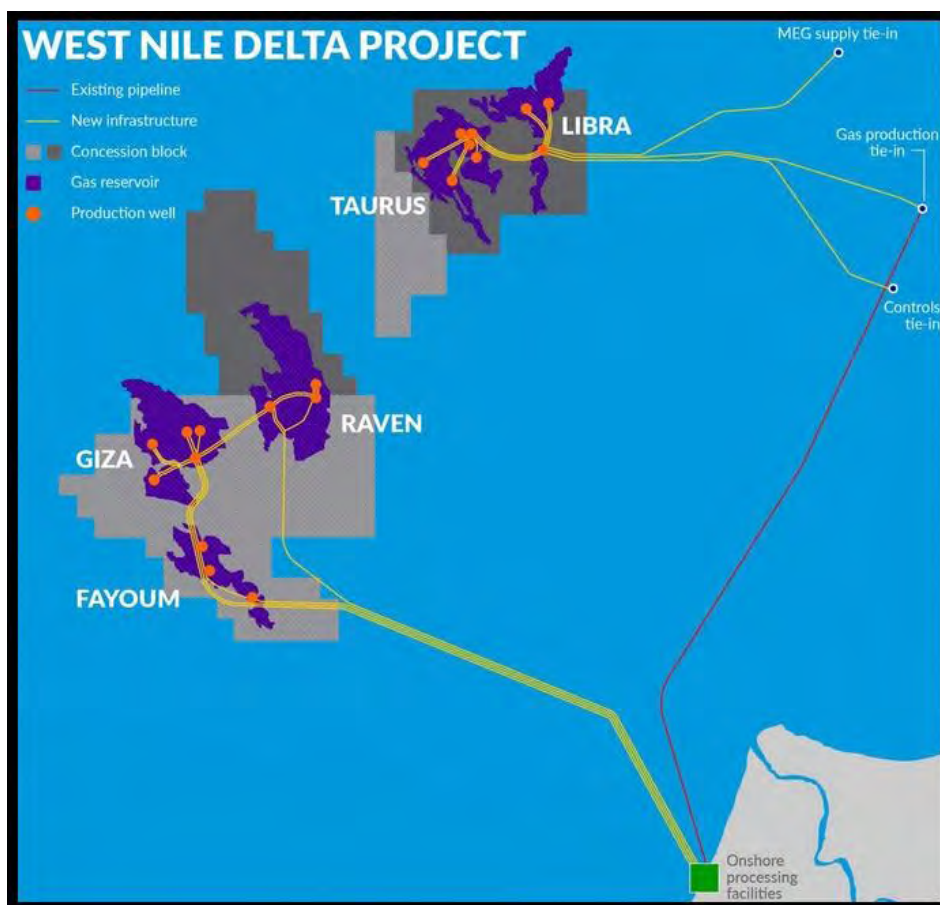
**Εικόνα 97:** Η πλατφόρμα εξόρυξης του κοιτάσματος Zohr (Πηγή: Refaat, 2019).

Στην εικόνα 98 παρουσιάζεται το σύνολο των δεκάδων υποθαλάσσιων κοιτασμάτων φυσικού αερίου που έχει εντοπίσει μέχρι σήμερα η Αίγυπτος στην Ανατολική Μεσόγειο. Η πλειοψηφία των κοιτασμάτων βρίσκεται σε βάθη θάλασσας μικρότερα των 200 μέτρων.



**Εικόνα 98:** Τα κοιτάσματα που έχουν ανακαλυφθεί στην Ανατολική Μεσόγειο από την Αίγυπτο (Πηγή: Stephen, 2019) Ιδία επεξεργασία.

Η Αίγυπτος διαθέτει δεκάδες υποθαλάσσια παραγωγικά κοιτάσματα φυσικού αερίου στην Ανατολική Μεσόγειο εκτός του Ζορ. Τέτοια είναι τα κοιτάσματα δυτικά του δέλτα του Νείλου (εικόνα 99), Libra (σε παραγωγή από το 2017), Taurus (σε παραγωγή από το 2017), Giza (σε παραγωγή από το 2018), Fayoum (σε παραγωγή από το 2018)<sup>40</sup>. Επιπρόσθετα, παραγωγικά κοιτάσματα είναι το Nooros (σε παραγωγή από το 2015), το Atoll (σε παραγωγή από το 2017) και τα Baltim East και South (σε παραγωγή από το 2019). Έτσι, τον Οκτώβριο του 2019 η παραγωγή της Αιγύπτου έφτασε στα 200 εκ. m<sup>3</sup> φυσικού αερίου την ημέρα, δηλαδή μέσα σε 20 μόλις ημέρες η Αίγυπτος παράγει ποσότητα φυσικού αερίου ίση με αυτήν που καταναλώνει η Ελλάδα μέσα σε ένα ολόκληρο έτος (Φιντικάκης, 2019).



**Εικόνα 99:** Τα Αιγυπτιακά κοιτάσματα δυτικά του δέλτα του Νείλου με τις παραγωγικές γεωτρήσεις τους με πορτοκαλί κουκίδα (Πηγή: Breen, 2017).

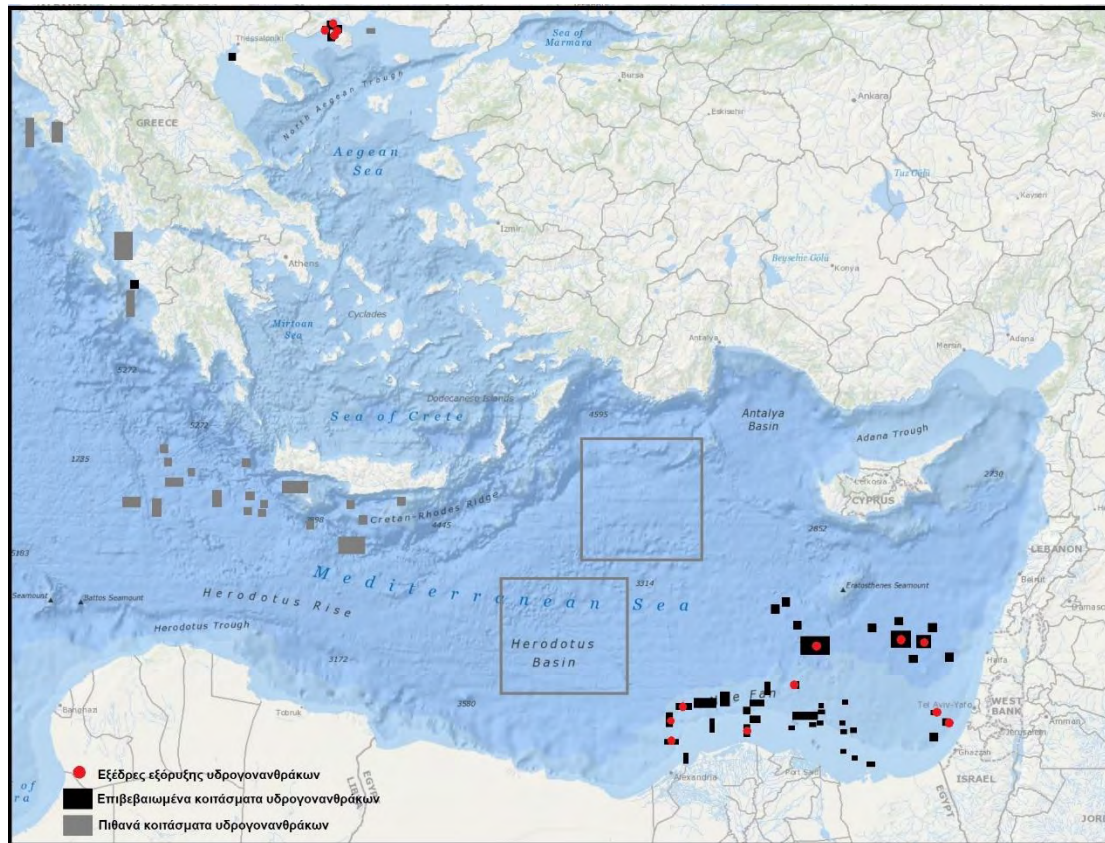
<sup>40</sup> Στους επόμενους μήνες αναμένεται να ξεκινήσει η παραγωγή του κοιτάσματος Raven.

Η Αίγυπτος και το Ισραήλ είναι οι μοναδικές χώρες της περιοχής που παράγουν φυσικό αέριο. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται τα 10 μεγαλύτερα επιβεβαιωμένα υποθαλάσσια κοιτάσματα φυσικού αερίου της Ανατολικής Μεσογείου σε βάθη θάλασσας μεγαλύτερα των 200 m.

**Πίνακας 3:** Τα 10 μεγαλύτερα κοιτάσματα φυσικού αερίου της Ανατολικής Μεσογείου σε βάθη θάλασσας μεγαλύτερα των 200 m (κατά σειρά ποσότητας αποθεμάτων).

	<b>Κοίτασμα</b>	<b>Χώρα</b>	<b>Έτος εντοπισμού</b>	<b>Εταιρεία που το εντόπισε</b>	<b>Αποθέματα (σε δις m<sup>3</sup>)</b>	<b>Βάθος θάλασσας (σε m)</b>	<b>Σε παραγωγή</b>
1	Ζορ	Αίγυπτος	2015	ENI	850	1.450	Από 2017
2	Λεβιάθαν	Ισραήλ	2010	Noble, Delek	620	1.650	Από 2020
3	Ταμάρ	Ισραήλ	2009	Noble, Delek, Avner	300	1.680	Από 2013
4	Καλυψώ	Κύπρος	2018	ENI, Total	200	1.902	OXI
5	Γλαύκος	Κύπρος	2019	ExxonMobil	140-230	>2.000	OXI
6	Αφροδίτη	Κύπρος	2011	Noble, Delek, Shell	128	1.689	OXI
7	Καρίς	Ισραήλ	2013	Noble, Energean Oil & Gas	85	1.737	OXI
8	Atoll	Αίγυπτος	2015	Bp	42	923	Από 2017
9	Τανίν	Ισραήλ	2012	Noble, Energean Oil & Gas	34	1.555	OXI
10	Mari-B	Ισραήλ	2000	Noble, Delek, Avner	28	235	Από 2004

Στην εικόνα 10 εμφανίζεται το σύνολο των επιβεβαιωμένων και των πιθανών κοιτασμάτων υδρογονανθράκων της Ανατολικής Μεσογείου. Τα δύο μεγάλα γκρι πλαίσια είναι πολλά υποσχόμενες περιοχές με ανεπαρκή όμως μέχρι σήμερα δεδομένα.



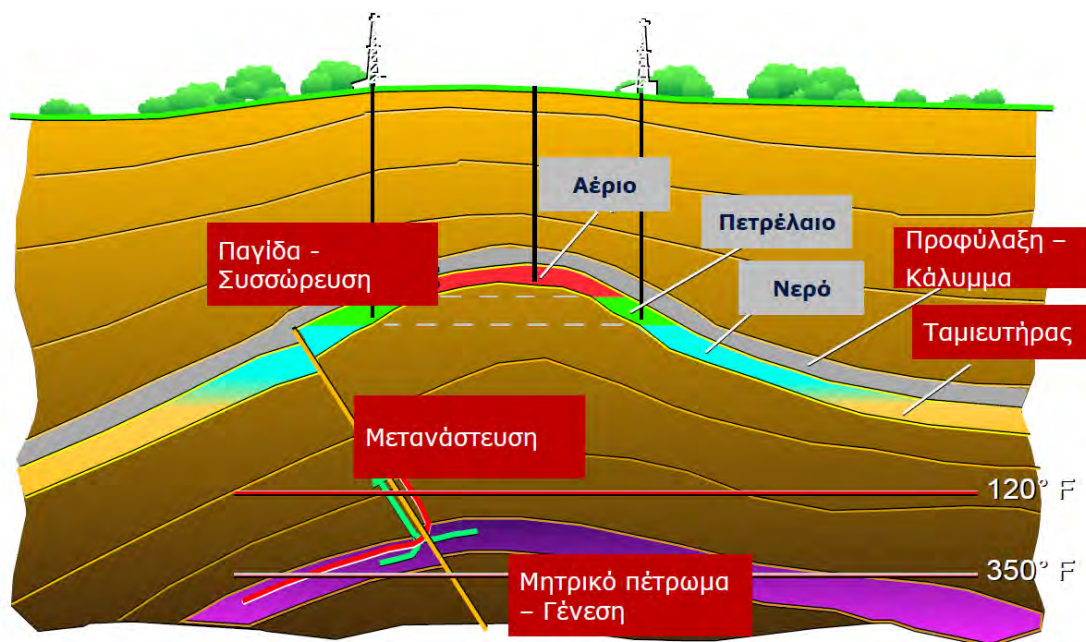
**Εικόνα 100:** Τα κοιτάσματα υδρογονανθράκων της Ανατολικής Μεσογείου  
(Πηγή: παρούσα εργασία)

## 4.2 Γεωλογία πετρελαϊκού συστήματος της Νοτιοανατολικής Μεσογείου

Η λεκάνη της Ανατολικής Μεσογείου αποτελεί το τελευταίο υπόλειμμα του ωκεανού της Τηθύος (Μεσοζωική ηλικία) και διαθέτει ιζήματα μεγάλου πάχους (6-12 km), που βρίσκονται πάνω από φλοιό πάχους 10 km. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό της λεκάνης είναι μια μεγάλη μήκους τοξοειδής ζώνη παραμορφωμένων ιζημάτων, που έχει επικρατήσει να λέγεται Μεσογειακή ράχη (Ηρακλέους, 2018).

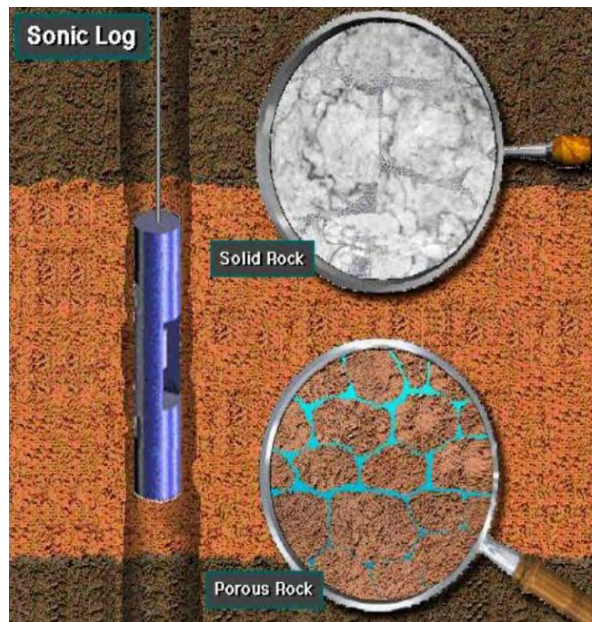
Στην νοτιοανατολική μεσόγειο, οι έρευνες (σεισμικά 2D και 3D) έχουν δείξει την ύπαρξη άφθονων παγίδων, πολλές από τις οποίες όμως είναι πολύ πιθανό να έχουν καταστραφεί, καθώς οι επιφανειακές ενδείξεις υδρογονανθράκων, που ερμηνεύονται ως αδυναμία παγίδευσης και επομένως σχηματισμού κοιτάσματος, είναι συχνό φαινόμενο (π.χ. Κερί Ζακύνθου). Ιδιαίτερα θετικό είναι το γεγονός πως σε αρκετές περιοχές υπάρχουν όλες οι προϋποθέσεις ύπαρξης πετρελαϊκού

συστήματος (μητρικά πετρώματα, ταμιευτήρες, κάλυμμα, παγίδες), ενώ σε κάποιες τα συστήματα αυτά είναι αποδεδειγμένα (Βεργούλης, 2016), (εικόνα 101). Επιπρόσθετα, βάσει των επιφανειακών ενδείξεων υδρογονανθράκων και τις δειγματοληψίες γεωτρήσεων η μετανάστευση αρχίζει τον κατάλληλο χρόνο, δηλαδή ύστερα από την τεκτονική που σχηματίζει τις παγίδες (Ζαφειρόπουλος, 2012).



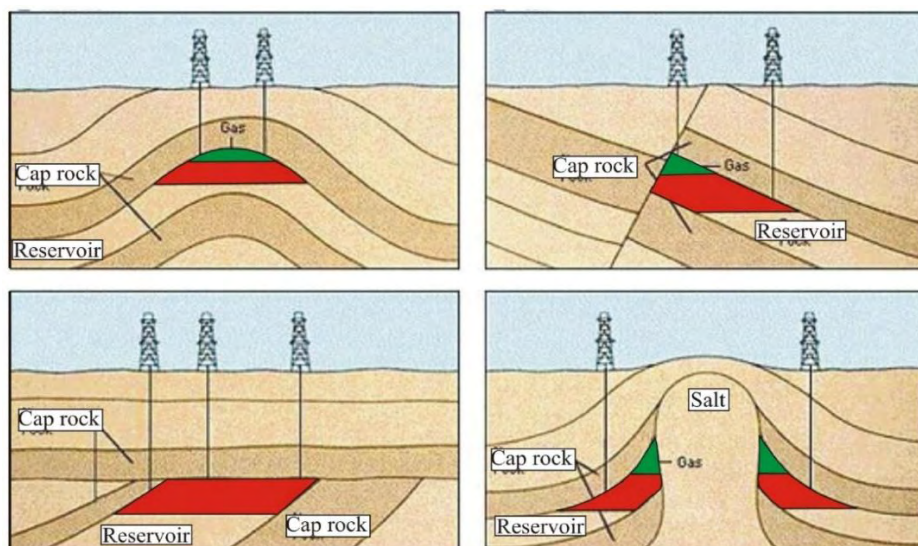
**Εικόνα 101:** Προϋποθέσεις σχηματισμού πετρελαϊκού συστήματος και εξέλιξή του. (Πηγή: Νικολάου, 2018)

Ειδικότερα, στις λεκάνες που βρίσκονται στο νότιο τμήμα της Μεσογείου κυριαρχούν αργίλοι γεωλογικοί σχηματισμοί Μεσοζωικής μέχρι και Καινοζωϊκής ηλικίας (μητρικά πετρώματα υδρογονανθράκων), ψαμμίτες Ολιγοκαινικής και Μειοκαινικής ηλικίας (πετρώματα ταμιευτήρων υδρογονανθράκων), (εικόνα 102), καθώς και εβαπορίτες του Μεσσηνίου (αδιαπέρατα καλύμματα – παγίδες) (Ηρακλέους, 2018).



**Εικόνα 102:** Ο ταμιευτήρας (reservoir rock) μπορεί να είναι ένα πορώδες πέτρωμα (ψαμμίτες, ανθρακικά πετρώματα), (Πηγή: Νικολάου, 2018).

Στην εικόνα 103 παρουσιάζονται διάφοροι τρόποι παγίδευσης του πετρελαίου. Το κάλυμμα (cap rock), είτε βρίσκεται υπό τη μορφή αντικλίνου, είτε όχι, είναι απαραίτητο ώστε να παγιδευτεί το πετρέλαιο, αλλά αρκετά συχνά δομές άλατος βοηθούν προς αυτήν την κατεύθυνση.

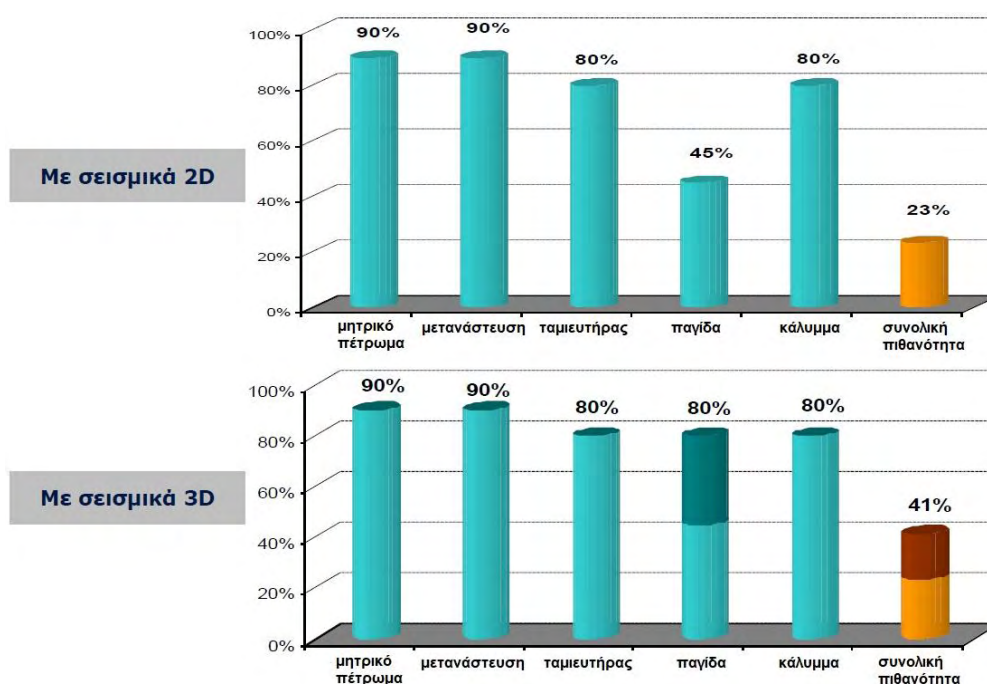


**Εικόνα 103:** Διάφοροι τρόποι παγίδευσης του πετρελαίου,

Cap rock = κάλυμμα, reservoir = ταμιευτήρας, gas = φυσικό αέριο, salt = δομή άλατος.

(Πηγή: Νικολάου, 2018)

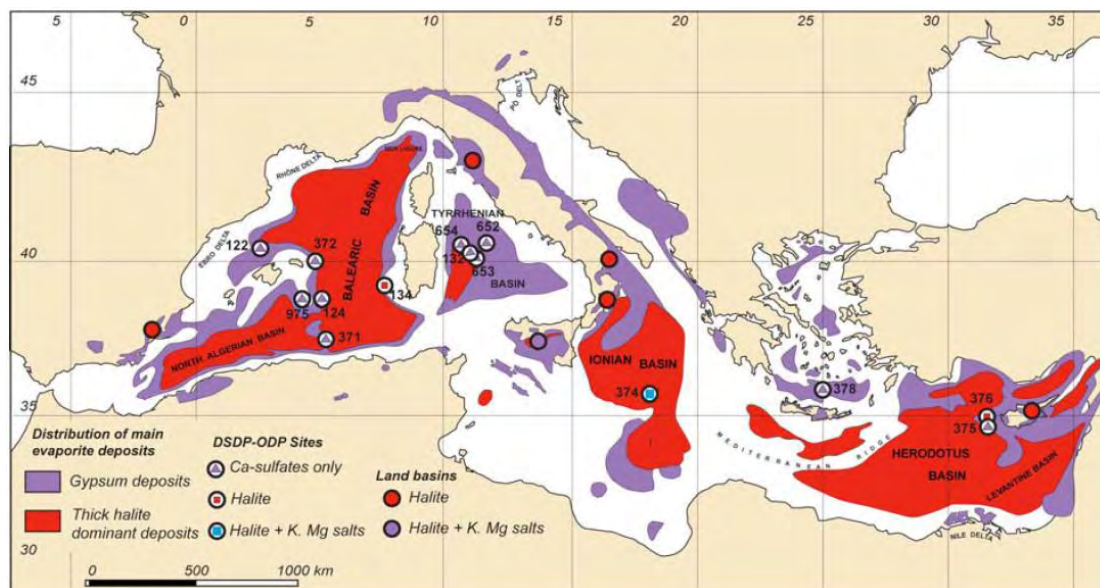
Η πιθανότητα εύρεσης ενός κοιτάσματος υδρογονανθράκων εξαρτάται από το είδος των σεισμικών ερευνών που χρησιμοποιήθηκαν. Τα σεισμικά 3D υπερέρχουν συγκριτικά με τα 2D, καθώς εντοπίζουν με πολύ μεγαλύτερη ασφάλεια παγίδες πετρελαίου (εικόνα 104).



**Εικόνα 104:** Πιθανότητα εύρεσης κοιτάσματος με σεισμικά 2D και 3D. (Πηγή: Νικολάου, 2018) Ίδια επεξεργασία

Στην εικόνα 105 εμφανίζεται η εξάπλωση των εβαποριτών του Μεσσηνίου στη Μεσόγειο (Roushy and Caruso, 2006). Οι εβαπορίτες συνιστούν εξαιρετικό κάλυμμα, όμως η εξάπλωσή τους στο σύνολο του πυθμένα της Ανατολικής Μεσογείου δεν είναι επιβεβαιωμένη (Ζαφειρόπουλος, 2012).





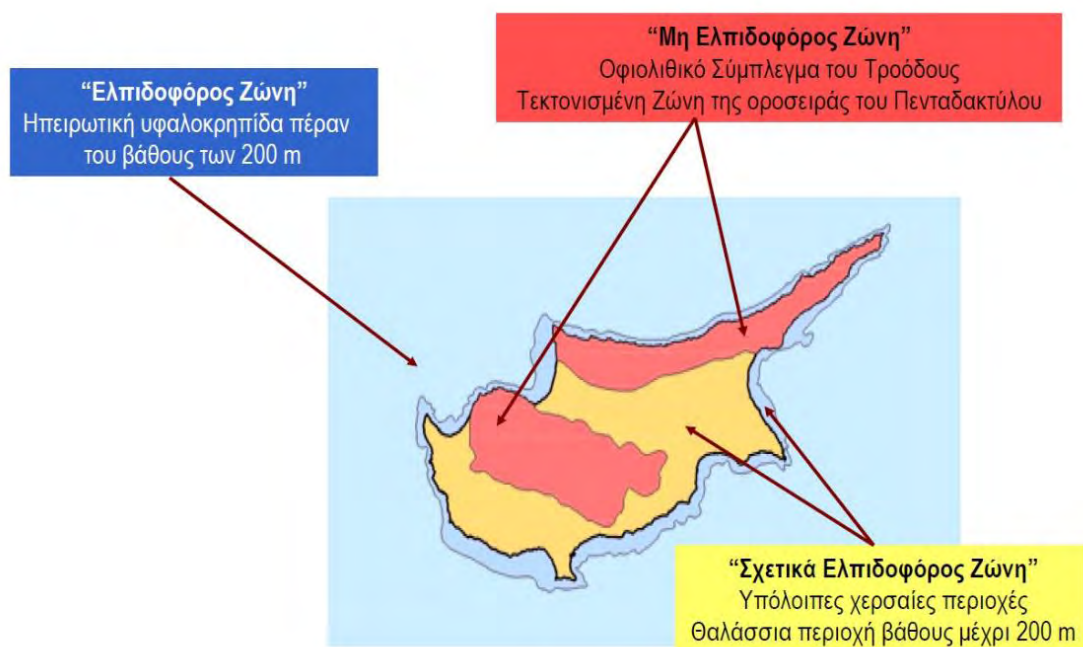
**Εικόνα 105:** Χάρτης εξάπλωσης των εβαποριτών του Μεσσηνίου στη Μεσόγειο (Πηγή: Rouchy and Caruso, 2006).

Σαφής είναι η διαφοροποίηση αναφορικά με τη γεωλογία του πετρελαϊκού συστήματος στην Ανατολική (Αιγαίο πέλαγος) και στη Δυτική Ελλάδα (Ιόνιο πέλαγος), καθώς οι πετρελαιοπιθανές περιοχές εντοπίζονται στις νεογενείς λεκάνες της Ανατολικής Ελλάδας και στο ορογενετικό σύστημα των εξωτερικών Ελληνίδων (στις Αλπικές και Μεταλπικές ιζηματογενείς λεκάνες) της Δυτικής Ελλάδας (Ζαφειρόπουλος, 2012).

Το κύριο μητρικό πέτρωμα που απαντάται στη Δυτική Ελλάδα είναι οι σχιστόλιθοι με Ποσειδώνιες του Ιουρασικού (με αξιόλογες ως πολύ μεγάλες δυνατότητες γένεσης υδρογονανθράκων), ενώ στην Ανατολική Ελλάδα τα πιο συνηθισμένα μητρικά πετρώματα είναι οι άργιλοι του Μειοκαίνου και του Ολιγοκαίνου. Οι παγίδες πετρελαίου, στη Δυτική Ελλάδα είναι κυρίως τεκτονικές και απαντώνται κατά κύριο λόγο στον υποθαλάσσιο χώρο του Ιονίου πελάγους, ενώ στην Ανατολική Ελλάδα εκτός των τεκτονικών, υπάρχουν και πολλές περιπτώσεις στρωματογραφικών παγίδων. Τα καλύμματα στη Δυτική Ελλάδα είναι κατά κύριο λόγο σχηματισμένα από ολιγοκαινικό φλύσχη και εβαπορίτες (Μειοκαίνου και Τριαδικού), ενώ στην Ανατολική Ελλάδα από αργίλους και εβαπορίτες του Μεσσηνίου και του ανωτέρου Μειοκαίνου (κοιτάσματα Πρίνου, Βόρειου Πρίνου, Έψιλον). Τέλος, οι ταμιευτήρες τόσο στην Ανατολική όσο και στη Δυτική Ελλάδα αποτελούνται είτε από ασβεστόλιθους με φτωχό γενικά πορώδες, που βελτιώνεται

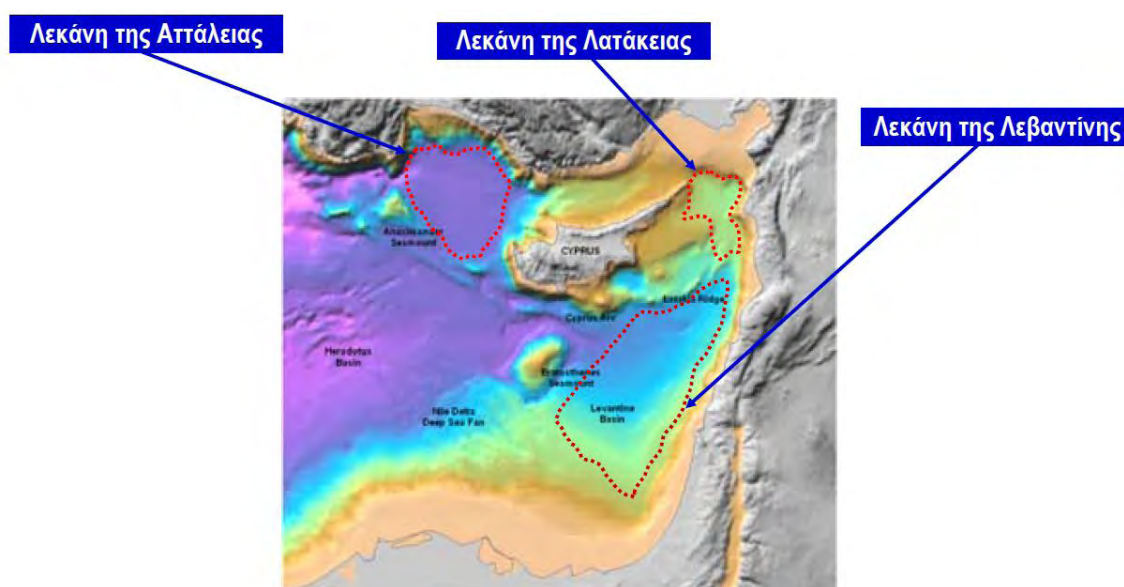
από την παρουσία μικρορωγμών, είτε από ψαμμίτες με καλό πορώδες (Ζαφειρόπουλος, 2012).

Αναφορικά με την γεωλογία της λεκάνης της Λεβαντίνης, η οποία μελετήθηκε συστηματικά την τελευταία δεκαετία από την Αίγυπτο, το Ισραήλ και την Κύπρο, έχει αποδειχθεί ότι περιέχει εκτενή υποθαλάσσια κοιτάσματα (Σταμπολής, 2016). Μάλιστα, η ευρύτερη περιοχή της Κύπρου θα μπορούσε να χωριστεί σε τρεις ζώνες (εικόνα 106). Στην πρώτη ζώνη, στην οποία δεν υπάρχει καμία ένδειξη ύπαρξης κοιτασμάτων υδρογονανθράκων, κυριαρχεί το Οφιολιθικό σύμπλεγμα του Τροόδους και η έντονα θρυμματισμένη ζώνη της οροσειράς του Πενταδάκτυλου. Στη δεύτερη ζώνη, που εκτείνεται στις υπόλοιπες χερσαίες περιοχές του νησιού, καθώς και στη θαλάσσια περιοχή μέχρι το βάθος νερού των 200 m, υπάρχει μια σχετικά μικρή πιθανότητα ύπαρξης κοιτασμάτων υδρογονανθράκων. Ενώ στην τρίτη ζώνη, που εκτείνεται στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα και σε βάθη θάλασσας μεγαλύτερα των 200 m, έχει επικεντρωθεί το διεθνές ερευνητικό ενδιαφέρον εντοπισμού σημαντικών κοιτασμάτων υδρογονανθράκων. Το ενδιαφέρον αυτό αυξήθηκε από το 1995 και μετά, όταν εντοπίστηκαν οι πρώτες μεγάλες ποσότητες φυσικού αερίου στη θαλάσσια περιοχή της Αιγύπτου (στο αλλουβιακό ριπίδιο του Νείλου).



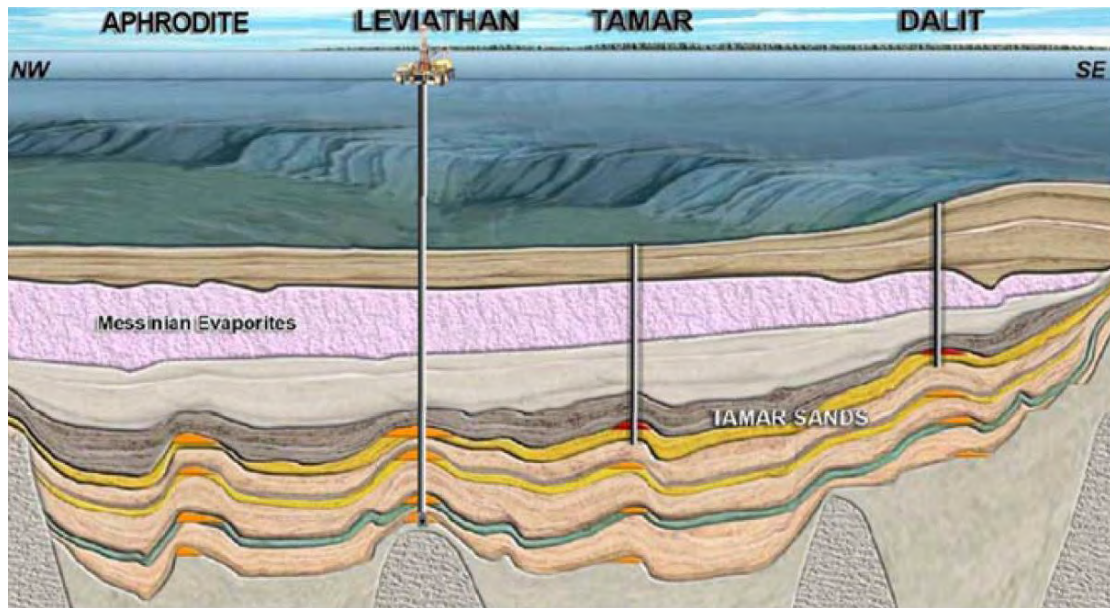
**Εικόνα 106:** Οι τρεις ζώνες της περιοχής της Κύπρου.  
(Πηγή: Κασίνης, 2011)

Οι έρευνες στην τρίτη ζώνη κατέληξαν στο συμπέρασμα πως στην περιοχή αυτή υπάρχουν τρεις επιμέρους γεωλογικές λεκάνες αυξημένου πάχους ιζημάτων με τεκτονικά πολλά υποσχόμενες δομές (εικόνα 107). Η λεκάνη της Λεβαντίνης, ανατολικά, η λεκάνη της Λατάκειας, βορειοανατολικά και η λεκάνη της Αττάλειας, βορειοδυτικά (Μιχαηλίδης, 2014).



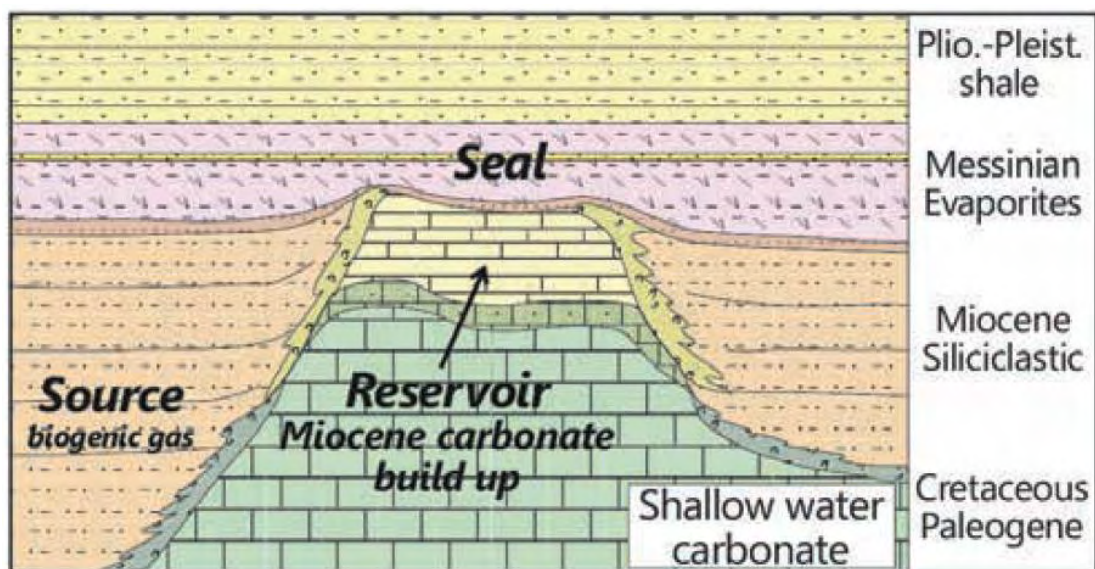
**Εικόνα 107:** Οι τρεις επιμέρους γεωλογικές λεκάνες με τεκτονικά πολλά υποσχόμενες δομές. (Πηγή: Κασίνης, 2011)

Οι κυριότερες ανακαλύψεις κοιτασμάτων φυσικού αερίου στην λεκάνη της Λεβαντίνης είναι το Αφροδίτη (Κύπρος), το Λεβιάθαν (Ισραήλ), το Ταμάρ (Ισραήλ) και το Νταλίτ (Ισραήλ). Το σύνολο των κοιτασμάτων αυτών χρησιμοποιεί ως κάλυμμα (cap rock) τους εβαπορίτες του Μεσσηνίου (εικόνα 108).



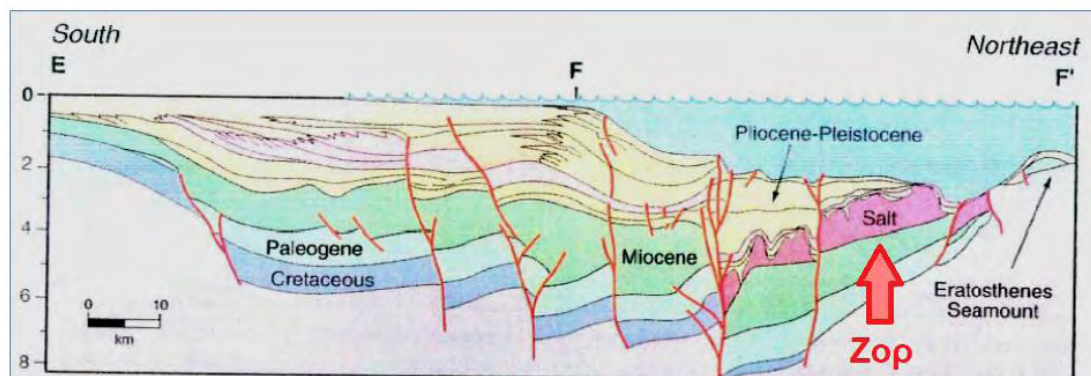
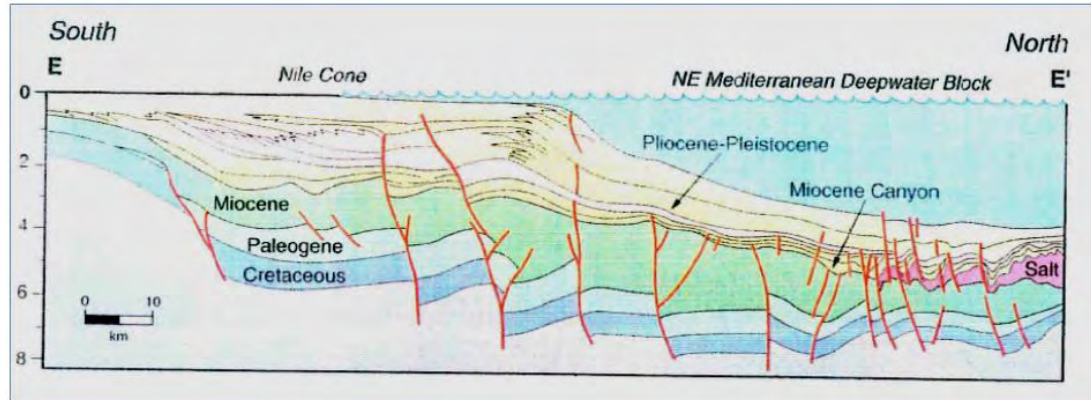
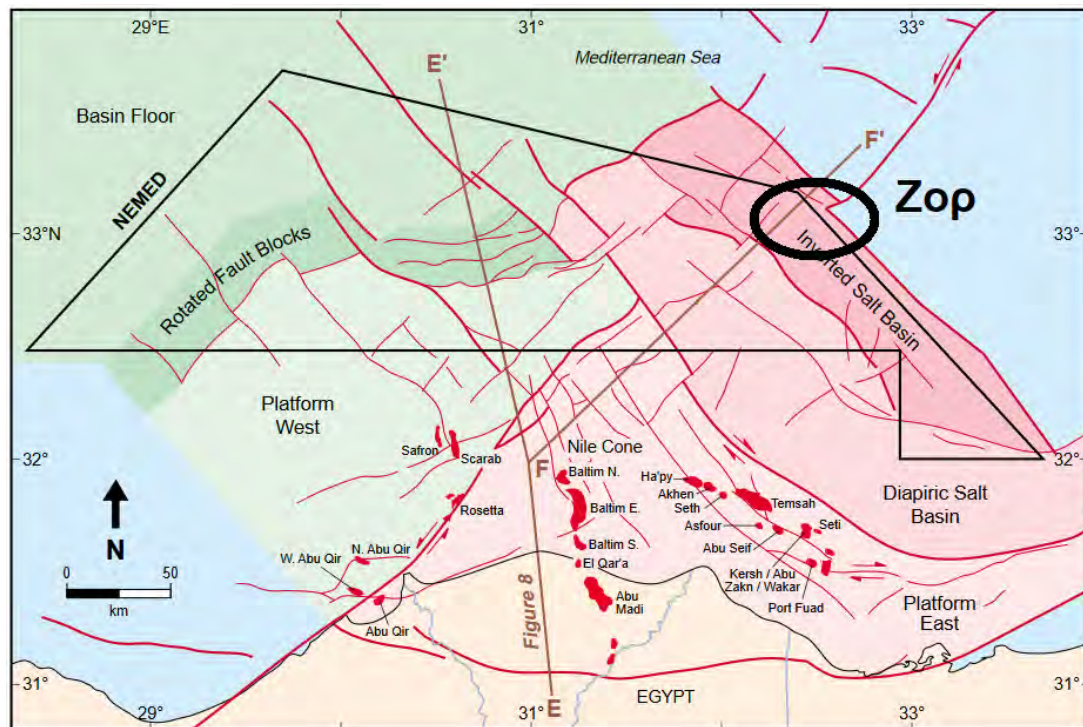
**Εικόνα 108:** Γεωλογική τομή με τις σημαντικότερες ανακαλύψεις στην λεκάνη της Λεβαντίνης (Πηγή: Κασίνης, 2011).

Νοτιοδυτικά του κυπριακού κοιτάσματος Αφροδίτη βρίσκεται το αιγυπτιακό κοιτάσμα Ζορ, το μεγαλύτερο βεβαιωμένο κοιτάσμα φυσικού αερίου της Ανατολική Μεσογείου. Το κάλυμμα του κοιτάσματος είναι οι εβαπορίτες του Μεσσηνίου, όπως και στα υπόλοιπα κοιτάσματα φυσικού αερίου της ευρύτερης περιοχής, και ο ταμιευτήρας αποτελείται από ανθρακικά άλατα του Μειόκαινου (εικόνα 109).



**Εικόνα 109:** Η γεωλογία του Αιγυπτιακού κοιτάσματος Ζορ σύμφωνα με την ENI (Πηγή: Eestimate et al., 2016).

Το κοίτασμα Zop βρίσκεται νοτιοδυτικά του υποθαλάσσιου βουνού «Ερατοσθένης» και βόρεια της περιοχής του κώνου του Νείλου (εικόνα 110).



**Εικόνα 110:** Γεωλογική τομή που διέρχεται από το κοίτασμα Zop. (Πηγή: Abdel Aal et al., 2001) Ίδια επεξεργασία

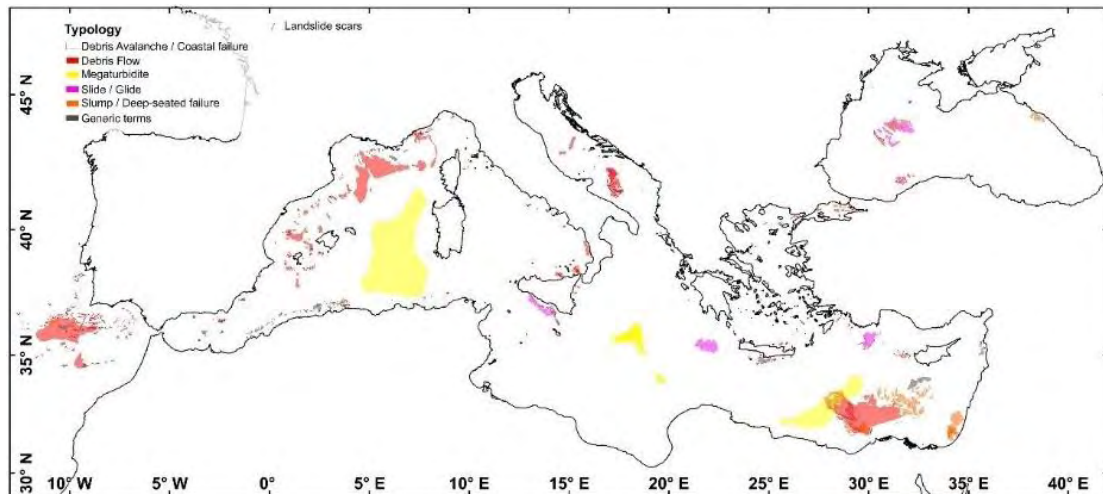
Τέλος, η λεκάνη νότια της Κρήτης, σύμφωνα με την PGS, είναι γεωλογικά παρεμφερής με τη λεκάνη της Λεβαντίνης. Η ύπαρξη ηφαιστειών ιλύος νότια της Κρήτης δείχνει ότι αυτά ιστορικά διαδραμάτισαν ένα ρόλο κλειδί ως πηγές τροφοδοσίας των εξαιρετικά πιθανών, σύμφωνα με τις σεισμικές έρευνες της εταιρείας, κοιτασμάτων υδρογονανθράκων της περιοχής. Ειδικότερα, στο ελληνικό τμήμα της λεκάνης του Ηροδότου, σύμφωνα με εκτιμήσεις της γαλλικής επιστημονικής ομάδας BEICIP/FANLAB ενδέχεται να βρίσκονται 3 τρις. m<sup>3</sup> φυσικού αερίου, καθώς η γεωλογία είναι παρόμοια με περιοχές, στις οποίες έχουν εντοπιστεί υδρογονάνθρακες και διαθέτουν ιζήματα που είναι της ίδιας προέλευσης (Ηρακλέους, 2018)

### **4.3 Γεωκίνδυνοι στην ευρύτερη περιοχή της Νοτιοανατολικής Μεσογείου**

Η Μεσόγειος Θάλασσα στο σύνολό της χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα μεγάλη ποικιλομορφία τεκτονικών συνθηκών, που οδηγούν σε πολύπλοκες γεωλογικές και γεωφυσικές διεργασίες. Κατά συνέπεια, οι ακτογραμμές της Μεσογείου και κατ' επέκταση οι πληθυσμοί που ζουν σε αυτές εκτίθενται σε υψηλό κίνδυνο εξαιτίας της ενδεχόμενης εκδήλωσης δεκάδων υποθαλάσσιων γεωκινδύνων. Οι κύριοι υποθαλάσσιοι γεωκίνδυνοι στην Μεσόγειο σχετίζονται με σεισμούς, εκρήξεις ηφαιστειών, υποθαλάσσιες κατολισθήσεις, ηφαίστεια ιλύος, διαφυγές φυσικού αερίου και υδρίτες αερίων (Χαβέλας, 2016)

#### **4.3.1 Υποθαλάσσιες κατολισθήσεις**

Στην εικόνα 111 παρουσιάζονται οι κύριες υποθαλάσσιες κατολισθήσεις που έχουν λάβει χώρα στη Μεσόγειο θάλασσα. Παρατηρείται ότι στη θαλάσσια περιοχή της νοτιοανατολικής Μεσογείου, όπου έχουν ανακαλυφθεί τα μεγαλύτερα και σημαντικότερα κοιτάσματα φυσικού αερίου έχουν εκδηλωθεί στο παρελθόν εκτεταμένες υποθαλάσσιες κατολισθήσεις και τουρβιδιτικά ρεύματα, που είναι δυνατό να προκαλέσουν καταστροφές στις ήδη υπάρχουσες εξέδρες εξόρυξης υδρογονανθράκων, αλλά και στις μελλοντικές εξέδρες που θα εγκατασταθούν εκεί.



**Εικόνα 111:** Κύριες υποθαλάσσιες κατολισθήσεις που έχουν συμβεί στη Μεσόγειο

Debris Avalanche = χιονοστιβάδα κορημάτων, Debris Flow = ροή κορημάτων, Megaturbidite = μέγα-τουρβιδίτες, Slide / Glide = κατολίσθηση, Slump / Deep-seated failure = καθίζηση, Generic terms = γενικοί όροι.

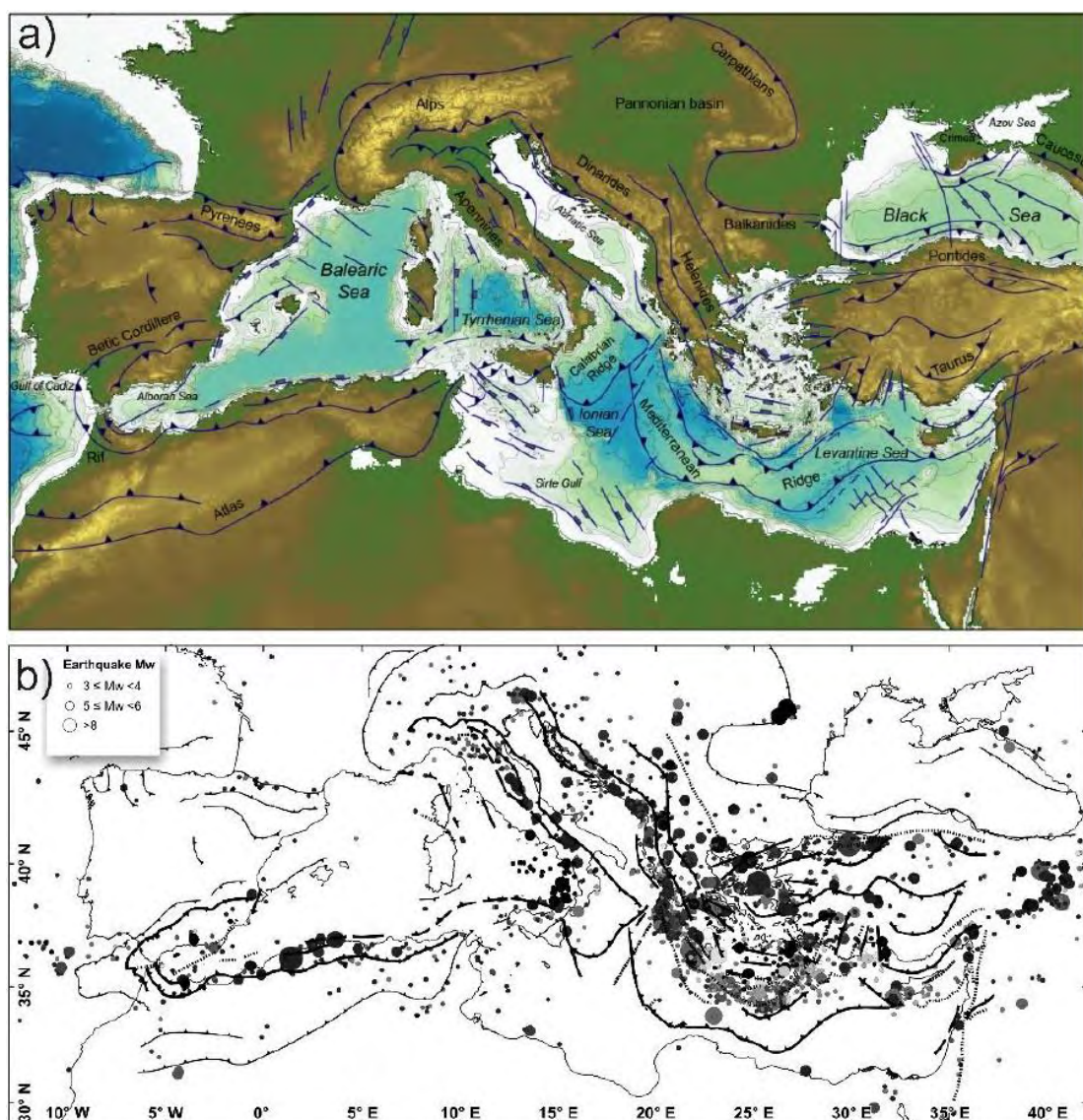
(Πηγή: Urgeles & Camerlenghi, 2013)

Οι κλιματικές αλλαγές και οι διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας που αυτές συνεπάγονται είναι δυνατό να επηρεάσουν την αντοχή και τη θερμοκρασία των ιζημάτων του πυθμένα της Ανατολικής Μεσογείου. Η μεταβολή της αντοχής και της θερμοκρασίας των ιζημάτων του θαλάσσιου πυθμένα μειώνει την ευστάθεια των υποθαλάσσιων πρηνών, ιδιαίτερα όταν τα ιζήματα αυτά φέρουν αέρια και υδρίτες αλάτων. Εντούτοις, υποθαλάσσιες κατολισθήσεις στην Ανατολική Μεσόγειο έχουν εκδηλωθεί και εξαιτίας εκρήξεων ηφαιστειών (Θήρα, 1600 π.Χ.) και σεισμών (Αμοργός, 1956).

Αξίζει να σημειωθεί πως η μορφολογία του θαλάσσιου πυθμένα της Μεσογείου μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την εκδήλωση γεωκινδύνων. Χαρακτηριστικά, στην περιοχή ανατολικά της Σικελίας έχουν εντοπιστεί υποθαλάσσια φαράγγια, τα οποία λειτουργούν σαν μονοπάτια που συνδέουν τα παράκτια ύδατα με τις βαθιές λεκάνες, μέσω της αλληλεπίδρασης με τις ακτογραμμές. Αυτές οι διεργασίες προκαλούν ανακατανομή των ιζημάτων και είναι δυνατό να αποτελέσουν σημαντικό γεωκίνδυνο για την ευρύτερη περιοχή και τις παράκτιες υποδομές της (Χαβέλας, 2016).

### 4.3.2 Σεισμοί

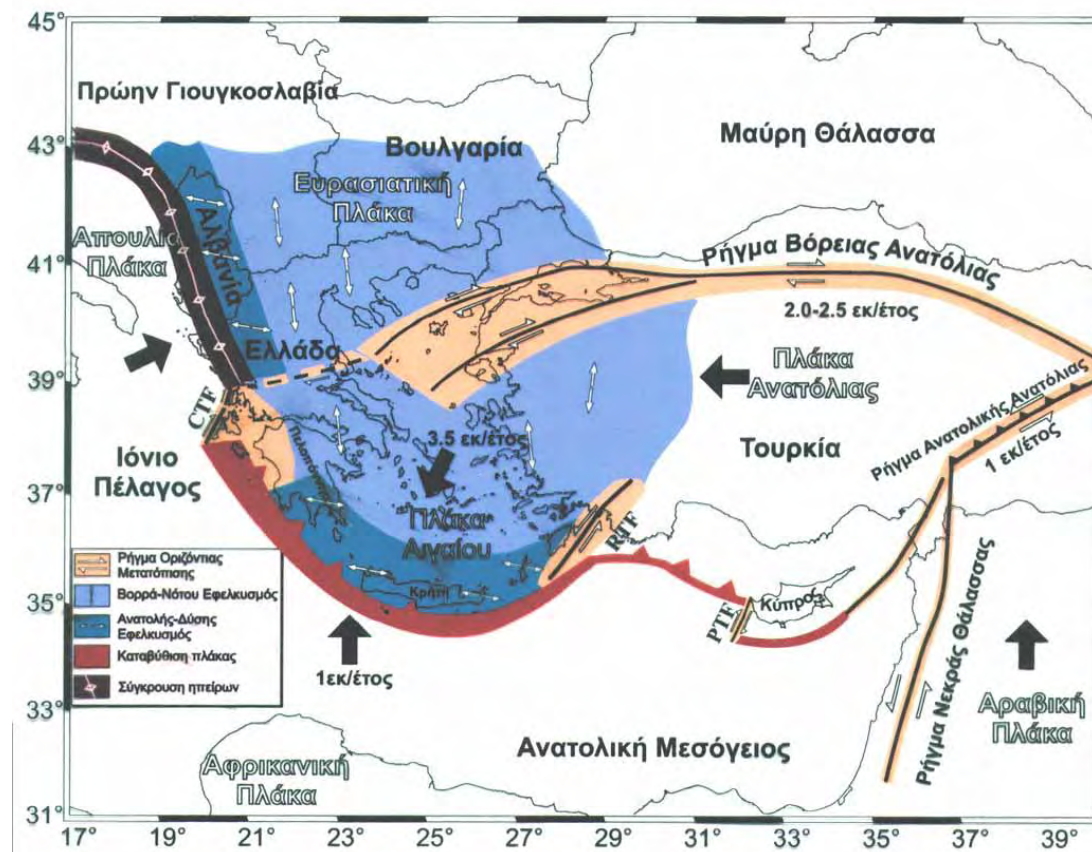
Η λεκάνη της Ανατολικής Μεσογείου, και ειδικότερα το τμήμα της λεκάνης δυτικά της Κύπρου και νότια της Τουρκίας, αποτελεί μια από τις πιο ενεργές τεκτονικά περιοχές του πλανήτη (Ηρακλέους, 2018). Κατά συνέπεια, όπως φαίνεται στην εικόνα 112, η σεισμική δραστηριότητα στην Ανατολική Μεσόγειο είναι πολύ υψηλή, εξαιτίας των ενεργών γεωδυναμικών μεταβολών (Τριανταφύλλου, 2016).



**Εικόνα 112:** Κύριες τεκτονικές ζώνες (a) και σεισμικότητα (b) στην περιοχή της Μεσογείου (Πηγή: Papadopoulos et al., 2014, τροποποιημένη από Cavazza et al., 2004; Billi et al., 2010)



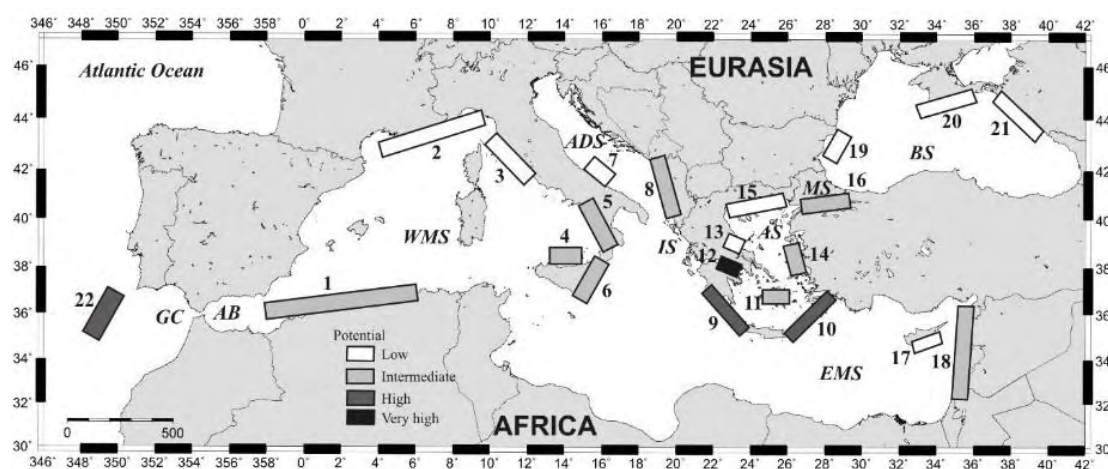
Η ενεργός τεκτονική της Ανατολικής Μεσογείου είναι κατά βάση το αποτέλεσμα της σύγκλισης της Αφρικανικής και της Ευρασιατικής λιθосφαιρικής πλάκας (Argus et al., 1989; DeMets et al., 2010). Ειδικότερα η υποβύθιση του ωκεάνιου φλοιού, πάχους 10 km, και η σύγκρουση των πλακών λαμβάνει χώρα κατά μήκος των ενεργών ορογενετικών ζωνών που σχηματίζουν το Ελληνικό και το Κυπριακό τόξο. Εντούτοις, η ενεργός τεκτονική της Ανατολικής Μεσογείου είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη, καθώς εκτός της σύγκλισης των δυο λιθосφαιρικών πλακών, λαμβάνει χώρα μια συνεχής μετακίνηση κατά μήκος ρηγμάτων μετασχηματισμού είτε στα όρια γειτονικών πλακών (π.χ. Αραβική πλάκα), είτε στα όρια μικρότερων λιθосφαιρικών τεμαχίων (π.χ. μικρο-πλάκα Ανατολίας), (Mascle and Mascle, 2012). Στην Εικόνα 113 παρουσιάζεται ο ενεργός γεωδυναμικός χάρτης της Ανατολικής Μεσογείου. Στον χάρτη φαίνονται οι κινήσεις των πλακών και ο σχηματισμός του Ελληνικού και του Κυπριακού τόξου.



**Εικόνα 113:** Ενεργός γεωδυναμικός χάρτης Ανατολικής Μεσογείου κατά Παπαζάχος 2001 (Πηγή: Μουντράκης, 2001)

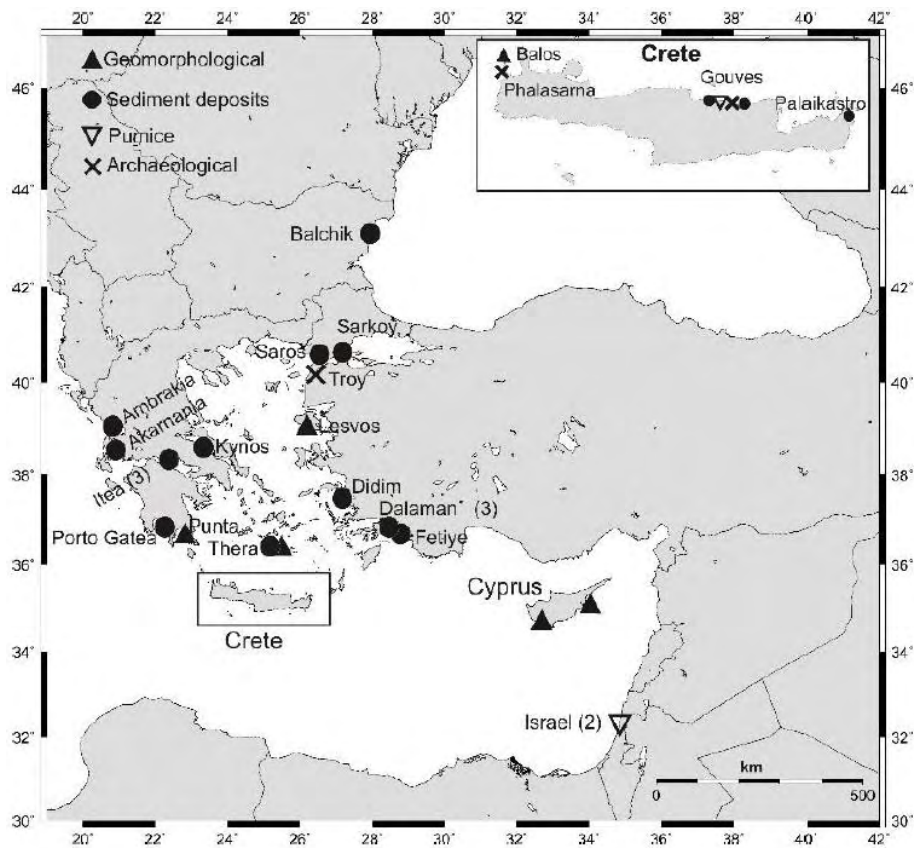
### 4.3.3 Τσουνάμι

Τα τσουνάμι οφείλονται κυρίως σε σεισμούς, εκρήξεις ηφαιστειών και υποθαλάσσιες κατολισθήσεις (Χαβέλας, 2016) και συνιστούν έναν ιδιαίτερα σημαντικό κίνδυνο (CIESM, 2011) για τις παράκτιες πόλεις της νοτιοανατολικής Μεσογείου (εικόνα 114). Η ύπαρξη πολλών τσουνάμι στην ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου είναι πιστοποιημένη από ιστορικές πηγές, γεωλογικά στοιχεία (π.χ. αποθέσεις ιζημάτων από παλαιοτσουνάμι), αρχαιολογικά ευρήματα και παλιρροιογραφήματα (Τριανταφύλλου, 2016).



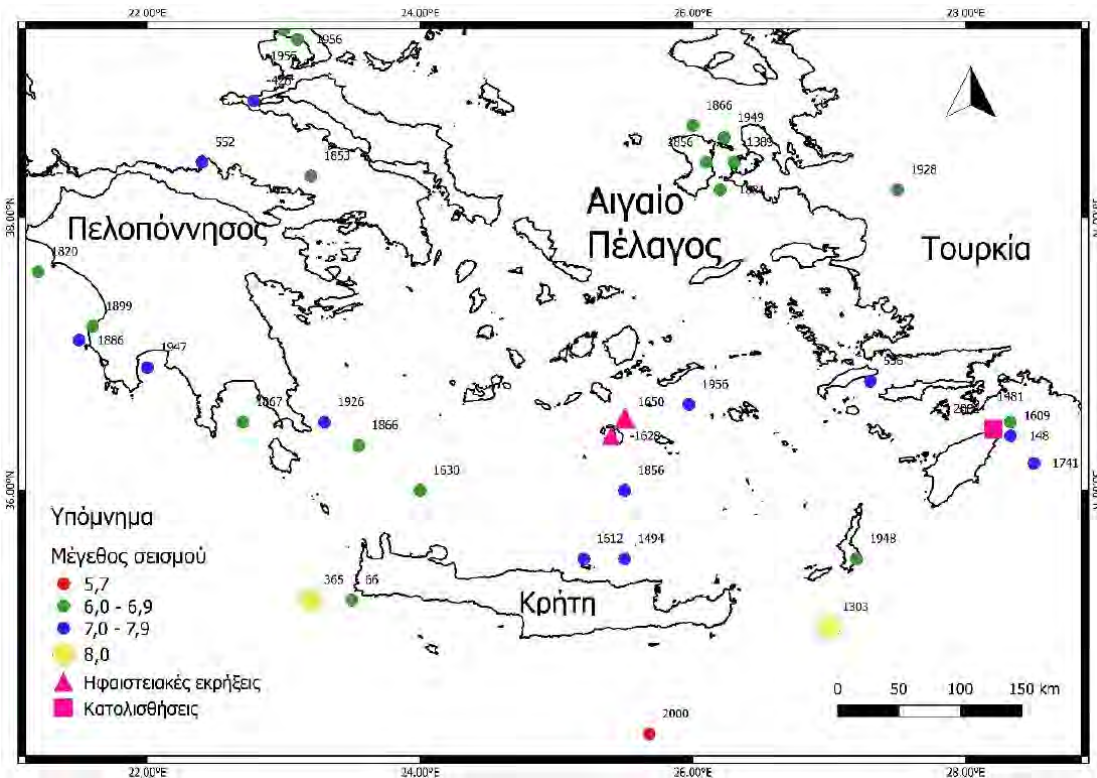
**Εικόνα 114:** Οι περιοχές όπου γεννιούνται τα τσουνάμι της Μεσογείου Θάλασσας και η πιθανότητα δημιουργίας τους (Πηγή: Papadopoulos et al., 2014).

Ειδικότερα, όπως φαίνεται στην εικόνα 115, ιζήματα από παλαιά τσουνάμι έχουν εντοπιστεί κατά μήκος των ακτών της Ελλάδας, της δυτικής Ανατολίας και του Μαρμαρά, υποδεικνύοντας ότι οι περιοχές αυτές έχουν επανειλημμένα ταλαιπωρηθεί από ισχυρά τσουνάμι με πολυάριθμες ανθρώπινες απώλειες και υλικοτεχνικές καταστροφές (Χαβέλας, 2016).

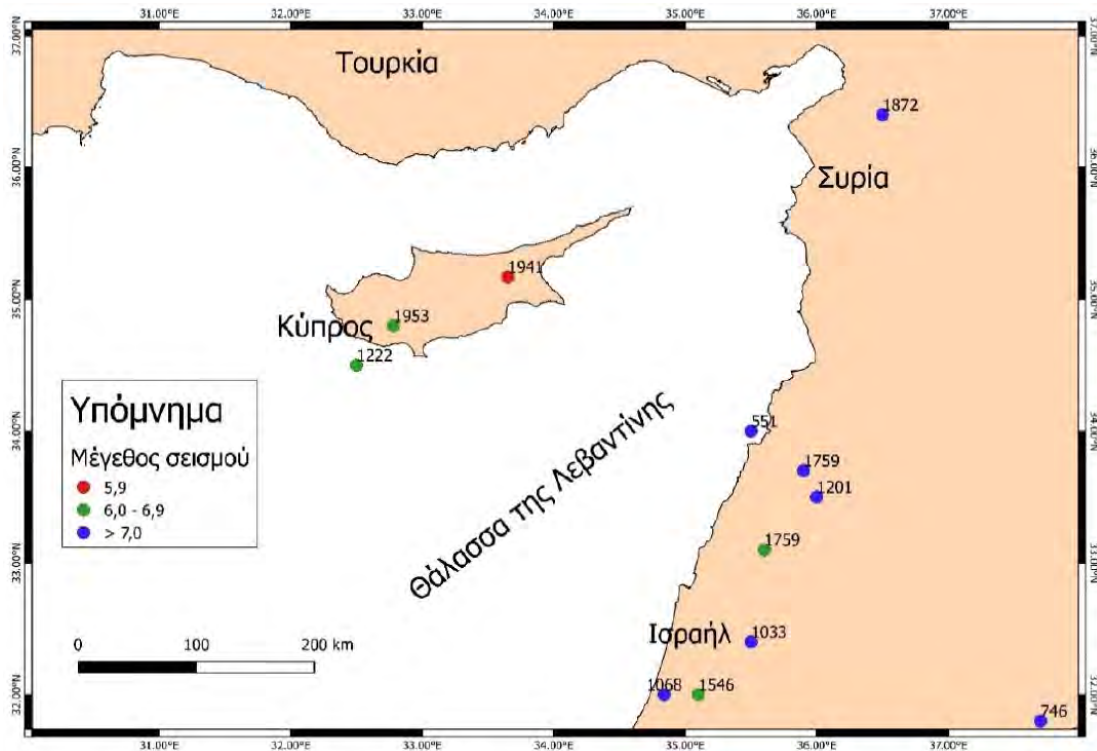


**Εικόνα 115:** Οι τοποθεσίες όπου εντοπίστηκαν γεωλογικές και αρχαιολογικές μαρτυρίες για παρουσία παλαιοτσουνάμι στην Ανατολική Μεσόγειο (Πηγή: Papadopoulos et al., 2014).

Στο σύνολο της Μεσογείου έχουν καταγραφεί περίπου εκατό τσουνάμι, ξεκινώντας από την έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης, τη μινωική περίοδο, και φτάνοντας στο σεισμό του 1999 στη Θάλασσα του Μαρμαρά (Χαβέλας, 2016). Εντούτοις, μόνο μια μικρή μειοψηφία των τσουνάμι αυτών διαδόθηκαν σε μεγάλο μέρος της Μεσογείου, καθώς τα περισσότερα χαρακτηρίζονται ως περιφερειακά ή μόνο τοπικά (Τριανταφύλλου, 2016). Στις εικόνες 116 και 117 παρουσιάζονται τα επίκεντρα σεισμών που έχουν προκαλέσει τσουνάμι στην Ελλάδα και την Κύπρο αντίστοιχα.

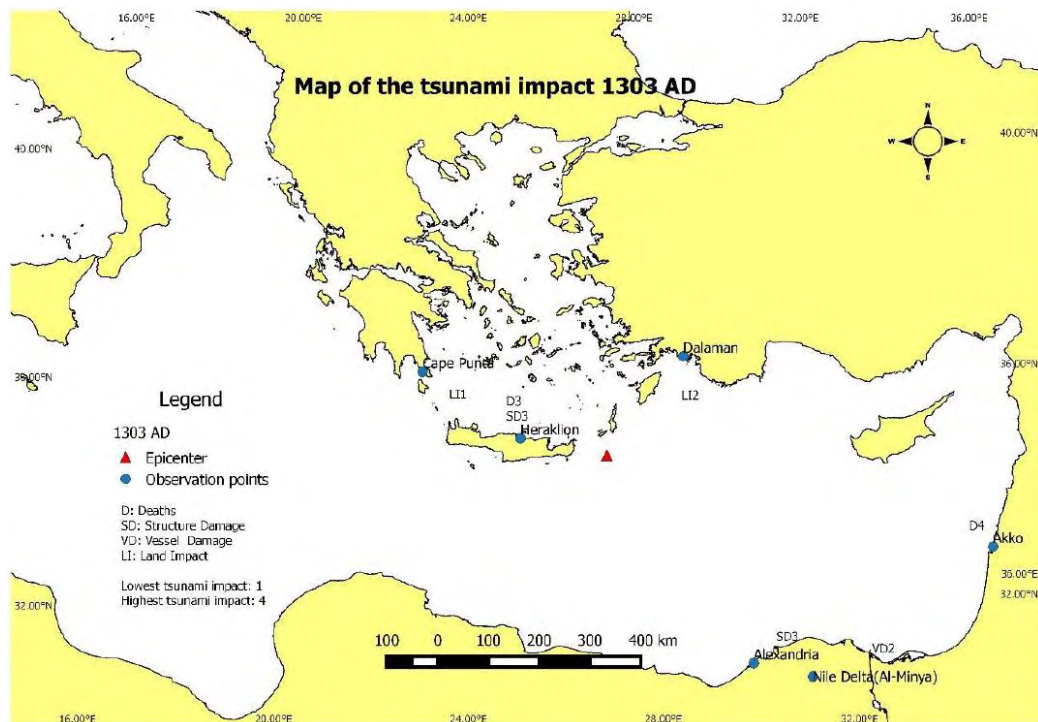


**Εικόνα 116:** Τα επίκεντρα των σεισμικών διεγέρσεων και η τοποθεσία των ηφαιστειακών εκρήξεων και υποθαλάσσιων κατολισθήσεων που δημιούργησαν τσουνάμι στην Ελλάδα. (Πηγή: Τριανταφύλλου, 2016)



**Εικόνα 117:** Τα επίκεντρα των σεισμικών διεγέρσεων που δημιούργησαν τσουνάμι στην περιοχή της Κύπρου και της θάλασσας της Λεβαντίνης. (Πηγή: Τριανταφύλλου, 2016)

Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του σεισμού του 1303 (εικόνα 118). Η σεισμική αυτή διέγερση ήταν μια από τις μεγαλύτερες που έχουν λάβει χώρα στη Μεσόγειο θάλασσα μέχρι και σήμερα (μεγέθους περίπου 8 ρίχτερ). Έλαβε χώρα στο ανατολικό τμήμα του Ελληνικού Τόξου και έπληξε κατά βάση τις ακτές της ανατολικής Κρήτης και τη Ρόδο. Εξαιτίας του σεισμού σχηματίστηκε ισχυρό τσουνάμι (Guidoboni & Comastri, 1997), που προκάλεσε σημαντικές καταστροφές στην Αλεξάνδρεια και στις παράκτιες περιοχές του Ηρακλείου Κρήτης, όπου εκτός των υλικών καταστροφών υπήρξαν και πολλές ανθρώπινες απώλειες. Εντυπωσιακό είναι το γεγονός πως στις παράκτιες περιοχές της νότιας Πελοποννήσου οι Scheffers et al. (2008) εντόπισαν 61 ογκόλιθους που περιείχαν θαλάσσιους οργανισμούς και ενδέχεται να μεταφέρθηκαν εκεί εξαιτίας του συγκεκριμένου τσουνάμι, καθώς η ηλικία τους, που προσδιορίστηκε μέσω της μεθόδου AMS 14C, ταυτίστηκε με την χρονική στιγμή του σεισμού (Τριανταφύλλου, 2016).



**Εικόνα 118:** Οι επιπτώσεις του τσουνάμι του 1303 μ.Χ. στην Ανατολική Μεσόγειο. (Πηγή: Τριανταφύλλου, 2016).

Στις μέρες μας η εκδήλωση τσουνάμι στη Νοτιοανατολική Μεσόγειο θα είχε σοβαρές επιπτώσεις στις υπεράκτιες υποδομές όπως λιμάνια, γέφυρες, υποθαλάσσιους αγωγούς, υποθαλάσσια καλώδια ρεύματος και τηλεπικοινωνιών και υπεράκτιες πλατφόρμες εξόρυξης υδρογονανθράκων (Χαβέλας, 2016).

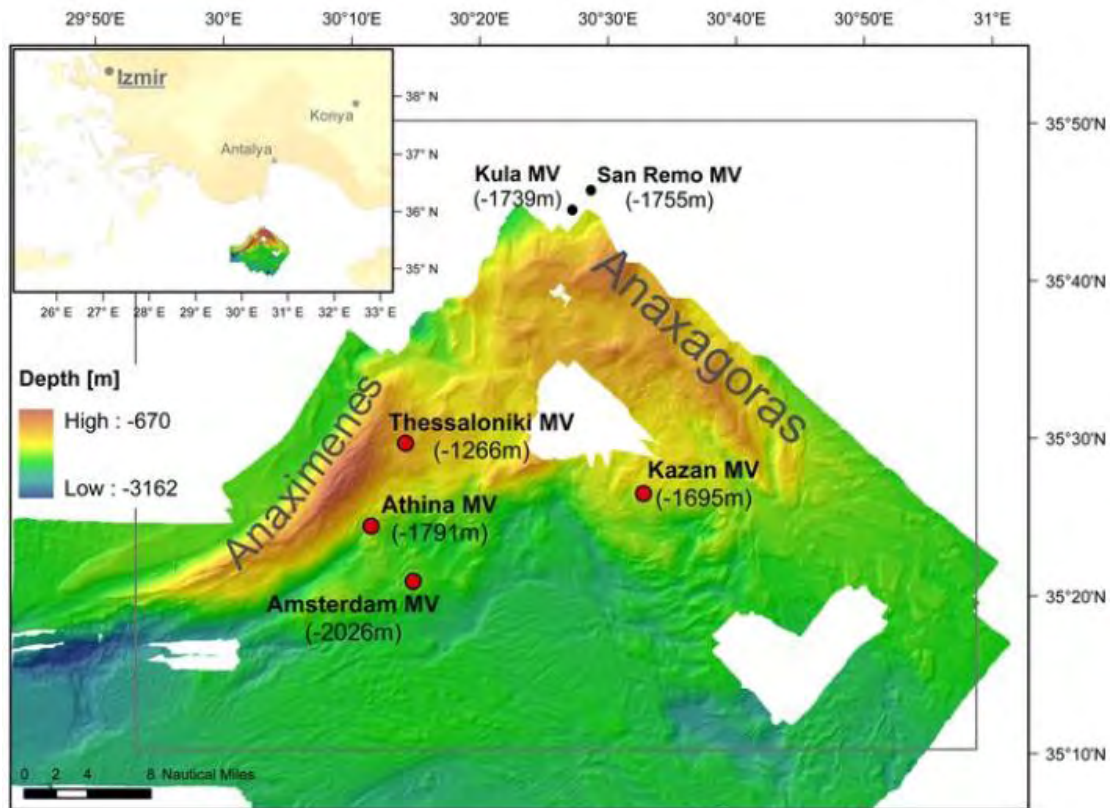
#### 4.3.4 Υδρίτες αερίων

Οι υδρίτες αερίου, και ειδικότερα μεθανίου, συνιστούν μία από τις δυνητικά πιο πολλά υποσχόμενες ενεργειακές πηγές του 21ου αιώνα, καθώς τα παγκόσμια αποθέματα υδριτών είναι τουλάχιστον εκατό φορές μεγαλύτερα από τα μέχρι σήμερα γνωστά παγκόσμια αποθέματα φυσικού αερίου. Το επιστημονικό ενδιαφέρον σχετικά με τους υδρίτες σχετίζεται κυρίως με την πρόκληση υποθαλάσσιων κατολισθήσεων εξαιτίας της διάσπασής τους, καθώς επίσης και με την χρήση τους ως καύσιμη ύλη, λόγω των τεράστιων αποθεμάτων τους (Ηρακλέους, 2018).

Η Μεσόγειος Θάλασσα διαθέτει μια ευρεία κατανομή υδριτών που αναπτύσσονται κάτω από τις βαθιές λεκάνες της. Στρώματα άλατος των λεκανών αυτών λειτουργούν σαν κάλυμμα φυσικού αερίου και άλλων ρευστών του πυθμένα. Βάσει, λοιπόν, του γεωλογικού και γεωτεχνικού χαρακτηρισμού των επιφανειακών ιζημάτων του θαλάσσιου πυθμένα, της βαθυμετρικής χαρτογράφησης και της σεισμολογικής ανάλυσης (Χαβέλας, 2016), οι ερευνητές έχουν εκτιμήσει πως η επιφάνεια που καταλαμβάνουν οι υδρίτες αερίων στην Ανατολική Μεσόγειο είναι περίπου 30.000 km<sup>2</sup>, με εκτιμώμενο όγκο που κυμαίνεται μεταξύ 61 km<sup>3</sup> και 490 km<sup>3</sup> (Merey & Longinos, 2018).

Ειδικότερα, στη θαλάσσια περιοχή νότια της Κρήτης έχει εντοπιστεί η μεγαλύτερη ποσότητα υδριτών αερίων, καθώς εκτιμάται πως προσεγγίζει τα 200 kg υδριτών ανά m<sup>2</sup> επιφάνειας πυθμένα (Merey & Longinos, 2018). Χαρακτηριστικά, ανάλυση δειγμάτων ιζημάτων που συλλέχθηκαν από το υποθαλάσσιο ηφαίστειο ιλύος “Milano” (περιοχή “Olimpi”), που βρίσκεται νότια της Κρήτης και ανήκει στο Μεσογειακό ηφαιστειακό τόξο, δείχνουν τοπικά έντονη παρουσία υδριτών αερίων σε βάθη από 1 m έως 40 m κάτω από την επιφάνεια του θαλάσσιου πυθμένα (Minshall et al., 2019).

Επιπρόσθετα, στα υποθαλάσσια όρη του Αναξίμανδρου νοτιοανατολικά της Ρόδου (Περισοράτης, 2003) και σε πολύ μικρή απόσταση από το ενεργό ηφαίστειο ιλύος «Θεσσαλονίκη» (Merey & Longinos, 2018), ανακαλύφθηκαν υδρίτες αερίων, που σχηματίστηκαν κυρίως στην επιφάνεια του θαλάσσιου πυθμένα (Περισοράτης, 2003). Το ηφαίστειο ιλύος «Θεσσαλονίκη», που περιέχει ποσότητες υδριτών αερίων, έχει περίμετρο 1.315 m και καταλαμβάνει έκταση 1,67 km<sup>2</sup> σε βάθος θάλασσας 1.266 m από την κορυφή του κρατήρα του (Merey & Longinos, 2018), (εικόνα 119).

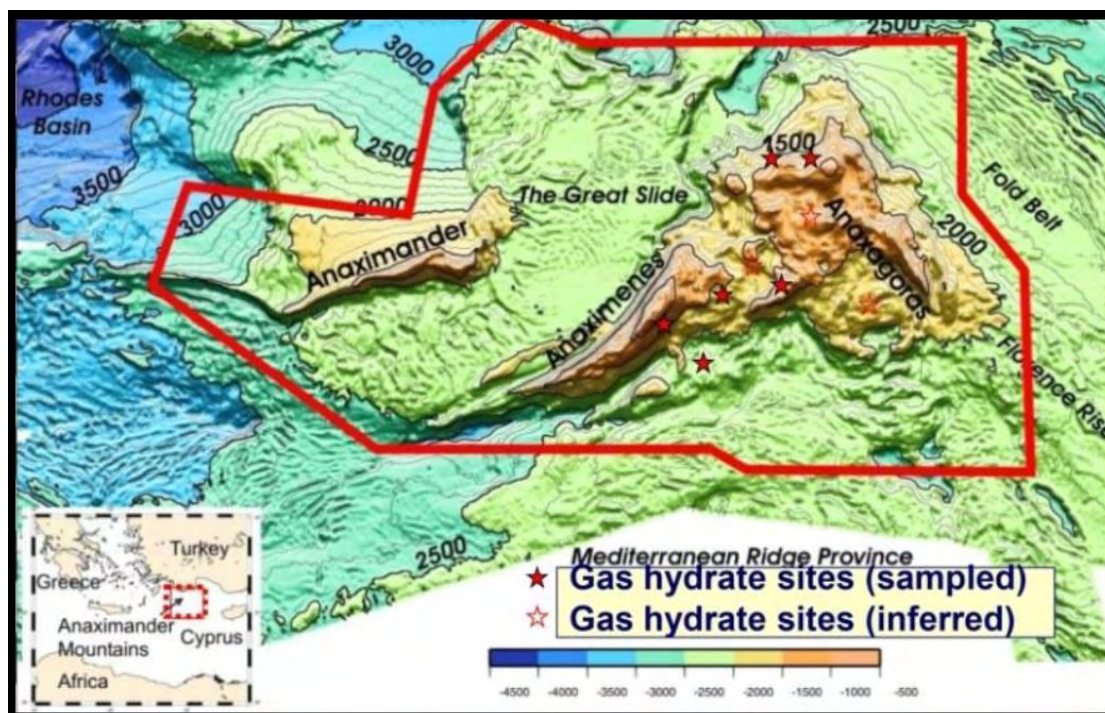


**Εικόνα 119:** Τα υποθαλάσσια όρη του Αναξίμανδρου και η θέση του ηφαιστείου ύλος Θεσσαλονίκη σε βάθος θάλασσας 1.266 m. (Πηγή: Bohrmann, 2013)

Τον Μάιο του 2003, στα πλαίσια του προγράμματος Anaximander<sup>41</sup>, το ωκεανογραφικό σκάφος «Αιγαίο» ξεκίνησε τις έρευνες του στη θαλάσσια περιοχή των όρων του Αναξίμανδρου, συλλέγοντας δείγματα υδριτών. Τα πρώτα αποτελέσματα της ανάλυσης των δειγμάτων που συλλέχτηκαν από την περιοχή έδειξαν ότι η κατανομή υδριτών αερίων στο θαλάσσιο πυθμένα είναι αρκετά ευρύτερη από ότι ήταν γνωστό μέχρι τότε<sup>42</sup> (Περισοράτης, 2003), (εικόνα 120). Οι υδρίτες αερίων που εντοπίστηκαν (κυρίως μεθάνιο) είναι εξαιρετικά ασταθείς και έτσι πολύ μικρές μεταβολές της υδροστατικής πίεσης και της θερμοκρασίας του θαλασσινού νερού μπορούν να προκαλέσουν διάσπαση των υδριτών που βρίσκονται σε μικρό βάθος κάτω από τον πυθμένα, απελευθερώνοντας αέρια στη θάλασσα (Merey & Longinos, 2018).

<sup>41</sup> Χρηματοδοτούμενο από την Ε.Ε. (Ευρωπαϊκή Ένωση) και με συντονιστή το ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών).

<sup>42</sup> Αξίζει να σημειωθεί πως οι ποσότητες υδριτών που εντοπίστηκαν στα όρη του Αναξίμανδρου θεωρήθηκε ότι με τα τότε δεδομένα (2003) δεν καθιστούσαν πιθανή την μελλοντική εκμετάλλευσή τους (Περισοράτης, 2003).



**Εικόνα 120:** Βυθομετρικός χάρτης της θαλάσσιας περιοχής των όρων του Αναξίμανδρου που περιλαμβάνει τα 3 υποθαλάσσια όρη: Αναξίμανδρος στα Δυτικά, Αναξιμένης στα Νοτιοδυτικά και Αναξαγόρας στα Ανατολικά. Με κόκκινο αστεράκι τα σημεία στα οποία εξήχθη δείγμα που περιείχε υδρίτες αερίων και με λευκό αστεράκι σημεία στα οποία συμπεραίνεται πως υπάρχουν υδρίτες αερίων (χωρίς δειγματοληψία). (Πηγή: Lykousis et al., 2004)

Αναλυτικότερα, αναφορικά με το ηφαίστειο ιλύος «Θεσσαλονίκη», η μελέτη όλων των παραμέτρων (δείγματα, θερμοκρασία<sup>43</sup>, αλατότητα<sup>44</sup>, πίεση κ.τ.λ.) έδειξε πως είναι το ανώτερο όριο μιας ζώνης ασταθών και ιδιαίτερα επιρρεπών σε διάσπαση, υδριτών αερίων. Τα δείγματα που ελήφθησαν από το συγκεκριμένο ηφαίστειο ιλύος περιείχαν 57% ασβεσίτη, 12% χαλαζία, 5% μοντμοριλλονίτη, 8% καολινίτη, 3% δολομίτη και άλλα ορυκτά (εικόνα 121). Η σύσταση της ιλύος σε όλα τα δείγματα ήταν κυρίως άργιλοι με περιεκτικότητα σε άμμο 5% - 7%. Οι δειγματοληπτικές έρευνες στο ηφαίστειο ιλύος αυτό πιστοποίησαν την ύπαρξη υδριτών αερίων μέχρι και ένα βάθος 2,2 m κάτω από τον θαλάσσιο πυθμένα (Merrey & Longinos, 2018).

<sup>43</sup> Η θερμοκρασία του νερού στο επίπεδο της επιφάνειας του πυθμένα στην συγκεκριμένη περιοχή είναι περίπου 13,7°C (Merrey & Loginos, 2018).

<sup>44</sup> Η αλατότητα της Μεσογείου είναι περίπου 3,85% (Merrey & Loginos, 2018).



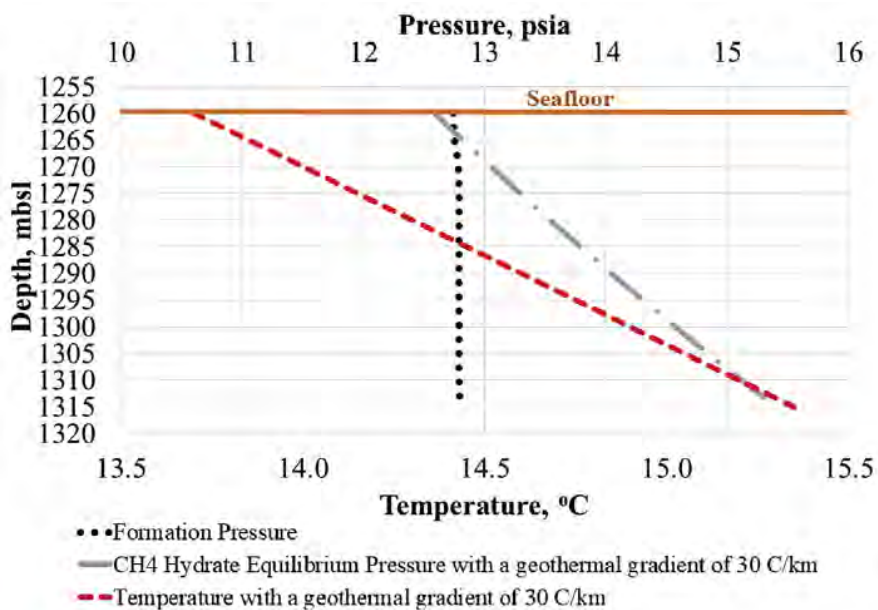


**Εικόνα 121:** Υδρίτης μεθανίου από το ηφαίστειο ιλύος «Θεσσαλονίκη».  
(Πηγή: Lykousis et al., 2004)

Όπως φαίνεται στην εικόνα 122, οι υδρίτες αερίων του ηφαιστείου ιλύος «Θεσσαλονίκη» δεν είναι σταθεροποιημένοι ακόμα και για τις υπάρχουσες συνθήκες, καθώς το ανώτερο όριο της ζώνης σταθεροποίησης των υδριτών αερίων (GHSZ – Gas hydrate stability zone) είναι 1263,5 mbsl<sup>45</sup> (ή 3.5 mbsf = meters below seafloor, δηλαδή μέτρα κάτω από την επιφάνεια του πυθμένα). Η καμπύλη των υδριτών αερίων (μεθάνιο) για το συγκεκριμένο ηφαίστειο ιλύος σχεδιάστηκε με χρήση του λογισμικού HEP (hydrate equilibrium software). Μεταβολές της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του πυθμένα εξαιτίας της υπερθέρμανσης του πλανήτη είναι δυνατό να προκαλέσουν περεταίρω αύξηση του βαθμού διάσπασης των υδριτών (Merey & Longinos, 2018).

---

<sup>45</sup> Meters below sea level (μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας).



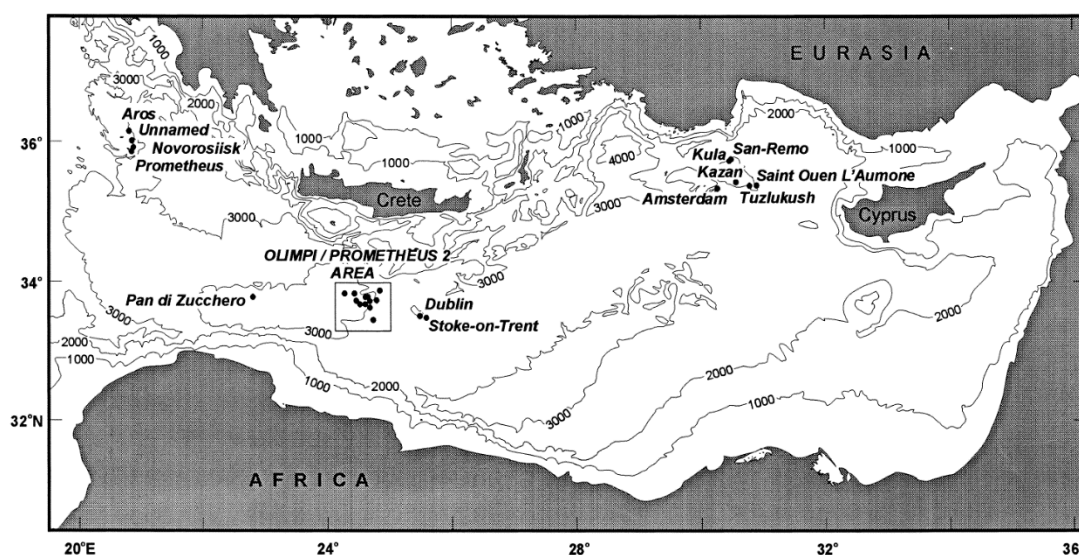
**Εικόνα 122:** Καμπύλη σταθεροποίησης υδριτών αερίων στο ηφαίστειο ιλύος «Θεσσαλονίκη» με χρήση του λογισμικού HEP (hydrate equilibrium software).  
(Πηγή: Marey & Longinos, 2018)

Στα ηφαίστεια ιλύος της περιοχής “Ολίμπι”, νότια της Κρήτης (π.χ. “Milano”), και της υποθαλάσσιας οροσειράς του Αναξίμανδρου (π.χ. «Θεσσαλονίκη») εμφανίζονται διαρροές αερίων, εξαιτίας της αποδεδειγμένης παρουσίας κρατήρων διαφυγής ρευστών (rockmarks), (Minshull et al., 2019). Μάλιστα τα αποθέματα σε μεθάνιο των ηφαιστειών ιλύος στα όρη του Αναξίμανδρου εκτιμώνται σε  $2,56 \text{ km}^3 - 6,40 \text{ km}^3$ , και τα ιζήματα κοντά στην επιφάνεια του πυθμένα είναι χαλαρά και έχουν υψηλό πορώδες (70%), (Merey & Longinos, 2018).

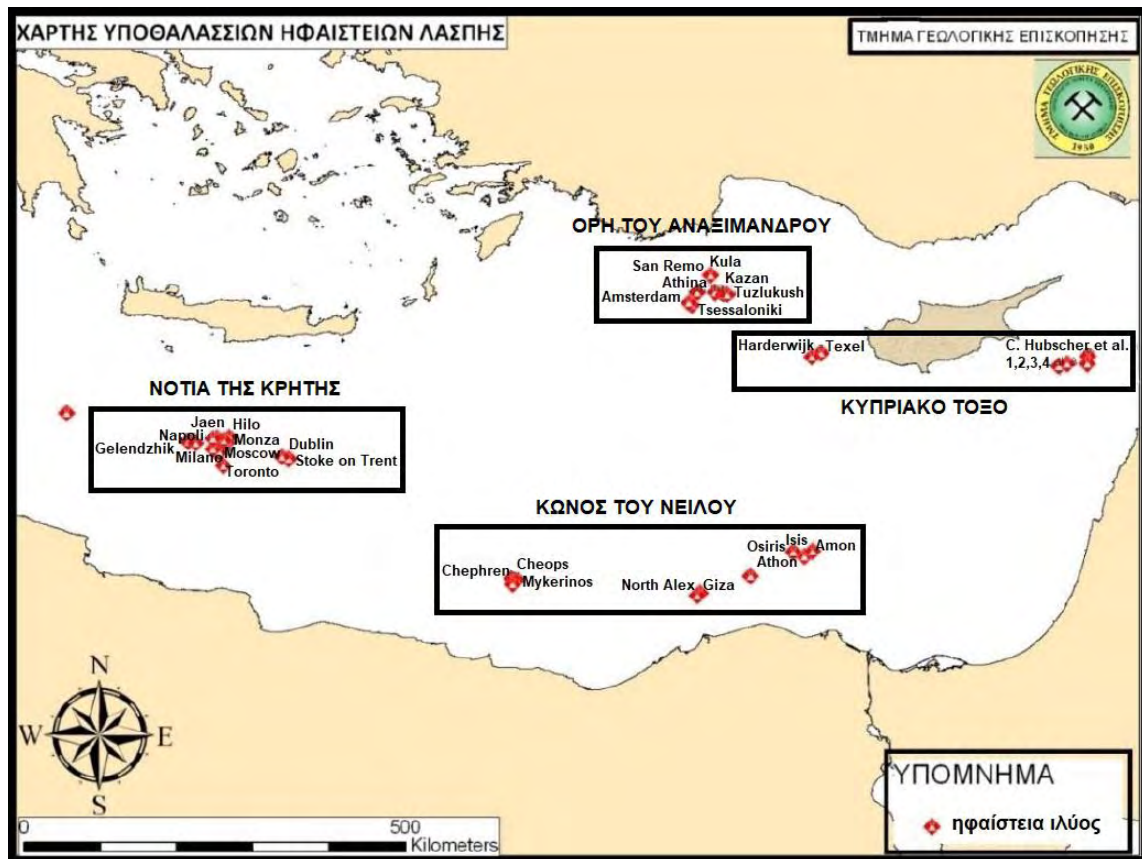
Εκτός των ηφαιστειών ιλύος, μια μεγάλη ποσότητα αερίου, κυρίως μεθάνιο, διαφεύγει από τον θαλάσσιο πυθμένα σε μεγάλα βάθη νερού εξαιτίας πλήθους διαρροών αερίου στην περιοχή του κώνου του Νείλου, τη λεκάνη της Λεβαντίνης και το υποθαλάσσιο βουνό του Ερατοσθένη. Τα στοιχεία που υποδεικνύουν αυτές τις διαρροές είναι φυσαλίδες αερίου, κρατήρες διαφυγής ρευστών (rockmarks), ανθρακικά πετρώματα της επιφάνειας του πυθμένα και ένα πλήθος σεισμικών ανακλάσεων σε ανωμαλίες του θαλάσσιου πυθμένα (Minshull et al., 2019).

### 4.3.5 Ηφαίστεια ιλύος

Το 1978 στη θαλάσσια περιοχή δυτικά της Κρήτης εντοπίστηκε το πρώτο ηφαίστριο ιλύος της Μεσογείου και ονομάστηκε Προμηθέας (εικόνα 123). Έκτοτε πραγματοποιήθηκαν δεκάδες έρευνες στην περιοχή της Μεσογείου (Akhmanov & Woodside, 1998) με αποτέλεσμα μέχρι σήμερα να έχουν εντοπιστεί περισσότερα από 40 ηφαίστεια ιλύος στη λεκάνη της Ανατολικής Μεσογείου. Οι περιοχές στις οποίες βρίσκονται τα ηφαίστεια ιλύος είναι νότια της Κρήτης (κατά μήκος της Μεσογειακής ράχης), στον κόλπο του Νείλου (στο παθητικό περιθώριο του αλλουβιακού ριπιδίου του δέλτα του Νείλου), στα όρη του Αναξιμανδρου (περιοχή με μεικτό τεκτονικό καθεστώς) και στο Κυπριακό τόξο (Ηρακλέους, 2018), (εικόνα 124).



**Εικόνα 123:** Το υποθαλάσσιο ηφαίστριο Προμηθέας και τα υπόλοιπα ηφαίστεια ιλύος που εντοπίστηκαν στην Ανατολική Μεσόγειο μέχρι το 1997.  
(Πηγή: Akhmanov & Woodside, 1998)

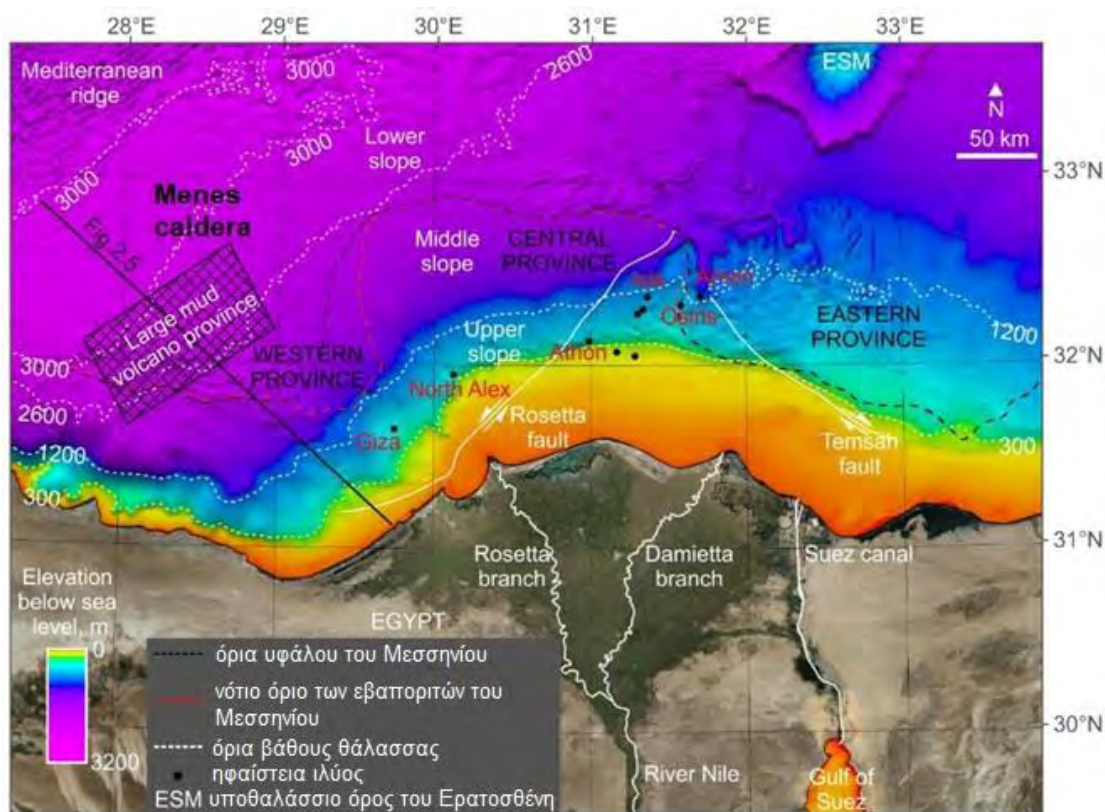


**Εικόνα 124:** Τα ηφαίστεια ιλύος που έχουν εντοπιστεί μέχρι σήμερα στην Ανατολική Μεσόγειο, (Πηγή: Ηρακλέους, 2018) Ίδια επεξεργασία.

Στην θαλάσσια περιοχή νότια της Κρήτης υπάρχει ένα ενεργό γεωδυναμικό σύστημα, εξαιτίας της κίνησης των τεκτονικών λιθοσφαιρικών πλακών. Ειδικότερα, η αριστερόστροφη κίνηση της Αραβικής πλάκας πιέζει προς τα δυτικά την πλάκα της Ανατολίας, η οποία με τη σειρά της ωθεί προς τα νότια την μικρο-πλάκα του Αιγαίου. Οι τάσεις συμπίεσης των λιθοσφαιρικών πλακών και ειδικότερα η βύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική είχαν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό της Μεσογειακής Ράχης πάνω στην οποία παρατηρείται συγκέντρωση ενός εξαιρετικά μεγάλου όγκου ιζημάτων. Η Μεσογειακή Ράχη, είναι μία γεωλογική υποθαλάσσια έξαρση του πυθμένα που διέρχεται νότια της Κρήτης και κατά μήκος της εντοπίζονται τρεις σημαντικές περιοχές ηφαιστειότητας ιλύος (Pan di Zuccherò, Olimpi Area και United Nation Rise), που θα μπορούσαν να συνιστούν σημαντικά πεδία υδρογονανθράκων (Ηρακλέους, 2018).

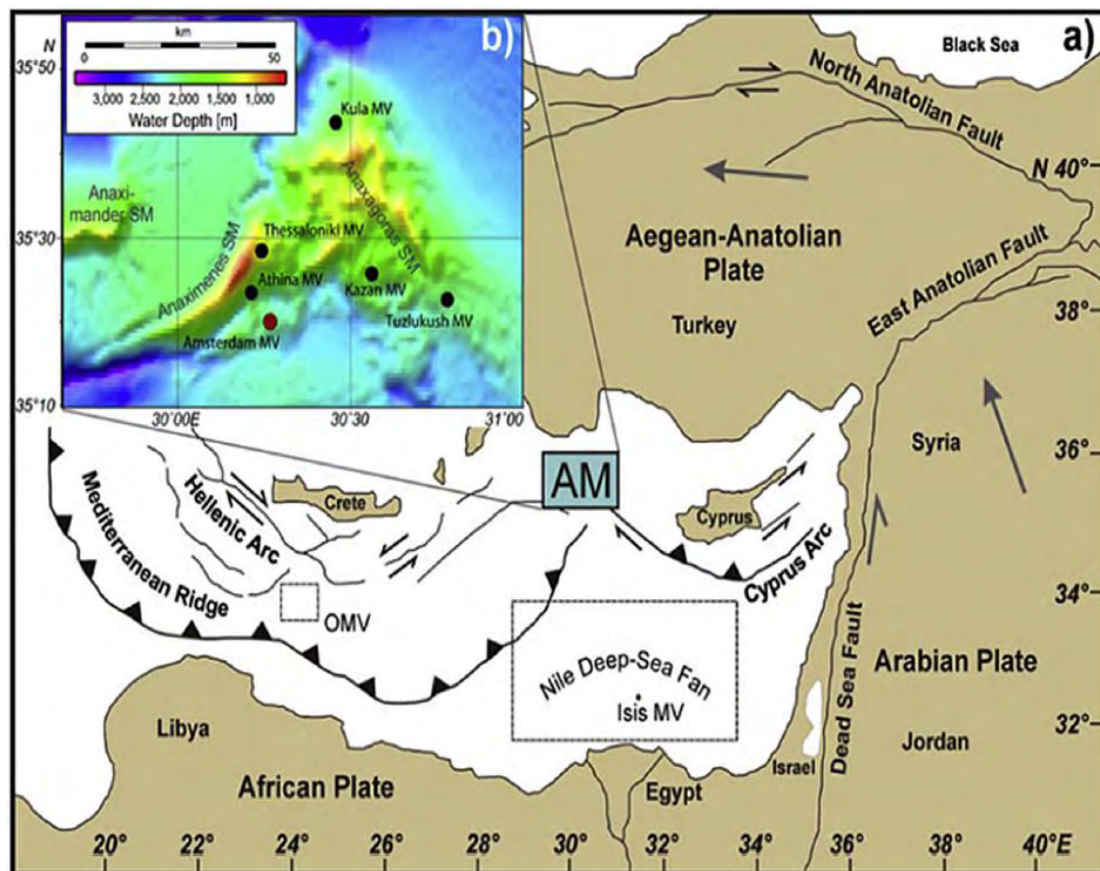
Στη θαλάσσια περιοχή ανοιχτά του δέλτα του Νείλου υπάρχει ένα μεγάλης έκτασης αλλουβιακό ριπίδιο (μια ιζηματογενής σφήνα), που σχηματίστηκε κατά το

Ανώτερο Μειόκαινο και ονομάζεται «Κώνος του Νείλου». Η μορφολογία του είναι αποτέλεσμα: α) του ανάγλυφου που υπήρχε στην περιοχή πριν από το Μεσσηνίο, β) της παραμόρφωσης που οφείλεται στις αποθέσεις των αλάτων του Μεσσηνίου και γ) των βαρυτικών μετακινήσεων των ιζημάτων (π.χ. υποθαλάσσιες κατολισθήσεις, ροές κορημάτων). Ηφαιστεια ιλύς στον κώνο του Νείλου εντοπίζονται κατά μήκος της σημερινής ηπειρωτικής πλατφόρμας ή σε πολύ μικρή απόσταση από το όριο της Μεσσηνιακής πλατφόρμας. Μέχρι σήμερα έχουν εντοπιστεί περισσότεροι από 150 κώνοι ιλύς και πλήθος κρατήρων διαφυγής ρευστών (rockmarks) στον βυθό του Κώνου του Νείλου. Η παρουσία των κρατήρων διαφυγής ρευστών σχετίζεται με τα ρήγματα του υποθαλάσσιου όρους του Ερατοσθένη, που βρίσκεται βορειοανατολικά του κώνου του Νείλου. Στην περιοχή εντοπίζονται τρεις σημαντικές περιοχές ηφαιστειότητας ιλύς (Menes Caldera, δυτική και κεντρική περιοχή του κώνου του Νείλου), (Ηρακλέους, 2018), (εικόνα 125).



**Εικόνα 125:** Μορφολογικός χάρτης του κώνου του Νείλου και τα ηφαιστεια ιλύς. (Πηγή: Gulmammadon, 2017) Ίδια επεξεργασία

Στα υποθαλάσσια όρη του Αναξιμανδρου, δυτικά της λεκάνης της Ρόδου και ανατολικά της λεκάνης της Αττάλειας, μεταξύ του Κυπριακού και του Ελληνικού ηφαιστειακού τόξου, έχουν εντοπιστεί οκτώ υποθαλάσσια ηφαιστεια ιλύς (εικόνα 126). Η πλούσια ηφαιστειακή δραστηριότητα (ιλύς) της περιοχής οφείλεται στις γεωλογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στον πυθμένα και ειδικότερα στην πίεση των ρευστών και στην ύπαρξη ρηγματών που λειτουργούν ως αγωγοί διαφυγής ρευστών. Στο τόξο της Κύπρου εντοπίζονται δύο περιοχές ηφαιστειότητας ιλύς (περιοχή Florence Rise και Troodos Larnaca Culmination), (Ηρακλέους, 2018).



**Εικόνα 126:** Τα υποθαλάσσια όρη του Αναξιμανδρου (AM) στον χάρτη (a) και τα υποθαλάσσια ηφαιστεια ιλύς που εντοπίστηκαν εκεί με τα αντίστοιχα βυθομετρικά χαρακτηριστικά του θαλάσσιου πυθμένα.

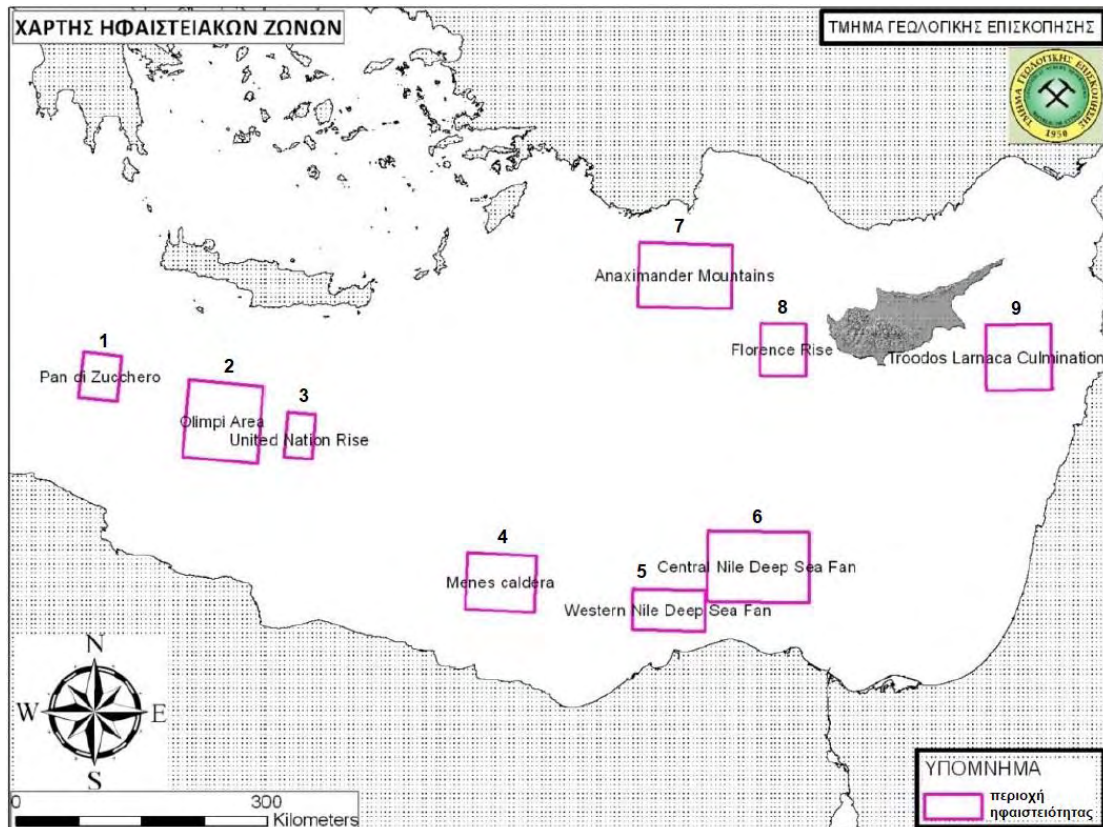
Hellenic Arc = Ελληνικό ηφαιστειακό τόξο, Mediterranean Ridge = Μεσογειακή ράχη, Nile deep- sea fan = ο κώνος του δέλτα του Νείλου, Cyprus Arc = Κυπριακό τόξο, water depth = βάθος θάλασσης, OMV = ηφαιστεια ιλύς περιοχής “Olimpi”.

(Πηγή: Merey & Longinos, 2018)

Επομένως, τα ηφαίστεια ιλύος της Ανατολικής Μεσογείου θα μπορούσαν να χωριστούν γεωγραφικά στις εξής περιοχές ηφαιστειότητας ιλύος (εικόνα 127):

1. Pan di Zuccherò (ηφαίστεια ιλύος Pan di Zuccherò),
2. Olimpi (ηφαίστεια ιλύος Napoli, Milano, Maidstone, Moscow, Prometheus 2, Toronto, Gelendzhik, Jaen, Bergamo, Monza, Hilo, Procida, Stvor, Nezhinka, Leipzig Lich και Milford Haven),
3. United Nation Rise (ηφαίστεια ιλύος Stoke on Trent και Dublin),
4. Menes caldera (ηφαίστεια ιλύος Cheops, Chephren, Mykerinos, Menitites και 3 ανώνυμα),
5. Δυτική περιοχή του Κώνου του Νείλου (ηφαίστεια ιλύος Giza και North Alex),
6. Κεντρική περιοχή του Κώνου του Νείλου (ηφαίστεια ιλύος Osiris, Amon, Isis και Athon),
7. Όρη του Αναξίμανδρου (ηφαίστεια ιλύος Amsterdam, Kazan, Kula, Athina, Thessaloniki, Tuzlukush, Saint Ouen l' Aumone και San Remo),
8. Florence Rise (ηφαίστεια ιλύος Texel και Harderwijk),
9. Troodos Larnaca Culmination (ηφαίστεια ιλύος C. Hubscher et al. 1, 2, 3 και 4).

Οι περιοχές 1, 2 και 3 βρίσκονται νότια της Κρήτης, οι περιοχές 4, 5 και 6 βρίσκονται στον κώνο του Νείλου, η περιοχή 7 στα υποθαλάσσια όρη του Αναξίμανδρου, ενώ οι περιοχές 8 και 9, στο Κυπριακό τόξο.



**Εικόνα 127:** Οι 9 ζώνες ηφαιστειότητας ιλύος στην Ανατολική Μεσόγειο, (Πηγή: Ηρακλέους, 2018) Ίδια επεξεργασία.

### Περιοχή 1: Pan di Zucchero

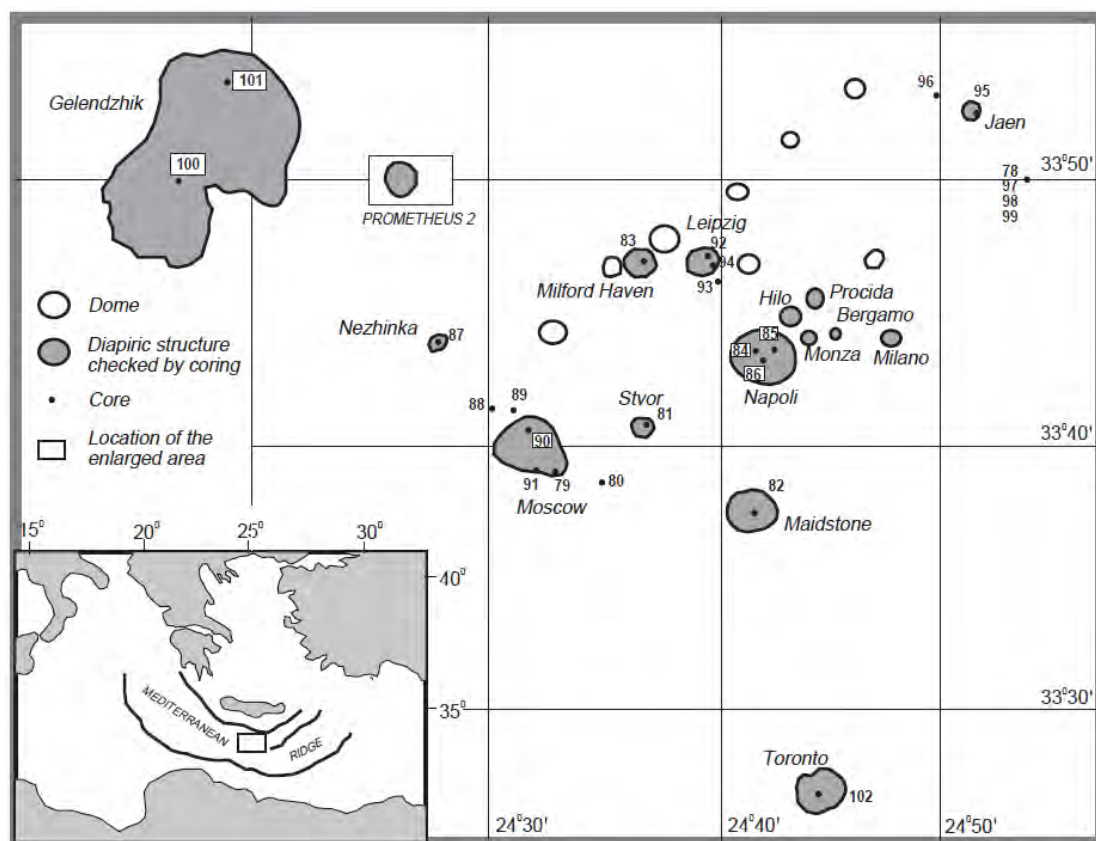
Στην περιοχή εντοπίστηκε ένα ομώνυμο ηφαίστειο ιλύος, το οποίο δραστηριοποιήθηκε τουλάχιστον μια φορά κατά τη διάρκεια των τελευταίων 27.000 ετών.<sup>46</sup>

### Περιοχή 2: Olimpi

Στην περιοχή έχουν εντοπιστεί 16 ηφαίστεια ιλύος, τα οποία αποτελούνται κυρίως από λατυποπαγή (mud breccia), ηλικίας Κατωτέρου Κρητιδικού (Άπτιο) με παρενστρώσεις πελαγικών ιζημάτων. Το σύνολο αυτών των ηφαιστειών έχουν ακανόνιστη βάση, διαμέτρου μεγαλύτερης του 1 km. Το μεγαλύτερο ηφαίστειο της περιοχής είναι το Gelendzhik, με διάμετρο βάσης 16 km. Τα ηφαίστεια ιλύος της περιοχής είναι σήμερα ανενεργά καθώς παρατηρείται παρουσία πελαγικών ιζημάτων πάνω από τα λατυποπαγή. Εξάιρεση αποτελούν τα ηφαίστεια ιλύος Napolì, Milano, Bergamo και Leipzig που θεωρούνται ενεργά (εικόνα 128), (Ηρακλέους, 2018).

<sup>46</sup> ± 9.000 χρόνια.





**Εικόνα 128:** Τα 16 ηφαίστεια ιλύος στην περιοχή Ολιμπί, νότια της Κρήτης.  
(Πηγή: Akhmanov & Woodside, 1998)

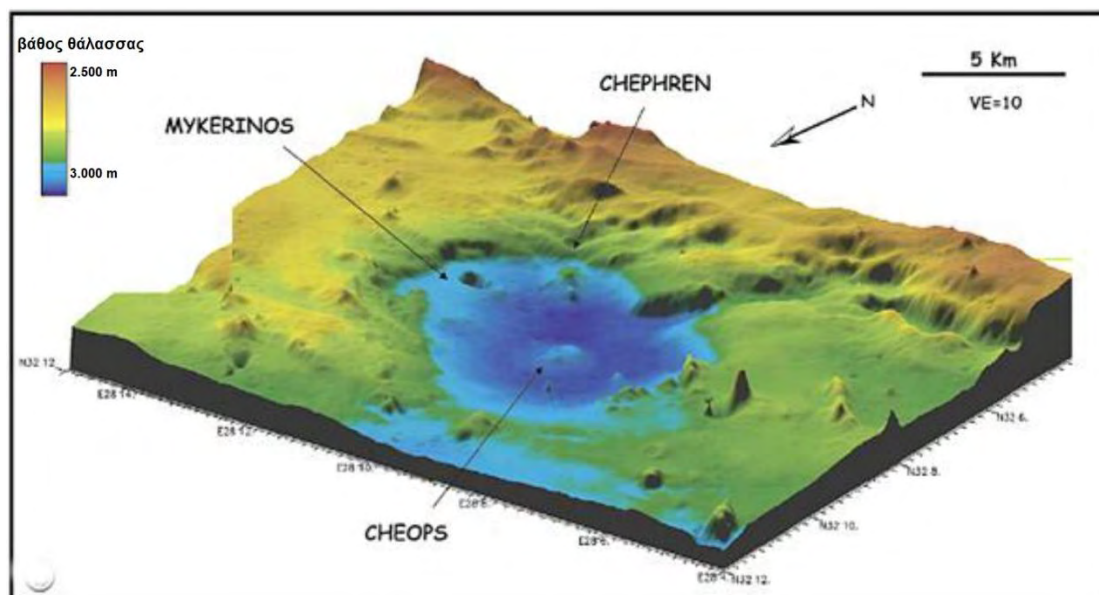
### Περιοχή 3: United Nation Rise

Στην περιοχή εντοπίστηκαν τα κυκλικού σχήματος ηφαίστεια ιλύος Stoke on Trent (ενεργό) και Dublin (ανενεργό).

### Περιοχή 4: Menes caldera

Στην περιοχή Menes caldera, έχουν εντοπιστεί 7 ηφαίστεια ιλύος (Cheops, Chephren, Mykerinos, Menitites και άλλα 3 που δεν έχουν ονομαστεί ακόμα). Τα ηφαίστεια Cheops (ενεργό), Chephren (ενεργό) και Mykerinos (αδρανές<sup>47</sup>), έχουν διάμετρο 1,5 km και ύψος 25 m, 40 m και 10 m αντίστοιχα (εικόνα 129), ενώ το ηφαίστειο Menitites (αδρανές) έχει πολύ μικρότερη διάμετρο (0,4 km) και ύψος 30 m (Ηρακλέους, 2018).

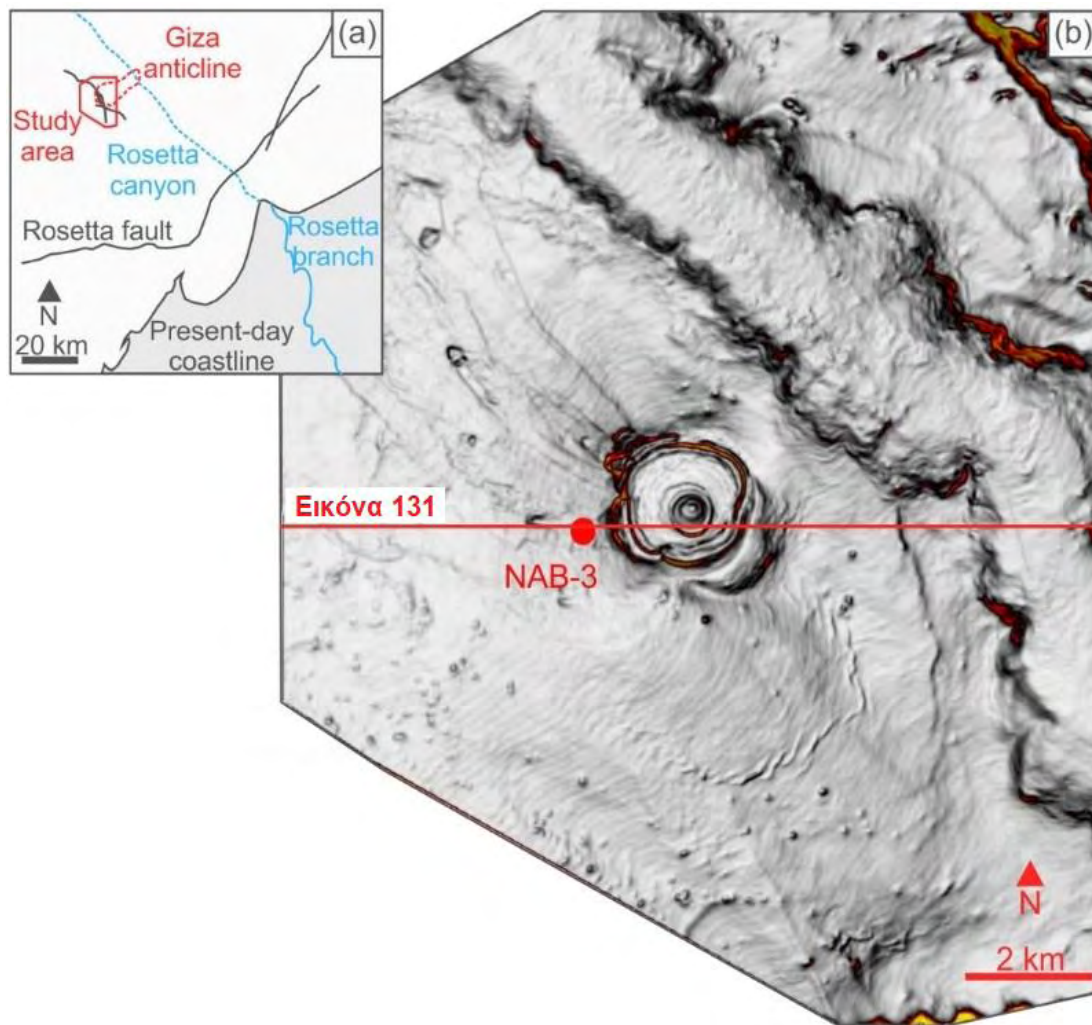
<sup>47</sup> Σε κατάσταση αδράνειας (dormant) θεωρείται ότι βρίσκεται ένα ηφαίστειο ιλύος όταν δεν έχει παρατηρηθεί πρόσφατα δραστηριότητα.



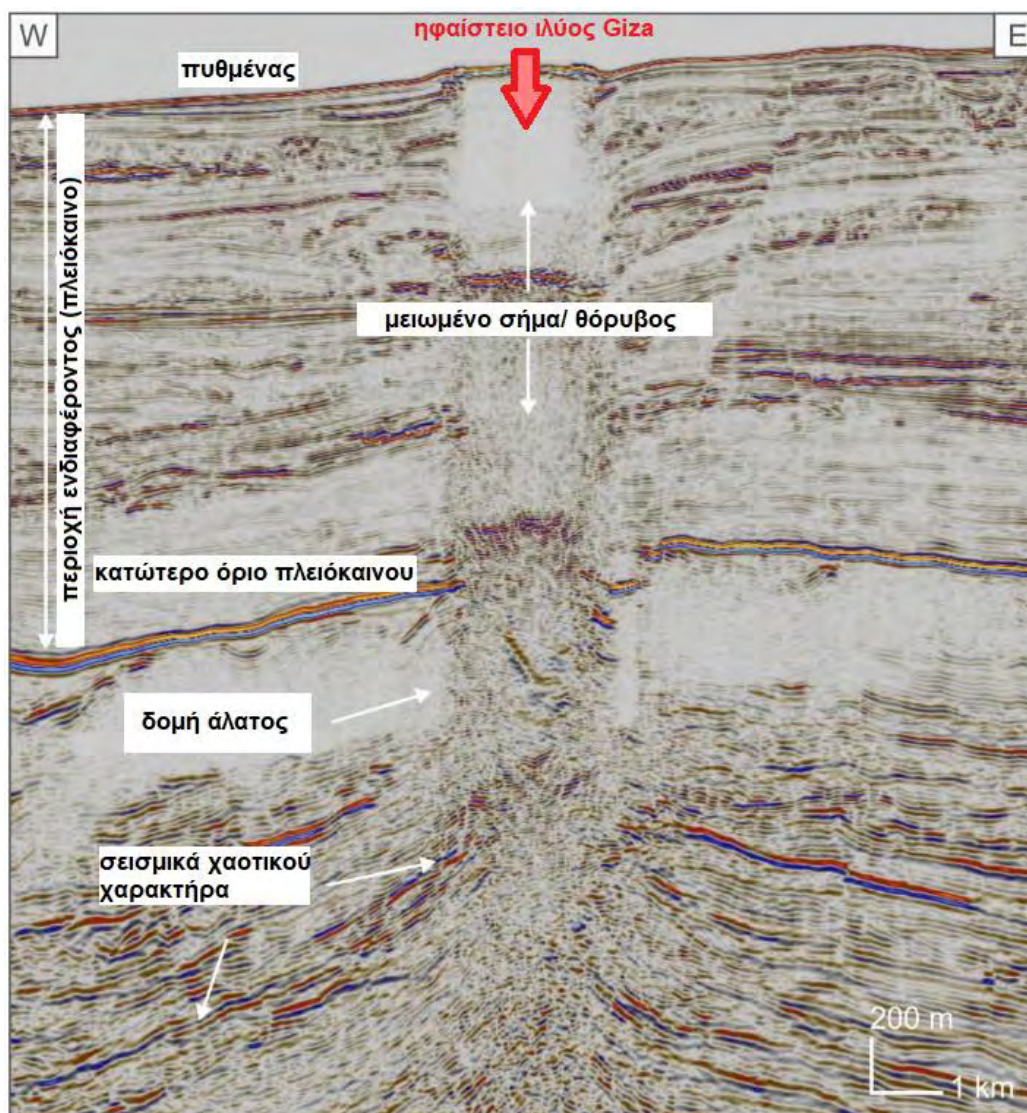
**Εικόνα 129:** Βυθομετρικός χάρτης της καλδέρας Menes.  
(Πηγή: Huguen et al., 2009) Ίδια επεξεργασία

#### **Περιοχή 5: Δυτική περιοχή του Κώνου του Νείλου (Western Nile Deep Sea Fan)**

Στην περιοχή που εκτείνεται δυτικά του Κώνου του Νείλου και ειδικότερα στην ανώτερη καταφέρεια του αλλουβιακού ριπιδίου του Νείλου εντοπίστηκαν τα κυκλικού σχήματος ενεργά ηφαίστεια ιλύος Giza και North Alex. Τα ηφαίστεια έχουν παρόμοιο μέγεθος, με το πρώτο να έχει διάμετρο 2,5 km και ύψος 40 m και το δεύτερο να έχει διάμετρο 2 km και ύψος 50 m (Feseker et al., 2010). Το ηφαίστειο Giza μελετήθηκε εκτενώς τόσο μέσω σεισμικών ερευνών 3D όσο και μέσω της ερευνητικής γεώτρησης NAB-3, (Gulmammadon, 2017), (εικόνες 130, 131).



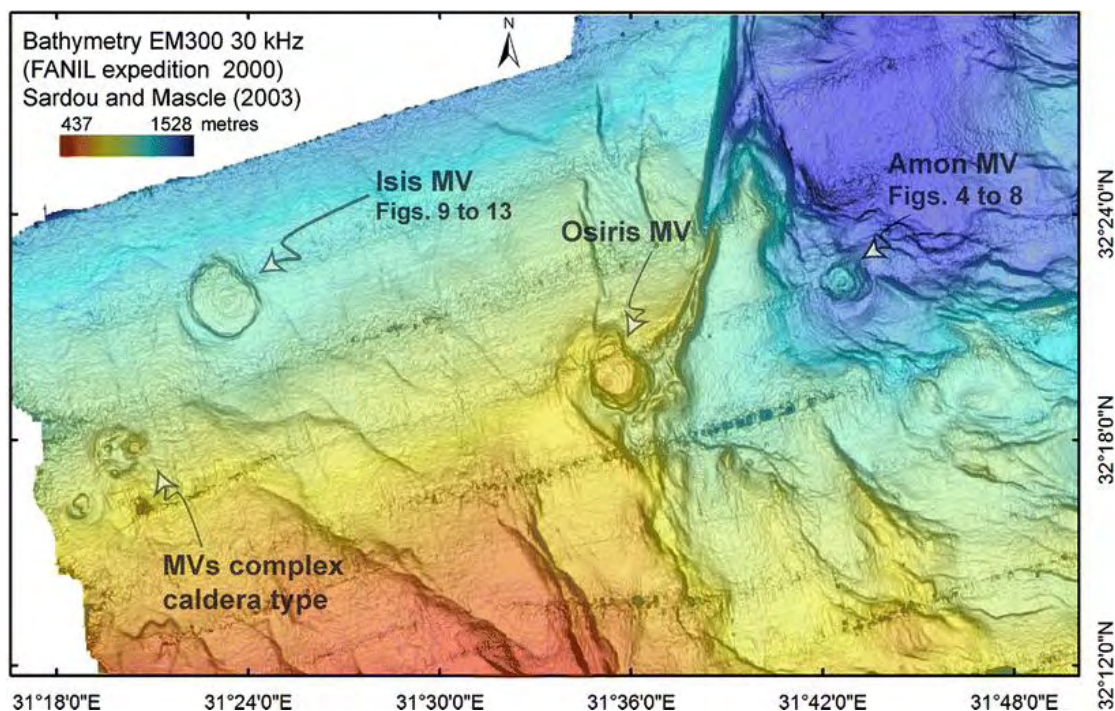
**Εικόνα 130:** (a) χάρτης της ευρύτερης περιοχής του ηφαιστείου Giza, (b) η επιφάνεια του πυθμένα και ο κρατήρας του ηφαιστείου.  
(Πηγή: Gulmammadov, 2017)



**Εικόνα 131:** Η τομή της εικόνας 130, διεύθυνσης Ανατολή-Δύση (E-W) με τις σεισμικές καταγραφές που δείχνουν το εσωτερικό του ηφαιστείου ιλύος Giza.  
(Πηγή: Gulmammadon, 2017) Ίδια επεξεργασία

### Περιοχή 6: Κεντρική περιοχή του Κώνου του Νείλου (Central Nile Deep Sea Fan)

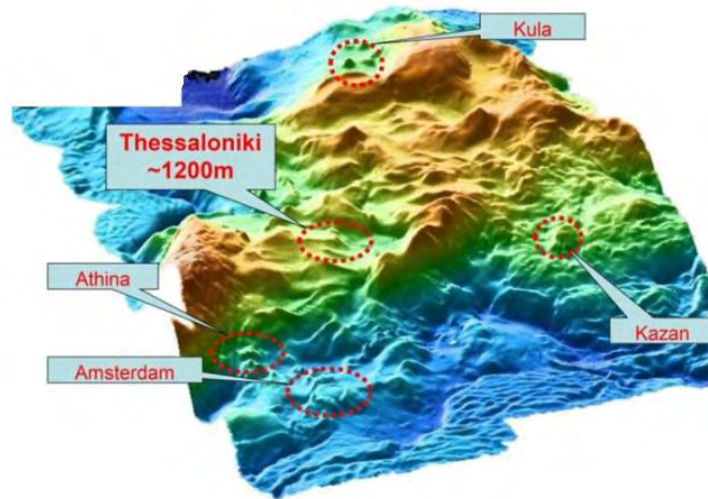
Στην περιοχή έχουν εντοπιστεί 4 ηφαίστεια ιλύος (Osiris, Amon, Isis, Athon), εκ των οποίων τα δύο (Amon και Isis) θεωρούνται πολύ ενεργά (εικόνα 132). Επιπρόσθετα έχει παρατηρηθεί ο σχηματισμός χιλιάδων κρατήρων διαφυγής ρευστών (rockmarks) που σχετίζονται με το σχηματισμό αυθιγενών ανθρακικών φλοιών (Loncke et al., 2004). Η διαφυγή των ρευστών συνδέεται άμεσα με την αποσταθεροποίηση των ιζημάτων που εκδηλώνεται μέσω πολυάριθμων υποθαλάσσιων κατολισθητικών φαινομένων (Bayon et al., 2009).



**Εικόνα 132:** Βυθομετρικός χάρτης της κεντρικής περιοχής του Κώνου του Νείλου.  
(Πηγή: Sardou & Mascle, 2003)

### **Περιοχή 7: Όρη του Αναξίμανδρου (Anaximander Mountains)**

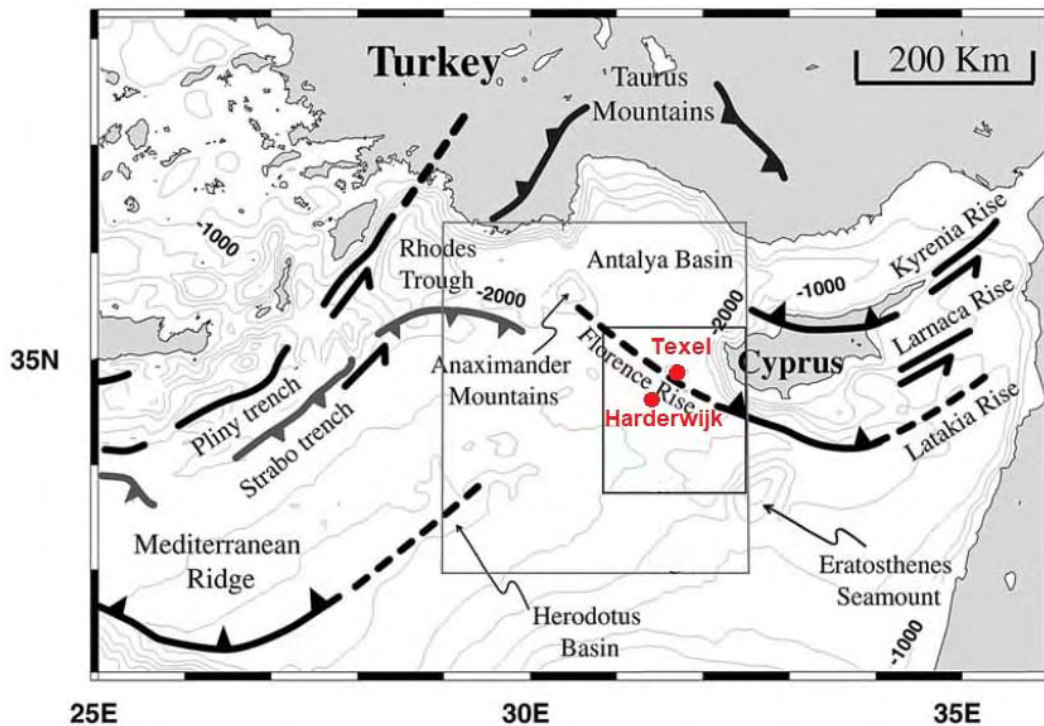
Στην περιοχή έχουν εντοπιστεί 8 ηφαίστεια ιλύος, εκ των οποίων τα περισσότερα είναι αρκετά μικρά, καθώς δεν ξεπερνούν το 1 km σε πλάτος και τα 100 m σε ύψος (εικόνα 133). Ειδικότερα, ακανόνιστου σχήματος είναι τα ηφαίστεια Kula (αδρανές με ύψος 80 m και διάμετρο 1 km) και Kazan (ενεργό με ύψος 50 m και διάμετρο 0.8 km), ημισφαιρικό είναι το San Remo (αδρανές με ύψος 50 m και διάμετρο 1 km), κωνικά είναι τα ηφαίστεια Athina (ενεργό με ύψος 100 m) και Tuzlukush (αδρανές με ύψος 80 m), κυκλικά είναι τα ηφαίστεια Thessaloniki (ενεργό με ύψος 120 m και διάμετρο 1.5 km) και Saint Ouen l'Aumone (αδρανές με ύψος 50 m και διάμετρο 1 km), ενώ το μεγάλο ενεργό ηφαίστεια ιλύος Amsterdam (100m ύψος και διάμετρο 3 km) έχει ελλειπτικό σχήμα (Ηρακλέους, 2018).



**Εικόνα 133:** Τα ηφαιστεια ιλύος Amsterdam, Kazan, Kula, Athina και Thessaloniki στην περιοχή των υποθαλάσσιων όρων του Αναξιμανδρου. (Πηγή: Lykousis et al., 2004)

### Περιοχή 8: Florence Rise

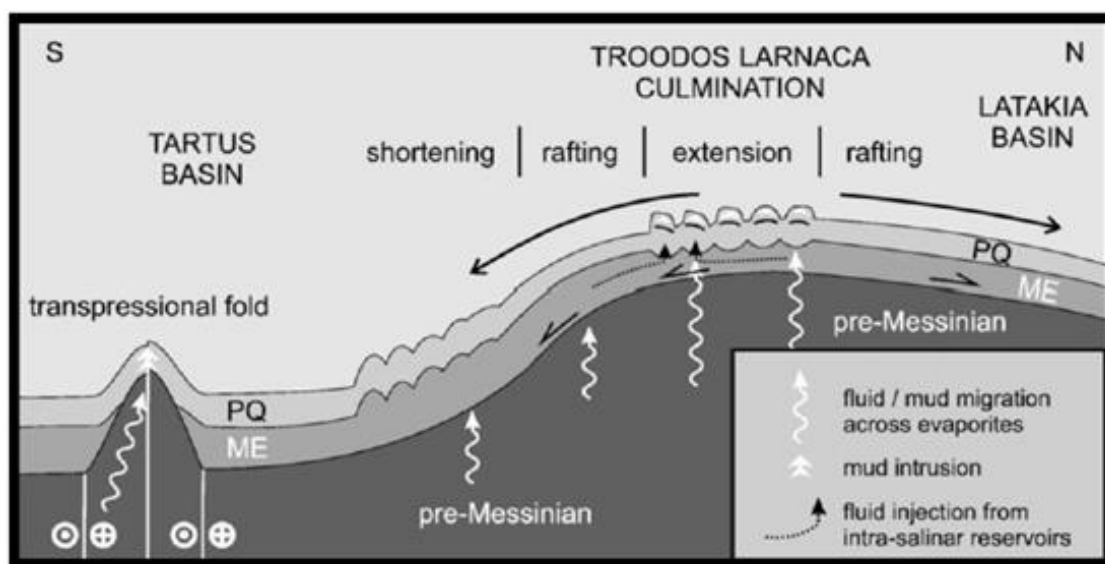
Στην περιοχή Florence Rise, που εκτείνεται στη θαλάσσια περιοχή Δυτικά της Κύπρου και χαρακτηρίζεται από ένα υπερυψωμένο ανάγλυφο, εντοπίστηκαν τα κωνικά ηφαιστεια ιλύος Texel και Harderwijk (εικόνα 134).



**Εικόνα 134:** Η περιοχή Florence Rise με την θέση των ηφαιστειών ιλύος Texel και Harderwijk, (Πηγή: Woodside et al., 2002) Ίδια επεξεργασία.

## Περιοχή 9: Troodos Larnaca Culmination

Στην περιοχή έχουν εντοπιστεί 4 αδρανή κυκλικά ηφαιστεια ιλύος, στα οποία δεν έχει παρατηρηθεί παρουσία υδριτών μεθανίου. Κατά μήκος του ανατολικού τμήματος του κυπριακού τόξου, οι διατρητικές δομές που δραστηριοποιούνταν μετά το Μεσσηνίο αντιστάθμισαν τις λεκάνες άλατος του Μεσσηνίου (Ηρακλέους, 2018), (εικόνα 135).



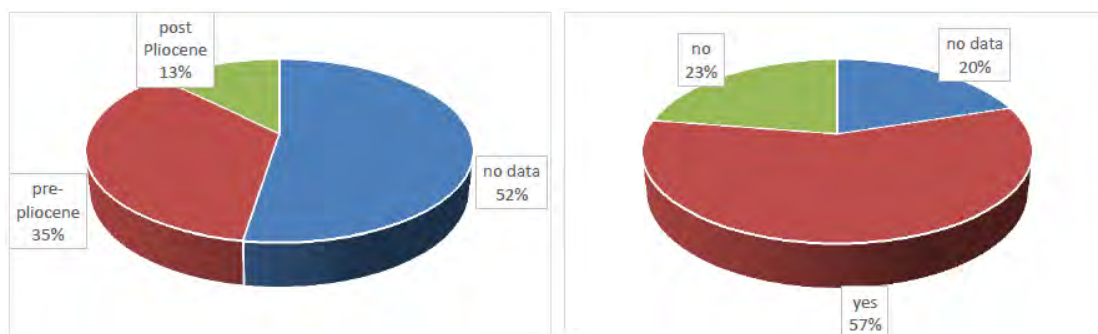
**Εικόνα 135:** Το μορφοδυναμικό μοντέλο του αλατοτεκτονισμού της περιοχής Troodos Larnaca Culmination.

Basin = λεκάνη, extension = επέκταση, rafting = κύλιση, shortening = σύμπτυξη, transpressional fold = πτυχή λόγω πίεσης, fluid/ mud migration across evaporites = ροή/ μετανάστευση ιλύος διαμέσου των εβαποριτών, mud intrusion = εισχώρηση ιλύος, fluid injection from intra-salinar reservoirs = εσωτερική ροή εντός ταμιευτήρων άλατος.

(Πηγή: Hübscher et al., 2009)

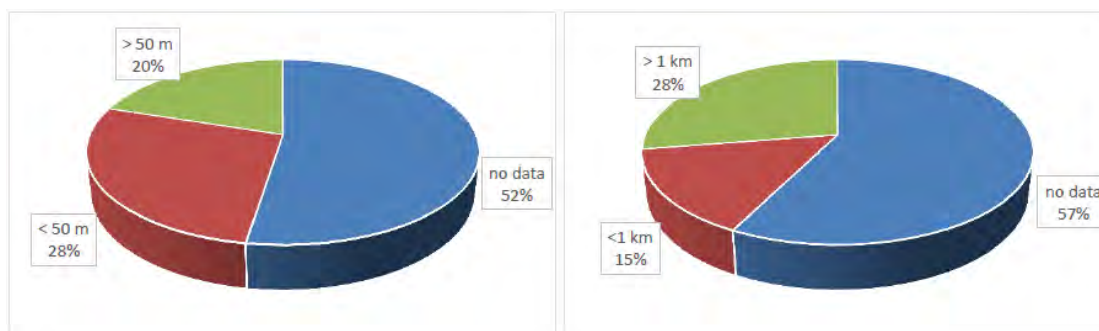
Αναφορικά με την ηλικία του συνόλου των ηφαιστειών ιλύος που έχουν εντοπιστεί στην Ανατολική Μεσόγειο, παρόλο που για τα μισά από αυτά (52%) δεν υπάρχουν αξιόπιστα δεδομένα, τα περισσότερα σχηματίστηκαν πριν το Πλειόκαινο (πριν από περισσότερα από  $5.33 \times 10^6$  χρόνια), ενώ τα υπόλοιπα έχουν νεότερη ηλικία (μικρότερη από  $5.33 \times 10^6$  χρόνια). Αξιοσημείωτο είναι πως τα περισσότερα ηφαιστεια ιλύος (57%) εμφανίζουν άμεσα ή στην ευρύτερη περιοχή τους σχηματισμούς υδριτών αερίων<sup>48</sup> (εικόνα 136). Επίσης, στην πλειονότητα των ηφαιστειών ιλύος (>80%) εντοπίστηκε η ύπαρξη ρηγμάτων (Ηρακλέους, 2018).

<sup>48</sup> ειδικά νότια της Κρήτης και στα όρη του Αναξίμανδρου



**Εικόνα 136:** Η ηλικία των ηφαιστειών ιλύος (αριστερά) και η παρουσία ή όχι υδριτών αερίων σε αυτά (δεξιά), (Πηγή: Ηρακλέους, 2018).

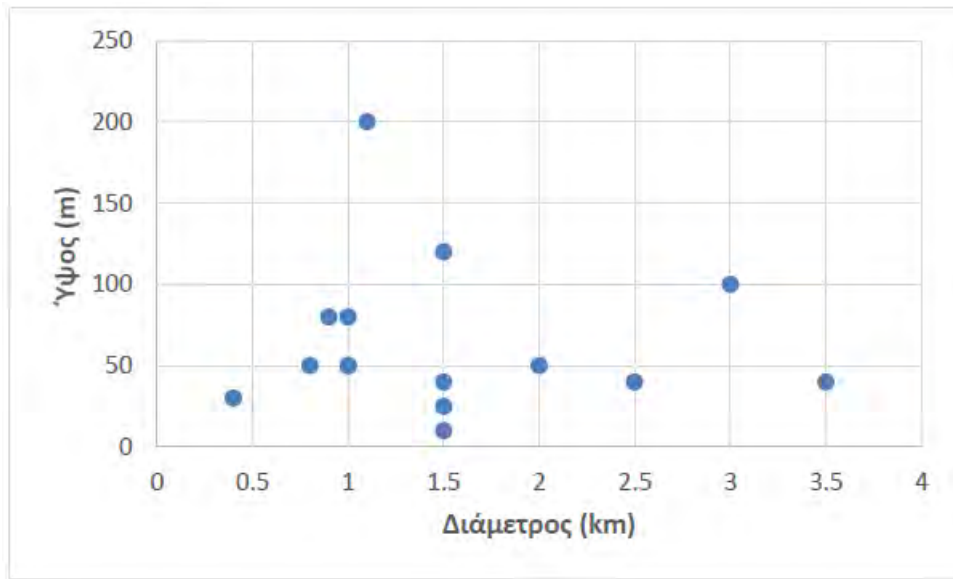
Όσο αφορά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ηφαιστειών ιλύος της Ανατολικής Μεσογείου υπάρχουν δεδομένα για λιγότερα από τα μισά από αυτά. Τα στοιχεία δείχνουν ότι τα περισσότερα έχουν ύψος μικρότερο από 50 m και διάμετρο μεγαλύτερη από 1 km (εικόνα 137).



**Εικόνα 137:** Το ύψος των ηφαιστειών ιλύος (αριστερά) και η διάμετρός τους (δεξιά). (Πηγή: Ηρακλέους, 2018)

Αξίζει να σημειωθεί πως ο έλεγχος για συσχέτιση μεταξύ του ύψους και της διαμέτρου των ηφαιστειών ιλύος της Ανατολικής Μεσογείου έδειξε ότι δεν παρουσιάζουν καμία συσχέτιση μεταξύ τους (εικόνα 138).





**Εικόνα 138:** Κατανομή του ύψους και της διαμέτρου για τα 15 ηφαίστεια ύψους της Ανατολικής Μεσογείου, που είχαν αντίστοιχα γεωμετρικά δεδομένα. (Πηγή: Ηρακλέους, 2018)

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βάσει της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε στο Κεφάλαιο 4 της παρούσας διεπιστημονικής εργασίας θα μπορούσε η Νοτιοανατολική Μεσόγειος να χωριστεί σε 5 περιοχές ενδιαφέροντος σχετικά με τους γεωκινδύνους στην εκμετάλλευση των κοιτασμάτων υδρογονανθράκων (εικόνα 139).

Η υπεράκτια εξέδρα εξόρυξης του Αιγυπτιακού κοιτάσματος φυσικού αερίου Zor (βάθος νερού 1.450 m), που εκμεταλλεύεται η Ιταλική εταιρεία ENI, καθώς επίσης και τα βεβαιωμένα κοιτάσματα<sup>49</sup> της Κυπριακής Αποκλειστικής Οικονομικής Ζώνης (Α.Ο.Ζ.), (Περιοχή Α, εικόνας 139), κινδυνεύουν από ροές κορημάτων, καθιζήσεις, σεισμούς και τσουνάμι, αλλά όχι από ηφαίστεια ιλύος και υδρίτες αερίων (δεν έχουν εντοπιστεί μέχρι σήμερα στην ευρύτερη περιοχή), λόγω του μεγάλου πάχους του στρώματος εβαποριτών του Μεσσηνίου στην περιοχή.

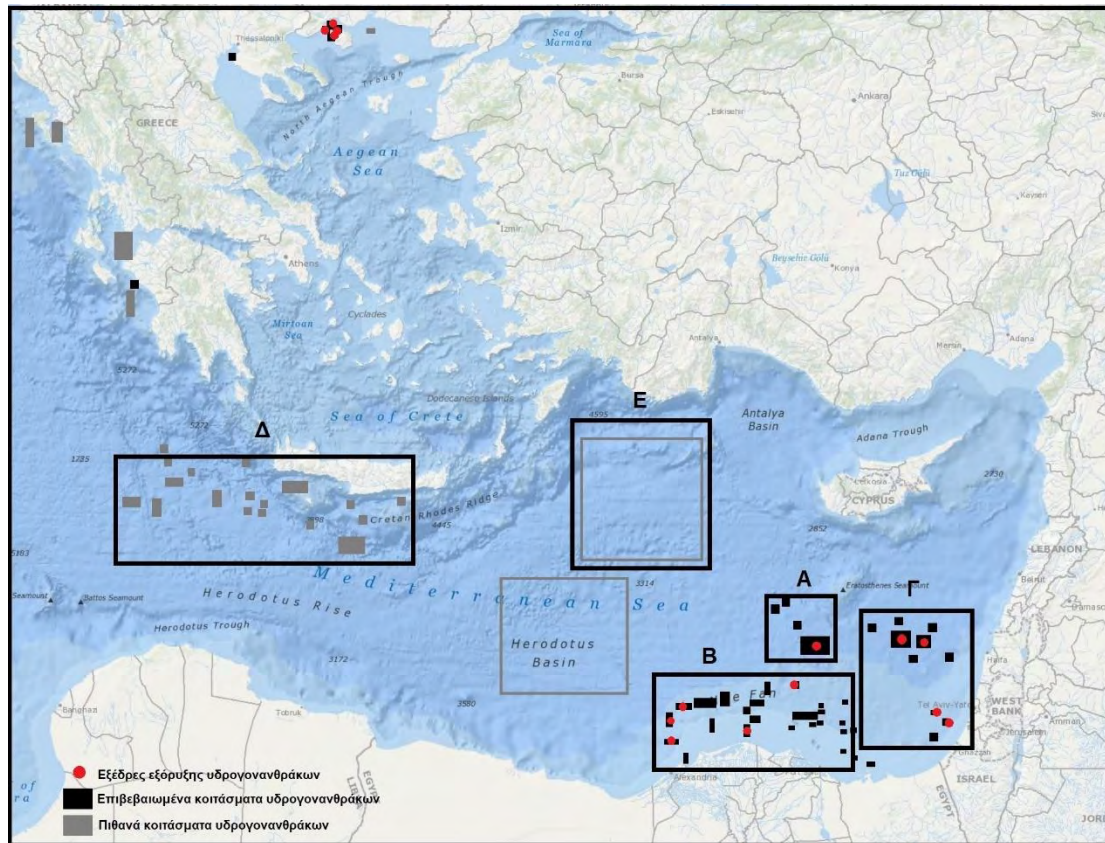
Αντίθετα, όλες οι εξέδρες εξόρυξης που έχουν εγκατασταθεί ή πρόκειται να εγκατασταθούν στο άμεσο μέλλον στον Κόνο του Νείλου (περιοχή Β, εικόνας 139) κινδυνεύουν κυρίως από ηφαίστεια ιλύος, όπως το Giza.

Τα επιβεβαιωμένα κοιτάσματα φυσικού αερίου της Ισραηλινής Αποκλειστικής Οικονομικής Ζώνης (Α.Ο.Ζ.), (Περιοχή Γ, εικόνας 139) βρίσκονται σε μια περιοχή νοτιοανατολικά της Κύπρου, στην οποία δεν έχει εντοπιστεί κανένα ηφαίστεια ιλύος και έτσι ο κύριος γεωκίνδυνος που τα αφορά είναι οι υποθαλάσσιες κατολισθήσεις.

Σχετικά με τα πιθανά κοιτάσματα νότια της Κρήτης (περιοχή Δ, εικόνας 139) υπάρχει αυξημένη επικινδυνότητα στην επικείμενη εκμετάλλευσή τους εξαιτίας της ύπαρξης πλήθους ηφαιστειών ιλύος, που είναι πλούσια σε υδρίτες αερίων. Το ίδιο ισχύει για την πετρελαιοπιθανή αλλά ανεξερεύνητη θαλάσσια περιοχή νοτιοανατολικά της Ρόδου (περιοχή Ε, εικόνας 139), όπου οι υδρίτες εμφανίζονται ιδιαίτερα ασταθείς. Τόσο νότια της Κρήτης, όσο και νοτιοανατολικά της Ρόδου, υπάρχει εξαιρετικά υψηλός κίνδυνος εξαιτίας σεισμών και εκδήλωσης τσουνάμι, αλλά επίσης έχουν καταγραφεί πολλές υποθαλάσσιες κατολισθήσεις και καθιζήσεις του θαλάσσιου πυθμένα.

---

<sup>49</sup> Πλην του κοιτάσματος Αφροδίτη, που ανήκει στην περιοχή Γ, μαζί με τα κοιτάσματα της Ισραηλινής Αποκλειστικής Οικονομικής Ζώνης (Α.Ο.Ζ.).



**Εικόνα 139:** Οι 5 περιοχές ενδιαφέροντος σχετικά με τους γεωκινδύνους στην εκμετάλλευση των κοιτασμάτων υδρογονανθράκων στη νοτιοανατολική Μεσόγειο.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, στην Νοτιοανατολική Μεσόγειο υπάρχει ένα μεγάλο πλήθος υποθαλάσσιων γεωκινδύνων, το οποίο είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη στις υπάρχουσες, αλλά κυρίως στις επικείμενες, εξορύξεις των υποθαλάσσιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων της περιοχής. Το ενδεχόμενο ενός ατυχήματος παρόμοιου με το Deepwater Horizon του Κόλπου του Μεξικού θα είχε καταστροφικές συνέπειες για τα οικοσυστήματα και τις οικονομίες των χωρών της Μεσογείου. Τα βάθη θάλασσας στα οποία εντοπίζονται τα κοιτάσματα της Νοτιοανατολικής Μεσογείου είναι κατά βάση μεγαλύτερα των 1.500 m, γεγονός που αυξάνει την επικινδυνότητα της εκμετάλλευσής τους.

Συνοψίζοντας, κρίνεται σκόπιμο να πραγματοποιηθούν περαιτέρω έρευνες σχετικά με τις επιπτώσεις των υποθαλάσσιων γεωκινδύνων στις εξέδρες εξόρυξης υδρογονανθράκων της περιοχής. Ωφέλιμη θα ήταν η χρήση ειδικών λογισμικών για την ενδελεχή προσομοίωση της μηχανικής συμπεριφοράς των εξεδρών εξόρυξης, αλλά και των αγωγών μεταφοράς υδρογονανθράκων που δεν μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία, σε περιπτώσεις υποθαλάσσιων γεωκινδύνων (υποθαλάσσιας

κατολίσθησης, σεισμού, τσουνάμι, διάσπασης υδριτών αερίων ή έκρηξης ηφαιστείου ιλύος). Έτσι, θα μπορούσε να γίνει σχεδιασμός και ανάλυση κατασκευών των ενεργειακών υποδομών της ευρύτερης περιοχής της νοτιοανατολικής Μεσογείου και μελέτη των επιστημονικών και ερευνητικών μεθόδων και πρακτικών που περιγράφουν επαρκώς της κατάσταση του δυναμικού των υδρογονανθράκων και δίνουν ασφαλή αποτελέσματα λαμβάνοντας υπόψη την προστασία του περιβάλλοντος. Επίσης, ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε η μελέτη της διασποράς υγρών υδρογονανθράκων (πετρελαιοκηλίδας) σε περίπτωση ατυχήματος.

Επιπρόσθετα, εξαιτίας της παρουσίας ενός μεγάλου εύρους διαφορετικών γεωυλικών, κρίνεται απαραίτητη η εισαγωγή νέων καταστατικών νόμων συμπεριφοράς προκειμένου να επιτευχθεί η ρεαλιστικότερη περιγραφή της πολύπλοκης μηχανικής τους συμπεριφοράς.

Τέλος, αξίζει να τονιστεί η διεπιστημονικότητα της παρούσας εργασίας, καθώς περιλαμβάνει στοιχεία από πολλά διαφορετικά επιστημονικά πεδία. Ειδικότερα βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στα γνωστικά αντικείμενα του γεωτεχνικού, γεωλογικού, περιβαλλοντικού και μεταλλευτικού επιστημονικού τομέα.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

### **Ελληνική Βιβλιογραφία**

Αποστολόπουλος, Γ., (2013) «Σημειώσεις Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής», Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Αρχή Ανάπτυξης Ανθρώπινου Δυναμικού Κύπρου, (2012) «Εγκαιρος εντοπισμός αναγκών απασχόλησης και κατάρτισης για αποτελεσματική διαχείριση του φυσικού αερίου στην Κύπρο», Διεύθυνση Έρευνας και Προγραμματισμού, Κύπρος.

Βεργούλης, Π., (2013) «Εξόρυξη υδρογονανθράκων και κοινωνική αποδοχή: Η περίπτωση του Κατάκολου», Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και Ανάπτυξη, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Βεργούλης, Π., (2016) «Ελληνικοί υδρογονάνθρακες, μύθος και πραγματικότητα», Περισκόπιο της Επιστήμης, 413, 20-29.

Βλάχος, Γ.Π., (1999) «Εμπορική Ναυτιλία και Θαλάσσιο Περιβάλλον», Εκδόσεις Σταμούλης.

Γεωργακόπουλος, Α., (1990) «Στοιχεία κοιτασματολογίας πετρελαίου», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Γιαλούρης, Α. και Καρύδης, Ι., (2010) «Διύλιση πετρελαίου σε απλό δυλιστήριο με την βοήθεια γραμμικού προγραμματισμού», Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα, Καβάλα.

Γουλιέλμος, Α., (1997) «Διοίκηση παράκτιων και θαλάσσιων βιομηχανιών», Εκδόσεις Α. Σταμούλης.

Γρένδας, Ν., (2016) «Τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση και αποτύπωση κατολισθήσεων στο δυτικό τμήμα της Λευκάδας», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Γρηγορίου, Δ., (2012) «Μόλυνση του θαλάσσιου περιβάλλοντος από υδρογονάνθρακες», Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας, Σχολή Μηχανικών.

Ζαφειρόπουλος, Γ. (2012) «Το πετρελαϊκό δυναμικό της χώρας με βάση τις μέχρι σήμερα έρευνες», παρουσίαση στην ημερίδα του ΤΕΕ, «Έρευνα και εκμετάλλευση υδρογονανθράκων στην Ελλάδα».

Ηρακλέους, Λ., (2018) «Τα υποθαλάσσια ηφαίστεια λάσπης στη λεκάνη της Ανατολικής Μεσογείου», Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.

Θεοχαρίδης, Π., (2019) «Δεξαμενή υδρογονανθράκων η Ανατολική Μεσόγειος», <http://www.philenews.com/eidiseis/politiki/article/635756/dexameni-ydrognanthrakon-i-anatoliki-mesogios> (προσπ. 21-11-2019).

Καραμαλίκη, Α., (2017) «Υπεράκτια εξόρυξη πετρελαίου: Νομικό Πλαίσιο», Πτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.

Καρατζά, Κ., (2016) «Το θεσμικό πλαίσιο για την έρευνα και την εξόρυξη υποθαλάσσιων φυσικών πόρων με έμφαση στην προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος», Πανεπιστήμιο Πειραιά, Πειραιάς.

Κασίνης, Σ., (2011) «Έρευνα υδρογονανθράκων εντός της ΑΟΖ της Κυπριακής Δημοκρατίας – Νέες προοπτικές», Υπηρεσία Ενέργειας, Υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού, Λευκωσία, Κύπρος.

Κονοφάγος, Η. και Λυγερός, Ν., (2015) «Οι γεωτρήσεις υδρογονανθράκων της Ανατολικής Μεσογείου», <http://www.lygeros.org/articles.php?n=20466&l=en> (προσπ. 18-11-2019).

Κονοφάγος, Η., (2017) «Οι χαρτογραφήσεις των Κυπριακών και Αιγυπτιακών ΖΟΡ από την PGS», <https://energypress.gr/news/oi-hartografiseis-ton-kypriakon-kai-aigyptiakon-zor-apo-tin-pgs> (προσπ. 22-11-2019).

Κονοφάγος, Η., (2019) «Προβληματισμός στην Κρήτη, ο Ελληνικός νόμος υδρογονανθράκων δεν αρμόζει στο μέγεθος των κοιτασμάτων», Ακαδημία Αθηνών.

Μανδαλενάκη, Α., (2016) «Παραγωγή Βιοτασιενεργών ουσιών με χρήση βαρέων κλασμάτων αργού πετρελαίου ως πηγή άνθρακα», Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Μιχαηλίδης, Π., (2014) «Η Κύπρος στη ζώνη της ενέργειας», Η σημερινή, <https://simerini.sigmalive.com/article/2014/7/12/e-kupros-ste-zone-tes-energeias/> (προσπ. 20-11-2019).

Μουντράκης, Δ., (2001) «Συνοπτική γεωτεκτονική εξέλιξη του ευρύτερου Ελληνικού χώρου», <http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y/ch5.htm> (προσπ. 23-11-2019).

Μπογάτσας, Χ., (2011) «Περιγραφή διαφόρων τύπων εξεδρών άντλησης πετρελαίου και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους», Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη.

Νικολάου, Κ., (2012) «Σεισμικά μη αποκλειστικής χρήσης και διαδικασίες ανοιχτής πόρτας. Υπάρχουν ελπίδες;», παρουσίαση στην ημερίδα του ΤΕΕ, «Έρευνα και Εκμετάλλευση Υδρογονανθράκων στην Ελλάδα».

Νικολάου, Κ., (2013α) «Έρευνα υδρογονανθράκων στην Ελλάδα- Ιστορικό και Προοπτικές», <https://energypress.gr/news/dr-konstantinos-nikolaou-ereyna-ydrogonanthrakon-stin-ellada-istoriko-kai-prooptikes> (προσπ. 18-11-2019).

Νικολάου, Κ., (2013β) «Έρευνες Πετρελαίου και Εθνική Κυριαρχία. Οι περιπτώσεις της Ελλάδας και της Κύπρου», [https://www.iene.gr/articlefiles/dr%20k%20nikolaou\\_kyriarxia\\_march\\_2013.pdf](https://www.iene.gr/articlefiles/dr%20k%20nikolaou_kyriarxia_march_2013.pdf) (προσπ. 19-11-2019).

Νικολάου, Κ., (2018) «Πετρελαϊκά συστήματα και ανάλογα και η σημασία τους στην έρευνα και παραγωγή υδρογονανθράκων», Energean Oil and Gas, Petrochem Day, Ίδρυμα Μιχάλης Κακογιάννης, Αθήνα.

Παναγούλης, Θ., (2018) «Η ακτινογραφία των κοιτασμάτων στα οικόπεδα της Κύπρου- Γιατί πήρε φωτιά η Ν.Α. Μεσόγειος», <https://energypress.gr/news/i-aktinografia-ton-koitasmaton-sta-oikopeda-tis-kyproy-giati-pire-fotia-i-na-mesogeios> (προσπ. 9-11-2019).

Παπαμάλαμα, Ε., (2019) «Υποθαλάσσιες κατολισθήσεις και υπεράκτιες κατασκευές ενεργειακών υποδομών», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.

Περισοράτης, Κ., (2003) «Οι υδρίτες και η σημασία τους ως καύσιμη ύλη του μέλλοντος. Το ερευνητικό πρόγραμμα Αναξίμανδρος», Ελληνική Γεώσφαιρα.

Σοφοκλέους, Π., (2018) «EASTMED και ΑΟΖ προσδιορίζουν διχοτόμηση», <http://www.philenews.com/f-me-apopsi/paremvaseis-ston-f/article/590883/eastmed-kai-aoz-prosdiorizoyn-dichotomisi> (προσπ. 22-11-2019).

Σταματάκη, Σ., (2003) «Τεχνολογία Γεωτρήσεων», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Σταματάκη, Σ. και Αυλωνίτης, Γ., (2004) «Μηχανική Πετρελαίων», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Σταμπολής, Κ., (2016) «Η πρωτοπορία της Κύπρου και η βραδυπορία της Ελλάδας στην αξιοποίηση των υδρογονανθράκων», <https://www.energia.gr/article/111915/h-protoporia-ths-kyproy-kai-h-vradyporia-ths-elladas-sthn-axiopoihsh-ton-ydrogonanthrakon> (προσπ. 9-11-2019).

Τριανταφύλλου, Ι., (2016) «Τα τσουνάμι της Ανατολικής Μεσογείου- Καταγραφή και ανάπτυξη θεματικών χαρτών και γεωπεριβαλλοντική αξιοποίηση των περιοχών», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.



Τσακίρογλου, Α., (2014) «Οικολογικές συνέπειες εξόρυξης και μεταφοράς πετρελαίου στο θαλάσσιο οικοσύστημα της Μεσογείου», Πτυχιακή εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Χανιά.

Φιλίππου, Κ., (2019) «Ενδείξεις για κοίτασμα 10 τρις κυβικών ποδιών φυσικού αερίου νότια της Κρήτης- Ο «Τάλως» και οι ομοιότητές του με το Ζορ της Αιγύπτου», <https://energypress.gr/news/endeixeis-gia-koitasma-10-tris-kyvikon-podion-fysikoy-aerioy-notia-tis-kritis-o-talos-kai-oi> (προσπ. 20-11-2019).

Φιντικάκης, Γ., (2019) «Το ενεργειακό παιχνίδι στην Ανατολική Μεσόγειο και ο ρόλος της Ελλάδας», <https://www.liberal.gr/economy/to-energeiako-paichnidi-stin-anatoliki-mesogeio-kai-o-rolos-tis-elladas/271916> (προσπ. 19-11-2019).

Φυτιάνος, Κ., (1996) «Η ρύπανση των θαλασσών», University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Χαβέλας, Δ., (2016) «Βελτιστοποίηση της χάραξης υποθαλάσσιων δικτύων ενεργειακών καλωδίων για την αποφυγή γεωκινδύνων στη Μεσόγειο θάλασσα με χρήση Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

ΥΠΕΚΑ (2012α) «Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για την έρευνα και εκμετάλλευση υδρογονανθράκων, Τόμος β: Δυτικό Κατάκολο», Ανάδοχος: Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ), σε συνεργασία με την APC Advanced Planning- Consulting Σύμβουλοι Επιχειρήσεων Α.Ε..

ΥΠΕΚΑ (2012β) «Έρευνα για υδρογονάνθρακες, Διαδικασία ανοιχτής πρόσκλησης (open door)», <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=766&language=el-GR> (προσπ. 22-11-2019)

Υπηρεσία Υδρογονανθράκων, (2019α) «Ερευνητικές Δραστηριότητες», [http://www.mcit.gov.cy/mcit/hydrocarbon.nsf/page17\\_gr/page17\\_gr?OpenDocument](http://www.mcit.gov.cy/mcit/hydrocarbon.nsf/page17_gr/page17_gr?OpenDocument) (προσπ. 10-11-2019).

Υπηρεσία Υδρογονανθράκων, (2019β) «Άδειες που έχουν χορηγηθεί»,  
[http://www.mcit.gov.cy/mcit/hydrocarbon.nsf/page16\\_gr/page16\\_gr?OpenDocument](http://www.mcit.gov.cy/mcit/hydrocarbon.nsf/page16_gr/page16_gr?OpenDocument)  
(προσπ. 10-11-2019).

### **Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία**

Abdel Aal, A., El Barkooky, A., Gerits, M., Meyer, H.J., Schwander, M., and Zaki, H., (2001) “*Tectonic evolution of the Eastern Mediterranean Basin and its significance for the hydrocarbon prospectivity of the Nile Delta Deepwater Area*”, *GeoArabia*, 8(3), pp. 363- 384.

Aitken, W., (2015) “*Recent advances in OSV technology*”, Farstad shipping, Norway.

Akhmanov, G. and Woodside, J., (1998) “Mud volcanic samples in the context of the Mediterranean ridge mud diapiric belt”, *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, Vol. 160, pp. 597- 605.

Antonopoulos, J., (1992) “*The great Minoan eruption of Thera volcano and the ensuing tsunami in the Greek Archipelago*”, *Natural Hazards*, Vol. 5, Issue 2, pp 153-168.

Argus, D.F., Gordon, R.G., DeMets, C., Stein, S., (1989) “*Closure of the Africa-Eurasia-North America plate motion circuit and tectonics of the Gloria fault*”, *Journal Geophysical Research*, 94, pp. 5585- 5602.

Austin, D., Carriker, B., McGuire, T., Pratt, J., Priest, T. and Pulsipher, A.G., (2004) “*History of the offshore oil and gas industry in southern Louisiana: Interim report; Volume I: Papers on the evolving offshore industry*”, U.S. Dept. of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, LA. OCS Study MMS, pp. 2004- 2049.

Barcott, B. (2010) “*Forlorn in the Bayou*”, *National Geographic*, October.

Bayon, G., Henderson, G.M., & Bohn, M., (2009) “*U-Th stratigraphy of a cold seep carbonate crust*”, *Chemistry Geology*, 260, pp. 47– 56.

Berner, D. & Gerwick, B., (2001) “*Large floating concrete LNG/LPG offshore platforms*”, US-Japan Cooperative Program in Natural Resources Marine Facilities Panel, 24th Joint Meeting, November, Hawaii.

Billi, A., Minelli, L., Orecchio, B., Presti, D., (2010) “*Constraints to the Cause of Three Historical Tsunamis (1908, 1783, and 1693) in the Messina Straits Region, Sicily, Southern Italy*”, *Seismological Research Letters*, 81, pp. 907- 915.

Blasio, F., V., (2011) “*Introduction to the Physics of Landslides*”, Dordrecht, Springer.

Bohrmann, G., (2013) “Anaximander Mud Volcanoes”, <https://www.marum.de/Forschung/FS-Poseidon-P462-28.10.-21.11.2013-izmir-izmir.html> (προσπ. 14-12-2019).

Bolt, B., (2005) “*Earthquakes*”, s.l.: W.H. Freeman, U.S.A.

Bondevik, S., Mangerud, J., Dawson, S., Dawson, A., Lohne, Ø., (2003) “*Record-breaking height for 8000-year old tsunami in the North Atlantic*”, *EOS* 84, pp. 289– 293.

Borowski, W.S., and Paul, C.K., (1997) “*The gas hydrate detection problem: Recognition of shallow- subbottom gas hazards in deep water areas*”, Offshore Technology Conference, Houston Texas: OTC, pp. 211- 216.

Bourne, J. (2010) “*Is Another Deepwater Disaster Inevitable?*”, *National Geographic*, October.

Brauner C., Tröber S., Bertogg M., Zimmerli P., (2005) “*Tsunami in South Asia: Building financial protection*”, Zurich, Swiss Reinsurance Company, pp. 1-8.

Breen, A., (2017) “A new energy era for Egypt”, <https://www.bp.com/egypt-new-energy-era/> (προσπ. 11-12-2019).

British Petroleum, (2019) “*Statistical Review of World Energy*”, BP p.l.c., 68<sup>th</sup> Edition, London, United Kingdom.

Bryn, P., Berg, K., Forsberg, C., Solheim, A., Kvalstad, T., (2005) “*Explaining the Storegga Slide*”, *Marine and Petroleum Geology*, 22, pp. 11- 19.

Bryn, P., Østmo, S.R., Lien, R., Berg, K., and Tjelto, T.I., (1998) “*Slope stability in the deep water areas off mid-Norway*”, OTC Paper 8640 Presented at the 1998 Offshore Technology Conference, Houston, May 4-7.

Bugge, T., (1983) “*Submarine Slides on the Norwegian Continental Margin, With Special Emphasis on the Storegga Area*”, Continental Shelf Institute, Norway.

Bugge, T., Belderson, R. & Kenyon, N., (1998) “*The Storrega slide*”, *Phil. Trans. Royal Soc.*, 325(1586), pp. 357– 388.

Bullough, F., (2019) “How can we decarbonize economic development?”, <https://blog.geolsoc.org.uk/2019/10/08/how-can-we-decarbonise-economic-development/> (προσπ. 20-11-2019).

Camerlenghi, A., Cita, M.B., Della Vedova, B., Fusi, N., Mirabile, L., Pellis, G., (1995) “*Geophysical Evidence of Mud Diapirism on the Mediterranean Ridge Accretionary Complex*”, *Marine Geophysical Researches*, 17, pp. 115- 141.

Cavazza, W., Roure, F.M., Spakman, W., Stampfli, G.M., Ziegler, P.A., (2004) “*The TRANSMED Atlas. The Mediterranean Region from Crust to Mantle Geological and Geophysical Framework*”, A publication of the Mediterranean Consortium for the 32nd International Geological Congress, XXIV, 141 p. 44 illus., pp. 37.

Chadha R.K., Latha G., Yeh H., Peterson C., Katada T., (2005) “*The tsunami of the great Sumatra earthquake of M 9.0 on 26 December 2004 – Impact on the east coast of India*”, Current Science, 88, pp. 1297- 1301.

Chakrabarti, S., (2005) “*Handbook of Offshore Engineering*”, Elsevier.

Chua, L. W. Y. (2019) “*A strategy for power management of electric hybrid marine power systems*”, Doctoral thesis, Nanyang Technological University, Singapore.

Chiocci, F.L., Cattaneo, A. & Urgeles, R., (2011) “*Seafloor mapping for geohazards assessment: state of the art*”, Marine Geophysical Research, 32: 1.

CIESM, (2011) “*Marine Geo-Hazards in the Mediterranean*”, No. 42 in CIESM Workshop Monographs, F. Briand Ed., Monaco, pp. 192.

Continental Marine Energy, (2019) “*Services*”,  
<https://www.cm-energy.com.my/services> (προσπ. 10-10-2019).

Cordes, E.,E, Jones, D.,O.,B., Schlacher, T.,A., Amon, D.,J., Bernardino, A.,F., Brooke, S., Carney, R., DeLeo, D.,M., Dunlop, K.,M., Escobar-Briones, E.,G., Gates, A.,R., Génio, L., Gobin, J., Henry, L.,A., Herrera, S., Hoyt, S., Joye, M., Kark, S., Mestre, N.,C., Metaxas, A., Pfeifer, S., Sink, K., Sweetman, A.,K., and Witte, U., (2016) “*Environmental Impacts of the Deep-Water Oil and Gas Industry: A Review to Guide Management Strategies*”, Frontiers in Environmental Science, pp. 4- 58, doi: 10.3389/fenvs.2016.00058.

Davis, E.H. and Booker, J.R. (1973) “*The effect of increasing strength with depth on the bearing capacity of clays*”, Geotechnique, 23(4), pp. 551– 563.

Dean, E.T.R., (2010) “*Offshore geotechnical engineering- Principles and practice*”, Thomas Telford Limited, London, UK.

Delek Group, (2012) “*Leading Israeli Energy & Infrastructure Group*”, DG LTD Report, November 2012, Tel Aviv, Israel.

Dell' Amore, C., (2010) “Much gulf oil remains, deeply hidden and under beaches”, <https://www.nationalgeographic.com/news/2010/8/100805-gulf-oil-spill-cement-static-kill-bp-science-environment/> (προσπ. 5-12-2019).

DeMets, C., Gordon, R.G., Argus, D.F., (2010) “*Geologically current plate motions*”, *Geophys. J. Int.*, 181, pp. 1– 80.

Dimitrov, L.I., (2002) “*Mud volcanoes — the most important pathway for degassing deeply buried sediments*”, *Earth-Science Reviews*, 59, pp. 49- 76.

DNV GL, (2017) “*Transport and installation of wind power plants*”, Standard-DNVGL-ST-0054, Edition June 2017.

Donnelly, M., (2010) “*Oil, oil everywhere*”, *Velador*, Issue 2, Gainesville, U.S.A.

Energy Information Administration, (2016) “*Offshore oil production in deepwater and ultra- deepwater is increasing*”, <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=28552> (προσπ. 07-10-2019).

Energy Information Administration, (2016) “*Offshore production nearly 30% of global crude oil output in 2015*”, <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=28492> (προσπ. 08-10-2019).

Eni (2008) “*Encyclopedia of Hydrocarbons*”, 3.4 Offshore Drilling, Eni, pp. 373-383.

Eni (2019) “*World Oil & Gas Review 2019*”, Eni Publications, Italy.

Esestime, P., Hewitt, A. and Hodgson, N., (2016) “*Zohr- A newborn carbonate play in the Levantine Basin, East- Mediterranean*”, *First break*, 34, EAGE.

European Commission, (2010) “*Safety of Offshore Oil and Gas Exploration and Production*”, [https://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-10-486\\_en.htm](https://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-10-486_en.htm) (προσπ. 11-10-2019).

Feseker, T., Brown, K.R., Blanchet, C., Scholz, F., Nuzzo, M., Reitz, A., Schmidt, M., & Hensen, C., (2010) “Active mud volcanoes on the upper slope of the western Nile deep-sea fan<sup>2</sup> first results from the P362/2 cruise of R/V Poseidon”, *Geo-Marine Letters*, 30(3/4), pp. 169–186.

Geo Ex Pro, (2019) “*Giant gas field discovery offshore Cyprus*”, *GEO Ex Pro geoscience magazine*, 16, No2.

Gold, R., (2014) “Deepwater Horizon oil spill linked to failed blowout preventer”, <https://www.wsj.com/articles/investigators-fault-blowout-preventer-in-deepwater-horizon-oil-spill-1401984643> (προσπ. 7-12-2019).

Guidoboni, E., Comastri, A., (1997) “*The large earthquake of 8 August 1303 in Crete: seismic scenario and tsunami in the Mediterranean area*”, *Journal of Seismology*, 1, pp. 55–72.

Gulmammadov, R., (2017) “*Seismic Geomechanics of Mud Volcanoes*”, University of Manchester, UK.

Haflidason, H., Lien, R., Sejrup, H.P., Forsberg, C.F., Bryn, P., (2005) “*The dating and morphometry of the Storegga Slide*”, *Marine and Petroleum Geology*.

Harbitz, C.B., Løvholt, F., Pedersen, G. & Masson, D.G., (2006) “*Mechanisms of tsunami generation by submarine landslides: a short review*”, *Norwegian Journal of Geology*, Vol. 86, pp. 255-264.

Hart, F., (2015) “*Peak Oil- A Turning Point for Transport*”, 30<sup>th</sup> Australasian Transport Research Forum, Australia.

Heim, A., (1932) “*Bergsturz und Menschenleben*”, Zurich, Switzerland: Fretz und Wasmuth.

Henkel, D., (1970) “*The role of waves in causing submarine landslides*”,  
Geotechnique, 20(1), pp. 75- 80.

Hilzenrath, D.S., (2018) “*When all hell breaks loose: years after deepwater horizon, offshore drilling hazards persist*”, <https://www.pogo.org/investigation/2018/12/when-all-hell-breaks-loose-years-after-deepwater-horizon-offshore-drilling-hazards-persist/> (προσπ. 6-12-2019).

Hovland, M., and Gudmestad, O.T., (2001) “*Potential Influence of Gas Hydrates on Seabed Installations*”, In: Paull, C.K., and Dillon, W.P. (eds.) “*Natural Gas Hydrates: Occurrence, Distribution, and Detection*”, American Geophysical Union, pp. 307-315.

Hübscher, C., Tahchi, E., Klauke, I., Maillard, A., Sahling H., (2009) “*Salt tectonics and mud volcanism in the Latakia and Cyprus Basins, eastern Mediterranean*”, Tectonophysics, V. 470, Issues 1-2, pp. 173- 182.

Huguen, C., Foucher, J.P., Mascle, J., Ondréas, H., Thouement, M., Gontharet, S., Stadnitskaia, A., Pierre, C., Bayon, G., Loncke, L., Boetius, A., Bouloubassi, I., de Lange, G., Caprais, J.C., Fouquet, Y., Woodside, J., Dupré S., (2009), “*Menes caldera, a highly active site of brine seepage in the Eastern Mediterranean sea: In situ observations from the NAUTINIL expedition (2003)*”, Marine Geology, 261, Issues 1-4, pp. 138-152.

International Seismological Centre, (2009) “*EHB Bulletin*”, ISC, Thatcham, United Kingdom.

Kopf, A., (2002) “*Significance of mud volcanism*”, Reviews of Geophysics, pp. 40.

Korup, O., (2012) “*Earth’s portofolio of extreme sediment transport events*”, Earth-Science Reviews, 112 (3-4), pp. 115- 125.



Kramer, K.V. and Shedd, W.W., (2017) “A 1.4- Billion- Pixel Map of the gulf of Mexico seafloor”, <https://eos.org/science-updates/a-1-4-billion-pixel-map-of-the-gulf-of-mexico-seafloor> (προσπ. 6-12-2019).

Kurian, V.J., Ng, C.Y., Liew, M.S., (2013) “*Dynamic Responses of Truss Spar due to wave actions*”, Research Journal of Applied Sciences, Engineering Technology, 5(3), pp. 812-818.

Kvalstad, T., (2007) “*What is current “Best Practice” in offshore geohazard investigations? A state-of-the-art review*”, Houston, Texas, s.n.

Kvalstad, T.J., Nadim, F. and Harbitz, C.B., (2001) “*Deepwater geohazards: Geotechnical concerns and solutions*”, Proc. Annu. Offshore Tech. Conf., Houston, Texas, Paper OTC 12958.

Kvenvolden, K.A., (1993) “*Gas hydrates geological perspective and global change*”, Reviews of Geophysics, 2(31), pp. 173- 187.

Kvenvolden, K.A., (1999) “*Potential effects of gas hydrate on human welfare*”, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 96 (7), pp. 3420- 3426.

Lee, K.K. (2009) “*Investigation of Potential Spudcan Punch-Through Failure on Sand Overlaying Clay Soils*”, PhD Thesis, University of Western Australia.

Li, M., (2018) “*World Oil 2018- 2050: World Energy Annual Report*”, <http://peakoilbarrel.com/world-oil-2018-2050-world-energy-annual-report-part-2/> (προσπ. 15-11-2019).

Liu P.L.F., Lynett P. Fernando H., Jaffe B.E., Fritz H., Higman B., Morton R., Goff J., Synolakis C., (2005) “*Observations by the International Tsunami Survey Team in Sri Lanka*”, Science, 308, pp. 1595.

Loncke, L., Mascle, J., & Fanil Science Party, (2004) “*Mud volcanoes, gas chimneys pockmarks and ridges in the Nile deep-sea fan (Eastern Mediterranean): geophysical evidences*”, Marine Petroleum Geology, 21, pp. 669– 689.

Lu, Y., (2001) “*Rational Exploitation of Resources and Prevention of Geohazards in Karst Regions*”, Acta Geologica Sinica (English Edition), 75 (3), pp. 239- 248.

Lu, Y., Peng, Y., Tang, R., Sha, H., (2008) “*Determination of seismic fortification level of offshore platforms in China*”, 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.

Lykousis, V., Alexandri, S., Woodside, J., Nomikou, P., Perissoratis, C., Sakellariou, D., de Lange, G., Dahlmann, A., Casas, D., Rousakis, G., Ballas, D. & Ioakim C., (2004) “*New evidence of extensive active mud volcanism in the Anaximander mountains (Eastern Mediterranean): The ATHINA mud volcano*”, Environmental Geology, 46, pp. 1030- 1037.

Makogon, Y.F., Holditch, S.A., and Makogon, T.Y., (2007) “*Natural gas hydrates- A potential energy source for the 21<sup>st</sup> Century*”, Journal of Petroleum Science and Engineering, 56 (1), pp. 14- 31.

Mascle, J., Mascle, G., (2012) “*Geological and Morpho-tectonic Map of the Mediterranean domain: a synthesis at the scale of 1:4000000*”, Spec.Public. CCGM/UNESCO, Paris.

Mazzini, A. and Etiope, G., (2017) “*Mud volcanism: An updated review*”, Earth Science Reviews, Elsevier, 168, pp. 81-112.

McIver, R.D., (1982) “*Role of naturally occurring gas hydrates in sediment transport*”, AAPG Bulletin, 66(6), pp. 789-792.

McGuire, B. & Maslin, M., (2013) “*Climate Forcing of Geological Hazards*”, The Royal Society and John Wiley & Sons, Ltd, UK.

Merey, S. and Longinos, S., (2018) “*Investigation of gas seepages in Thessaloniki mud volcano in the Mediterranean Sea*”, Journal of Petroleum Science and Engineering, Elsevier, 168, pp 81-97.

Micallef, A., Krastel, S. and Savini, A., (2018) “*Submarine Geomorphology*”, Springer International Publishing AG.

Minshull, T., Marin-Moreno, H., Betlem, P., Bialas, J., Bunz, S., Burwicz, E., Cameselle, A., Cifci, G., Giustiniani, M., Hillman, J., Holz, S., Hopper, J., Ion, G., Leon, R., Magalhaes, V., Makovsky, Y., Mata, M., Max, M., Nielsen, T., Okay, S., Ostrovsky, I., O'Neill, N., Pinheiro, L., Plaza-Faverola, A., Rey, D., Roy, S., Schwalenberg, K., Senger, K., Vadakkepuliambatta, S., Vasilev, A., Vazquez, J., (2019) “*Hydrate occurrence in Europe: A review of available evidence*”, Marine and Petroleum Geology 111, Elsevier, pp 735– 764.

Morand, S. and Lajaunie, C., (2018) “*Biodiversity and Health- Linking Life, Ecosystems and Societies*”, Elsevier, pp. 63- 81.

Mosher, D., Shipp, C., Moscardelli, L., Chaytor, J., Baxter, C., Lee, H., Urgeles, R., (2010) “*Submarine Mass Movements and their Consequences*”, Canada, Springer.

Mountjoy, J., Micallef, A., (2018) “*Submarine Landslides*”, Submarine Geomorphology, Springer Geology, Springer, Cham.

Munich Re, (2005) “*Major earthquakes and tsunamis, 1900-2004*”, NatCatService, GeoRisks Department, Munich Re.

National Oceanic and Atmospheric Administration, (2019) “How does NOAA help clean up oil and chemical spills?”, <https://oceanservice.noaa.gov/facts/spills-cleanup.html> (προσπ. 6-12-2019).

Nikolaou, K. (2001) “*Origin and migration mechanism of the main hydrocarbon seeps in western Greece*”, Bulletin of the Geological Society of Greece, 34(3), pp. 1213-1219.

NOAA (2010) “*NOAA Ocean Explorer: Expedition to the Deep Slope*”, National Oceanic and Atmospheric Administration, US Department of Commerce, [http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/06mexico/background/oil/media/types\\_600.html](http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/06mexico/background/oil/media/types_600.html) (προσπ. 05-10-2019).

OCEANA, (2019) “*Seismic Airgun Blasting*”, [https://usa.oceana.org/our-campaigns/seismic\\_airgun\\_testing/learn-more](https://usa.oceana.org/our-campaigns/seismic_airgun_testing/learn-more) (προσπ. 02-11-2019).

Osborne, J.J. and Paisley, J.M. (2002) “*SE Asia jack-up punch-throughs: The way forward?*” Proc. Int. Conf. Offshore Site Invest. Geotech. - Sustainability and Diversity. London, pp. 301– 306.

OSPAR Commission, (2010) “*The Quality Status Report 2010—Chapter 7—Offshore Oil and Gas Industry*”, OSPAR Commission, London, pp.65.

Papadopoulos, G.A., Gràcia, E., Urgeles, R., Sallares, V., De Martini, P.M., Pantosti, D., González, M., Yalciner, A.C., Mascle, J., Sakellariou, D., Salamon, A., Tinti, S., Karastathis, V., Fokaefs, A., Camerlenghi, A., Novikova, T., and Papageorgiou, A., (2014) “*Historical and pre-historical tsunamis in the Mediterranean and its connected seas: Geological signatures, generation mechanisms and coastal impacts*”, Marine Geology, DOI: 10.1016/j.margeo.2014.04.014.

Phrampus, B.J. and Hornbach, M.J., (2012) “*Recent changes to the Gulf Stream causing widespread gas hydrate destabilization*”, Nature, 490 (7421), pp. 527- 530.

Pincock S., (2005) “*Indonesia struggles to resurrect health services*”, The Lancet, 365, pp. 281.

Planke, S., Svensen, H., Horland, M., Banks, D.A., Jamtveit, B., (2003) “*Mud and fluid migration in active mud volcanoes in Azerbaijan*”, Geo-Marine Letters, 23, pp. 258-268.

Randolph, M. & Gourvenec, S., (2011) “*Offshore Geotechnical Engineering*”, Spon Press, U.S.A.

Refaat, T., (2019) “Zohr field production hits 2,7 Bln CFPD”, <https://see.news/zohr-field-production-hits-2-7-bln-cfpd/> (προσπ. 9-12-2019).

Rouchy, J.M., Caruso, A., (2006) “*The Messinian salinity crisis in the Mediterranean basin: a reassessment of the data and an integrated scenario*”. *Sediment Geol*, 188–189, pp. 35– 67.

Ruppel, C., Boswell, R., and Jones, E., (2008) “*Scientific results from Gulf of Mexico Gas Hydrates Joint Industry Project Leg1 drilling: Introduction and overview*”, *Marine and Petroleum Geology*, 25(9), pp. 819- 829.

Sardou, O., Mascle, J., (2003) “Cartography by multibeam echo-sounder of the Nile deep-sea Fan and surrounding areas (2 sheets)”. Special publication CIESM, Monaco.

Scheffers, A., Kelletat, D., Vött, A., May, S. M., Scheffers, S., (2008) “*Late Holocene tsunami traces on the western and southern coastlines of the Peloponnesus (Greece)*”, *Earth & Planetary Sciences Letters* 269, 271-279. Scranton, R., 1967. The architecture of the sanctuary of Apollo Hylates at Kourion, *TAPS*, 57(5), pp. 3- 85.

Schiermeler Q., (2005a) “*Tsunamis: a long-term threat*”, *Nature*, 433, pp. 4.

Schiermeler Q., (2005b) “*On the trail of destruction*”, *Nature*, 433, pp. 350- 353.

Sahling, H., Rickert, D., and Suess, E., (1999) “*Faunal community structure along a sulphide gradient: Interrelationship between porewater chemistry and organisms associated with gas hydrates, Oregon subduction zone*”, *EOS- Transactions of the American Geophysical Union*, 80 (46), pp. F510.

Simpson, D., (2017) “*Practical Onshore Gas Field Engineering*”, book, Gulf Professional Publishing, Elsevier.

Sooraj, S., (2016) “*Blowout Preventer*”, Central Polytechnic College, Thiruvananthapuram, Kerala, India.

Spagnoli, G., Finkenzeller, S., Freudenthal, T., Hoekstra, T., Woollard, M., Storteboom, O., Weixler, L., (2015) “*First Deployment of the Underwater Drill Rig MeBo200 in the North Sea and its Applications for the Geotechnical Exploration*”, SPE Offshore Europe Conference and Exhibition, At Aberdeen, Scotland, UK.

Stephen, C., (2019) “Egypt’s gas gold rush”, <https://www.petroleum-economist.com/articles/upstream/exploration-production/2019/egypts-gas-gold-rush> (προσπ. 10-12-2019).

Tappin, D., (2010) “*Submarine mass failures as tsunami sources: their climate control*”, Phil. Trans. R. Soc. A (2010)368, 2417–2434.

UNEP., (2009) “*Global Environment Outlook 4*”, Malta: Progress Press Ltd, pp. 1-560.

Urgeles, R., Camerlenghi, A., (2013) “*Submarine landslides of the Mediterranean Sea: trigger mechanisms, dynamics and frequency-magnitude distribution*”, J. Geophys. Res. Earth Surface, 118, pp. 2600- 2618.

Vergoulis, P. and Damigos, D., (2013) “*Oil development and social acceptance in Greece: The Katakolo field case*”, 6<sup>th</sup> International Conference on Sustainable Development in the Minerals Industry, Milos island, Greece.

Wilson, J. (2003) “*Dynamics of offshore structures*”, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. Published simultaneously in Canada.

Woodside, J., Mascle, J., Ziitter, T., Limonov, A., Ergun, M., Volkonskaia, A., shipboard scientists of the PRISMED II Expedition, (2002) “The Florence Rice, the Western Bend of the Cyprus Arc”, Marine Geology, 185, pp. 177- 194.

WWF, (2018) “*Map of Hydrocarbons*”, WWF Hellas.

Yalciner A.C., Pelinovsky E.N., Kuran U., Taymaz T., Zaitsev A., Ozyurt G., Ozer C., Karakus H., Safak I., (2005) “*Simulation and comparison with field survey results of Dec., 26, 2004 tsunami*”, Middle East Technical University, Turkey.

Yergin, D., (1993) “*The Prize: The EPic Quest for Oil, Money and Power*”, Free Press.

Yonggang, J., Chaoqi, Z., Liping, L., Wang, D., (2016) “*Marine Geohazards: Review and Future Perspective*”, Acta Geologica Sinica (English Edition), 90 (4), pp. 1455-1470.

Zuijggeest, A. and Huettel, M., (2012) “*Dispersants as Used in Response to the MC252-Spill Lead to Higher Mobility of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Oil-Contaminated Gulf of Mexico Sand*”, PLoS ONE 7(11): e50549. doi: 10.1371/journal.pone.0050549.