



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

*ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ*

## **Εξόρυξη βαθιάς θάλασσας – Θεσμικό πλαίσιο, τεχνολογία και επιπτώσεις**

Διπλωματική Εργασία

του Στεφανίδη Στέργιου, mre00144

που υποβάλλεται στο Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων  
του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας  
για τη μερική εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης  
του Διπλώματος Μηχανικού Ορυκτών Πόρων ΠΔΜ

Επιβλέπων Καθηγητής  
Δρ. Καπαγερίδης Ιωάννης



Κοζάνη, Ιούλιος 2024

**Για τον παππού μου, Στεφανίδη Αστέριο και  
το σθένος που μου έδωσε να προοδεύσω στις σπουδές μου.**

## Περίληψη Διπλωματικής

Η διπλωματική πραγματεύεται και μελετά το θέμα με τίτλο « Εξόρυξη βαθιάς θάλασσας θεσμικό πλαίσιο, τεχνολογία και επιπτώσεις». Ειδικότερα, εξετάζονται οι τεχνικές, και οι θεσμικές πτυχές ενός έργου εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων τις βαθιάς θάλασσας. Τελικός σκοπός αυτής είναι η αφύπνιση και η ενημέρωση του αναγνώστη σχετικά με όλο το φάσμα που κρύβεται στα βαθιά νερά της γης. Αυτό είναι επιτεύξιμο μέσω της δόμησης όπου έχει πραγματοποιηθεί κατά τη συγγραφή της. Κάθε κεφάλαιο αναλαμβάνει την εμβάθυνση σε κομβικά σημεία του θέματος, αποδομώντας το και προσφέροντας μέσα από τις ενότητές του μια λεπτομερή εικόνα για τα πολυμεταλλικά κοιτάσματα και τη μελλοντική τους σχέση με τον άνθρωπο.

Ως προς τα κομβικά σημεία, η εν λόγω διπλωματική ξεκινά με μια βασική εισαγωγή στον κόσμο των πολυμεταλλικών κοιτασμάτων. Καλύπτει έπειτα έννοιες γεωλογικού ενδιαφέροντος ως προς το τι είναι οι πόροι αυτοί και πως σχηματίστηκαν, καθώς και μια εκτεταμένη αναζήτηση για τις πιο πρόσφατες λεπτομέρειες πάνω στο νομικό πλαίσιο που πρέπει να σχηματιστεί για την εν δυνάμει έναρξη των έργων εκμετάλλευσης. Πέρα από την σχέση του ανθρώπου με τα πολυμεταλλικά κοιτάσματα ερευνώνται τα υποθαλάσσια οικοσυστήματα, οι οργανισμοί που ζουν σε αυτά και το τεχνολογικό υπόβαθρο που υπάρχει, δίνοντας μια ολοκληρωμένη ματιά στους σκοπούς που έχει ο άνθρωπος για την απόσπαση των πολυμεταλλικών κοιτασμάτων και ποιες θα είναι οι αντίστοιχες επιπτώσεις στο ενδεχόμενο έναρξής της.

## Abstract

The thesis explores the topic titled "Deep Sea Mining: Regulatory Framework, Technology, and Impacts." It specifically examines the technical and institutional dimensions of a project aimed at exploiting deep-sea mineral deposits. The primary objective is to raise awareness and educate readers about the complexities and hidden aspects of deep-sea environments. This is achieved through a structured approach that systematically dissects the topic, offering a thorough understanding of polymetallic deposits and their potential future implications for humanity.

In terms of its critical points, the thesis commences with a fundamental introduction to polymetallic deposits, explaining what they are and how they are formed from a geological perspective. It then delves into an extensive review of the latest developments regarding the legal framework necessary for initiating exploitation projects. Beyond examining the human connection with polymetallic deposits, the thesis investigates underwater ecosystems, the organisms inhabiting these environments, and the technological advancements relevant to deep-sea mining. This comprehensive analysis provides a detailed overview of humanity's goals in extracting these deposits and the potential impacts of such activities.

## Πρόλογος

Σε ένα σύγχρονο κόσμο που η ανάπτυξη και η πρόοδος αυξάνονται εκθετικά, ο καταναλωτισμός και η συνεχής μάχη για την εύρεση και παροχή πρώτων υλών ακολουθούν την ανάλογη πορεία. Σε όλο το εύρος της ανθρώπινης ιστορίας οι πρώτες ύλες αποτέλεσαν καθοριστικό παράγοντα στον τρόπο ζωής αλλά και επιβίωσης. Για την επιτυχή συγκέντρωση των φυσικών μεταλλικών πόρων ο άνθρωπος κλήθηκε να έρθει αντιμέτωπος με ποικίλες καταστάσεις. Στην ανάγκη για επιβίωση και ανάπτυξη στοχοποιήθηκαν εκτάσεις πλούσιες στα πολυπόθητα αυτά υλικά, οι οποίες απαλλοτριώθηκαν, παίρνοντας μαζί τους τη χλωρίδα και την πανίδα που είχε αναπτυχθεί γύρω από αυτές.

Στη σύγχρονη εποχή και κατά τη συγγραφή αυτής της διπλωματικής ο άνθρωπος καλείται να πάρει για μια ακόμη φορά κομβικές αποφάσεις για το μέλλον του. Τα δυσχερή φαινόμενα που παρουσιάζονται με τις αλλαγές στο κλίμα του πλανήτη ωθούν προς μια νέα βλέψη για το πως και από που ο άνθρωπος θα προμηθευτεί τις πρώτες ύλες για την επιτυχή και άνετη διαβίωσή του.

## Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη Διπλωματικής .....	3
Abstract .....	4
Πρόλογος .....	5
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στην εξόρυξη βαθιάς θάλασσας .....	10
1.1 Τι ορίζεται ως εξόρυξη βαθιάς θάλασσας .....	10
1.1.1 Γενικός ορισμός και εμφανίσεις .....	10
1.2 Χρονολογική Αναφορά.....	12
1.3 Κρίσιμα μέταλλα.....	16
1.3.1 Κοβάλτιο (Cobalt).....	16
1.3.2 Νικέλιο (Nickel).....	16
1.3.3 Μαγγάνιο (Manganese) .....	17
1.3.4 Σπάνιες γαίες (Rare Earth Elements) .....	17
Κεφάλαιο 2: Πολυμεταλλικά Κοιτάσματα .....	18
2.1 Είδη και σύσταση πολυμεταλλικών κοιτασμάτων .....	18
2.1.1 Πολυμεταλλικοί Σβόλοι.....	18
2.1.2 Πολυμεταλλικά Σουλφίδια .....	20
2.1.3 Πολυμεταλλικές κρούστες .....	22
2.2 Περιοχές Μελέτης και Άμεσου Οικονομικού Ενδιαφέροντος .....	23
2.2.1 Ζώνη του Clarion Clipperton.....	24
2.2.2 Η Πολυμεταλλική Λεκάνη του Περού και η Αξιολόγηση του Project BISCOL ..25	
2.2.3 Πολυμεταλλικές Αποθέσεις του Ινδικού Ωκεανού.....	27
2.2.4 Πολυμεταλλικές Αποθέσεις των Cook Islands.....	29
2.2.5 Πολυμεταλλικές αποθέσεις ανά την υφήλιο .....	31
2.3 Σχηματισμός Πολυμεταλλικών Κοιτασμάτων.....	32
2.3.1 Υδρογενετική Κατακρήμνιση .....	33

2.3.2. Διαγενετική Κατακρήμνιση .....	33
2.3.3 Υδροθερμική Κατακρήμνιση.....	35
<b>Κεφάλαιο 3: Νομικό πλαίσιο και αρμόδιοι οργανισμοί.....</b>	<b>37</b>
3.1 Διεθνείς Συνθήκες και Συμφωνίες.....	37
3.1.1 Συνθήκη UNCLOS .....	37
3.1.2 Συνθήκη OSPAR .....	38
3.2 Διεθνείς Στόχοι και Νομικό Πλαίσιο για την εξόρυξη βαθιάς θάλασσας.....	41
3.2.1 Κυρίοι Στόχοι του Διεθνούς Οργανισμού Διαχείρισης του Θαλάσσιου πυθμένα (ISA) .....	41
3.2.2 Κώδικας Μεταλλευτικών Εργασιών για την Εξόρυξης Βαθιάς Θάλασσας .....	44
3.3 Έννοιες Νομικού πλαισίου .....	44
3.3.1 Ανοιχτή Θάλασσα.....	45
3.3.2 Εγχωρία Ύδατα- Αιγιαλίτιδα Ζώνη.....	46
3.3.3 Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη.....	48
3.3.4 Ακτογραμμή.....	49
3.3.5 Υφαλοκρηπίδα .....	49
3.4 Προβληματισμοί για την UNCLOS και τη Θέσπιση Νομικού Πλαισίου.....	50
<b>Κεφάλαιο 4: Υποθαλάσσια οικοσυστήματα και Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της Εξόρυξης βαθιάς θάλασσας.....</b>	<b>53</b>
4.1 Υποθαλάσσια οικοσυστήματα και βαθμοί αλλοίωσης. ....	53
4.1.1 Η έννοια της βιοποικιλότητας στην φύση.....	53
4.1.2 Η ζωή στην άβυσσο, η αζωική Θεωρία και η σύγκρισή της με τα ρηχά ύδατα ..	55
4.1.3 Θαλάσσιες ζώνες .....	57
4.1.4 Τα οικοσυστήματα της Βαθιάς Θάλασσας .....	58
4.2 Οργανισμοί της Βαθιάς θάλασσας.....	62
4.2.1 Οι οργανισμοί στα βάθη της ανοιχτής θάλασσας .....	63
4.2.2 Οι Συνθήκες της βαθιάς θάλασσας και η προσαρμογή των υδρόβιων οργανισμών σε.....	64

αυτές.....	64
4.3 Επιπτώσεις από την εξόρυξη βαθιάς θάλασσας .....	65
4.3.1 Η απουσία γνώσεων για τον πυθμένα της Αβύσσου .....	66
4.3.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και οι πηγές τους.....	68
4.3.3 Πειράματα και παρατηρήσεις .....	71
4.3.4 Δείκτες και παράμετροι για τη μείωση της περιβαλλοντικής αλλοίωσης .....	73
4.4 Σύγκριση της εξόρυξης βαθιάς θάλασσας με επιφανειακές εξορύξεις.....	74
Κεφάλαιο 5: Τεχνολογία, Ανάπτυξη και Εξοπλισμός .....	77
5.1 Η διαδικασία εξόρυξης βαθιάς θάλασσας και τα δομικά της μέρη .....	77
5.2 Υποθαλάσσιοι Συλλέκτες .....	80
5.1.1 Συλλέκτες σβόλων με υδραυλικό σύστημα διαλογής.....	81
5.1.2 Συλλέκτες σβόλων με μηχανικό σύστημα διαλογής.....	82
5.1.3 Συλλέκτες σβόλων με ρομποτικά συστήματα διαλογής .....	82
5.2 Σύστημα αναρρόφησης και μεταφοράς υλικού .....	83
5.2.1 Σύστημα μεταφοράς RAS (Riser Air Lift System).....	83
5.2.2 Υδραυλικό σύστημα μεταφοράς.....	85
5.2.3 Σύστημα μεταφοράς με τη χρήση κάδων.....	85
5.2.4 Σύστημα μεταφοράς με πεπιεσμένο αέρα.....	86
5.3 Πλοίο/α συγκέντρωσης, επεξεργασίας και διαχωρισμού .....	87
5.3.1 Βασικές αρμοδιότητες βοηθητικών πλοίων.....	87
5.3.2 Εξοπλισμός βοηθητικών πλοίων και παραδείγματα ενεργών μονάδων .....	89
5.4 Υποθαλάσσια συστήματα εξερεύνησης και παρακολούθησης του βυθού .....	89
5.4.1 Οπτικά συστήματα παρακολούθησης.....	90
5.4.2 Συστήματα παρακολούθησης ήχων και υπέρηχων .....	90
5.4.3 Συστήματα παρακολούθησης ιζημάτων .....	90
5.4.4 Ηλεκτρικά Συστήματα Αντίστασης και Δυναμικού .....	90



5.4.5 Συστήματα Συνεργατικής Λειτουργίας Υποβρυχίων (Comparative Submersible Systems).....	91
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα για την εξόρυξη βαθιάς θάλασσας .....	92
6.1 Συμπεράσματα για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	92
6.1.1 Διατάραξη του Θαλάσσιου Πυθμένα.....	93
6.1.2 Απελευθέρωση Ρύπων .....	93
6.2 Τεχνολογικές Προκλήσεις .....	93
6.2.1 Υποθαλάσσιοι Συλλέκτες .....	94
6.2.2 Συστήματα Μεταφοράς Υλικών .....	94
6.3 Θεσμικό Πλαίσιο και τι θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη οι αρμόδιοι .....	94
6.3.1 Διεθνείς Κανονισμοί .....	94
6.3.2 Εθνικές Νομοθεσίες.....	95
6.4 Τελικά συμπεράσματα .....	95
Βιβλιογραφία .....	96

# Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στην εξόρυξη βαθιάς θάλασσας

## 1.1 Τι ορίζεται ως εξόρυξη βαθιάς θάλασσας

Από τα πρώτα βήματα του ανθρώπου στην γη, η θάλασσα κατείχε κομβικό ρολό στην ανάπτυξη μας σαν είδος. Σε αυτήν οφείλουν την ακμή τους ακόμη και οι αρχαιότεροι πληθυσμοί, καθώς με την εξερεύνηση των υδάτων οι ανθρώπινοι της επικρατείας συνδέθηκαν μέσω της ανταλλαγής αγαθών, απόψεων και στοιχείων από διαφορετικές κουλτούρες (Chesters & Jickells, 2012). Αποτελεί μέχρι και σήμερα μια αδάμαστη από εμάς δύναμη που καταλαμβάνει σημαντικό μέρος του πλανήτη. Ειδικότερα, το 97% των συνολικών υδάτων της γης απαρτίζει τους ωκεανούς μας, μια έκταση ισοδύναμη με περισσότερο από τα δύο τρίτα της επιφάνειας του φλοιού. Εντός αυτών εντοπίζονται πόροι και λειτουργίες ζωτικής σημασίας για τον άνθρωπο, η παροχή ψαριών μέσω της αλιείας, πρώτες ύλες που βρίσκουν χρήση σε διάφορους κλάδους όπως η παραγωγή ενέργειας, η φαρμακευτική βιομηχανία και η κατασκευαστική βιομηχανία (Visbeck et al., 2014).

### 1.1.1 Γενικός ορισμός και εμφανίσεις

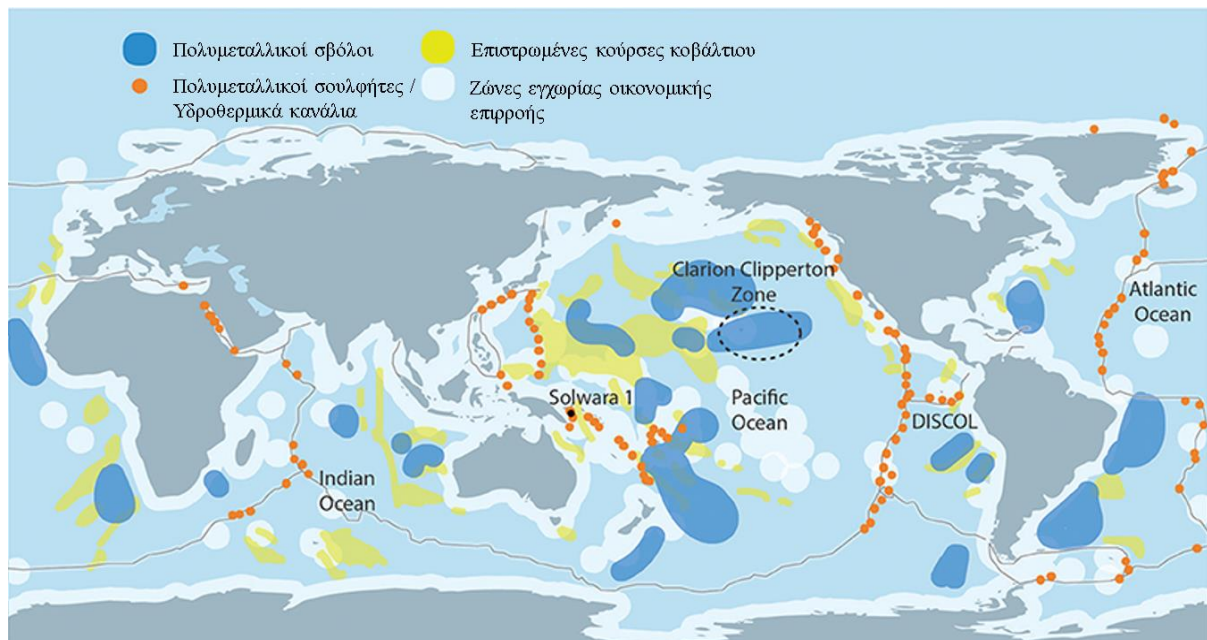
Με τον ορό εξόρυξη βαθιάς θάλασσας περιγράφονται οι ενέργειες που αποσκοπούν στην ανάκτηση πρώτων υλών από τον πυθμένα της θάλασσας. Ειδικότερα, αναφερόμαστε στην εκμετάλλευση αποθέσεων μετάλλων και διάφορων ανόργανων ενώσεων, βάθους μεγαλύτερου των 200 μέτρων.

Τα κοιτάσματα που υπόκεινται κάτω από την αιγίδα του γενικού ορισμού είναι:

- Τα κοιτάσματα **πολυμεταλλικών σβόλων** (Polymetallic Nodules), τα οποία απαρτίζονται από σφαιροειδή συμπυκνώματα μετάλλων σε κοκκώδη μορφή, όπως το Μαγγάνιο (Mn), το Νικέλιο (Ni), τον Χαλκό (Cu) και το Κοβάλτιο (Co).
- Κοιτάσματα **θειούχων ενώσεων με μεταλλικά στοιχεία** (Polymetallic Sulphides), όπως Χρυσό (Au), Ασήμι (Ag), Χαλκό (Cu), Μόλυβδο (Pb), Ψευδάργυρο (Hg) και όσων μετάλλων ανήκουν στην ομάδα του νικελίου.
- Κοιτάσματα από «**κρουστές**» **πλούσιες σε μεταλλικά στοιχεία** (Cobalt- Rich Ferromanganese Crusts). Σχηματισμοί τους εντοπίζονται σε υποβρύχια υψίπεδα και περιέχουν οικονομικά πρόσφορα επίπεδα Κοβαλτίου και άλλων μετάλλων όπως τον Χαλκό (Cu), το Νικέλιο (Ni), και το Ρήνιο (Re).

Κατά προσέγγιση όλα τα προαναφερθέντα κοιτάσματα εδράζονται στα βάθη των ωκεανών όλης της υφελίου, κάτω του ενός χιλιόμετρου. Ειδικότερα, η πλειοψηφία, αν όχι όλες οι εμφανίσεις, παρουσιάζονται σε βάθη που προσεγγίστηκαν μόνο από μη επανδρωμένα μέσα, με εκτιμώμενο εύρος απόστασης τα 3500 ως και τα 6500 μέτρα. Σημαντική, επίσης είναι η κοινή απουσία μεταγενέστερης απόθεσης ιζηματογενών στρωμάτων μετά το σχηματισμό των μεταλλικών ενώσεων.

Με την United States Geological Survey, υπηρεσία η οποία αποτυπώνει στον παγκόσμιο χάρτη τις περιοχές ενδιαφέροντος όπως γεωλογικά στοιχεία, φυσικούς πόρους και σχηματισμούς, δημιουργήθηκε ένας προσεγγιστικός χάρτης όλων των πολυμεταλλικών εμφανίσεων σε παγκόσμια κλίμακα.

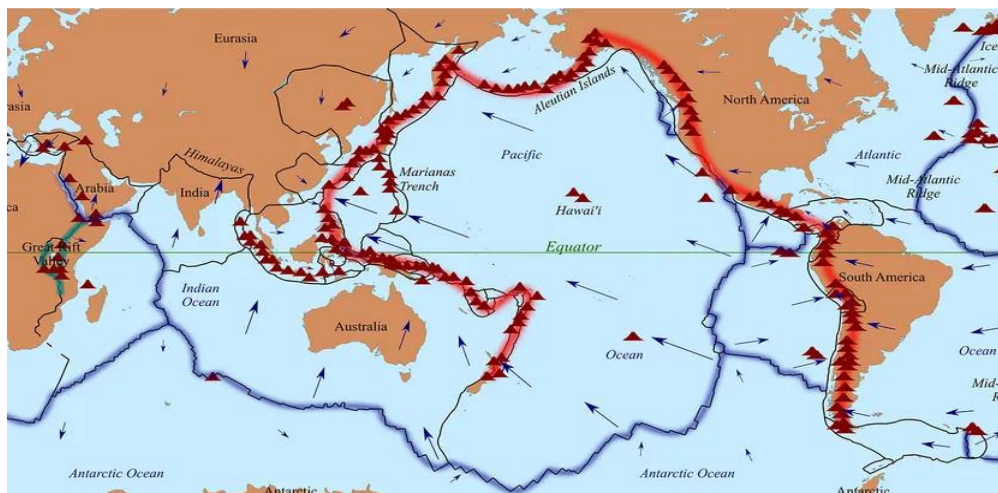


Εικόνα 1.1: Χάρτης κοιτασμάτων (Πηγή:USGS).

Εντός του χάρτη διακρίνονται το είδος του σχηματισμού, η κατά προσέγγιση γεωγραφική του τοποθεσία και το εύρος που καταλαμβάνει. Ειδικότερα, πολυμεταλλικές εμφανίσεις εντοπίζονται:

- Στα μέσα του **Ειρηνικού Ωκεανού**. Το Clarion-Clipperton Zone κατέχει ένα μεγάλο μέρος των πολυμεταλλικών σβόλων, αλλά και πολυμεταλλικών θειούχων ενώσεων της ευρύτερης περιοχής. Στο ανατολικό τμήμα του εμφανίζονται κρούστες κοβαλτίου νοτιοδυτικά της Ιαπωνίας και βορειοδυτικά των Φιλιππίνων.

- Περιμετρικά της **Αμερικάνικης ηπείρου**. Σε σημεία όπως η Βόρεια Ατλαντική περιοχή και η επικράτεια των Νότιο Αμερικανικών Υδάτων, που εμφανίζουν σημαντικό ποσοστό σβόλων.
- Σε ορισμένες περιοχές της **Αφρικάνικης ηπείρου** ενδείκνυται εμφανίσεις σβόλων.
- Εντός της νοτιοανατολικής επικρατείας που **Ινδικού Ωκεανού και των Φιλιππίνων** παρατηρούνται κρούστες κοβαλτίου και αποθέσεις σβόλων, ενώ στο βόρειο τμήμα στην **ένωση** με την Αφρική εμφανίζονται θειούχες ενώσεις.
- Στις **ενώσεις των λιθοσφαιρικών πλακών**, όπως η ένωση κατά μήκος του «δαχτυλιδιού της φωτιάς» στον ειρηνικό με τις γειτονικές πλάκες, εμφανίζουν υψηλή συγκέντρωση από υδροθερμικές φλέβες (Hydrothermal vents) υψηλών συγκεντρώσεων από θειούχες ενώσεις.



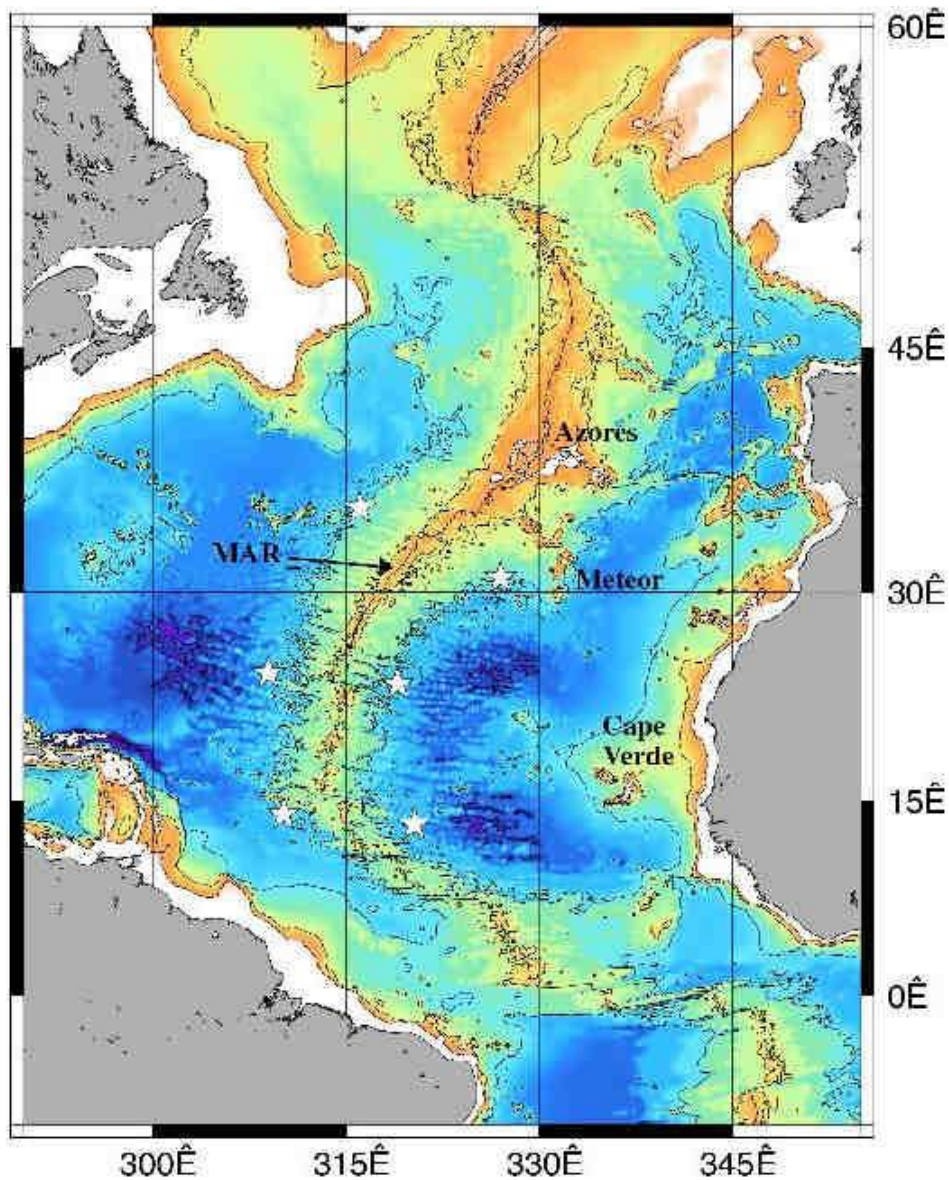
Εικόνα 1.2: Χάρτης του Δαχτυλιδιού της φωτιάς. (Πηγή:

<https://science.howstuffworks.com/environmental/earth/geology/ring-of-fire.htm>

## 1.2 Χρονολογική Αναφορά

Ο ορισμός της ιδέας περί εξόρυξης και εκμετάλλευσης κάτω από το νερό δεν αποτελεί πρόσφατο γεγονός. Η σπίθα για την εξερεύνηση και χαρτογράφηση των ωκεανών της επικράτειας ξεκίνησε το 1872, με την τριετή εξόρυξη του HMS Challenger. Ένα από τα πιο ωφέλιμα ταξίδια στη διαλογή, επεξεργασία και προσφορά επιστημονικών δεδομένων και καταγράφων που πραγματοποιήθηκαν τον 19<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. (Glen Zorpette, 2022). Συντέλεσε στην αποτύπωση του πυθμένα και στη δημιουργία χαρτών, που έπαιξαν σημαντικό ρόλο στο «άπλωμα» του πρώτου υπερεντατικού καλωδίου επικοινωνίας, για τη χρήση τηλεγράφου ανάμεσα στην Αμερικανική και Ευρωπαϊκή ήπειρο.

Χαρακτηριζόμενο από τον δημοσιογράφο της εποχής W.H. Russel (1865) ως την εδραίωση ενός νέου υλικού δρόμου ανάμεσα στον παλιό και τον νέο κόσμο. Η πορεία του HMS Challenger ήταν συνολικά 68000 ναυτικά μιλιά (125,936 χιλιόμετρα), εντός αυτών το πλήρωμα του Challenger κατάφερε να καταγράψει το ανάγλυφο της μέσο - ατλαντικής κορυφογραμμής (Sir John Murray, 1872), την τάφρο των Μαριανών και να δημιουργήσει καταλόγους με περίπου 4700 νέους υποθαλάσσιους οργανισμούς.



*Εικόνα 1.3: Χάρτης της Μέσο -Ατλαντικής κορυφογραμμής.(<https://atlantipedia.ie/samples/tag/hms-challenger/>)*



*Εικόνα 1.4: Η τάφος των Μαρριανών. (<https://greenliving.gr/2019/12/04/η-ανακάλυψη-μικροβίων-που-τρέφονται-μ/>)*

Η πρώτη επίσημη καταγραφή των πολυμεταλλικών σβόλων πραγματοποιήθηκε στις 18 Φλεβάρη του 1873 κατά τη χαρτογράφηση του βυθού στην περίμετρο των Κανάριων νησιών. Κατά τη διεργασία της βυθοκόρησης, το πλήρωμα του Challenger σύλλεξε έναν αριθμό μαύρων σβόλων. Παρόμοιες καταγραφές συνέβησαν και κατά την εξερεύνηση του Ειρηνικού και Ινδικού ωκεανού. Όμως πέρα από τους σβόλους, ανασυρθήκαν στην επιφάνεια μέρη οργανισμών, όπως δόντια από καρχαρίες και μικρά οστά φαλαινών καλυμμένα με τη «μαύρη κρούστα», της οποίας η οικονομική δυνατότητα άρχισε να αναγνωρίζεται και να διαδίδεται (Murray & Renard, 1891).

Οι πρώτες χημικές αναλύσεις έφεραν στο φως τη δομή των σβόλων. Ειδικότερα τα πρώτα αποτελέσματα έδειχναν ότι η σύστασή τους αποτελείται σχεδόν εξ ολοκλήρου από οξειδία του Μαγγανίου, όπου και τους δώσαν το όνομα «Μαγγανιούχοι σβόλοι». Πάνω σε αυτό ο John Mero δημοσίευσε τη διδακτορική του έρευνα με τίτλο Economic geology το 1962. Εντός αυτής, αναλύει σε εκτεταμένο εύρος το ζήτημα των σβόλων. Κάνει αναφορές για την οικονομική σπουδαιότητα που έχουν λόγω της παρουσίας όχι μόνο μαγγανίου, αλλά και μετάλλων όπως νικέλιο, χαλκό και κοβάλτιο (Tupiti & Wycliff, 2021).

Τα σενάρια για την οικονομικά ωφέλιμη απόληψη των μαγγανιούχων σβόλων ξεκίνησαν από τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα με την προκήρυξη του Truman στις 28 Σεπτεμβρίου του 1945 και την αναφορά του στην επιτρεπόμενη έκταση για αλιεία, των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Η εν λόγω προκήρυξη ήταν ελλιπής ως προς την έκταση την επιτρεπόμενης περιοχής για εγχώρια οικονομική εκμετάλλευση, την οποία κάλυψε η συνθήκη του

Σαντιάγκο το 1952, ορίζοντας τα 200 ναυτικά μίλια, ως και σήμερα, την επίσημη απόσταση υδάτων που μπορεί να χρησιμοποιεί μια χώρα προς δικό της αναπτυξιακό και οικονομικό όφελος (David Attard et al., 2014), θέτοντας με αυτό τον τρόπο το μεγαλύτερο μέρος από τα κοιτάσματα των πολυμεταλλικών σβόλων εντός της επικράτειας των διεθνών υδάτων και μακριά από την επιρροή των περισσότερων χωρών της επικράτειας.

Το 1958 επανήλθε προς ανάλυση το ζήτημα εκμετάλλευσης πόρων από την έκταση των διεθνών υδάτων χωρίς όμως σχετική πρόοδο μέχρι και το 1982, όπου τα επίσημα όρια έθεσε η συνθήκη UNCLOS. Κατά τη διάρκεια του έτους, ο Οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών έθεσε το εύλογο ζήτημα κάτω από το μικροσκόπιο της δικαίωσης, καθώς οι τότε πηγές ενδιαφέροντος αποτελούσαν μέρος των διεθνών υδάτων, χωρίς να φυλάσσονται κάτω από κάποιο σχετικό νομικό πλαίσιο διαχείρισης και ισότιμης κατανομής αυτών των πόρων.

Εν έτη 2024, η αγορά έχει να αντιμετωπίσει το μείζον ζήτημα της κλιματικής αλλαγής και την ανάγκη χρήσης εναλλακτικών πηγών ενέργειας, για την επιτυχή αποκοπή μας από τα ορυκτά καύσιμα. Για την εν λόγω μετάβαση, πολλά αν όχι όλα τα μεταλλικά στοιχεία εντοπίζονται στους σβόλους. Σε συνδυασμό με τη **Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050** που όρισε η Ευρωπαϊκή Ένωση για το μηδενισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, η ζήτηση για μέταλλα κυμαίνεται να αυξηθεί δραματικά σε σχέση με την παρούσα παραγωγή που μπορούν να προσφέρουν τα αντίστοιχα εν ξηρά κοιτάσματα. Ειδικότερα υπολογίζεται αύξηση του 18-20 για το λίθιο, 17-19 για το κοβάλτιο, 28-31 για το νικέλιο, 15-20 για τα υπόλοιπα μεταλλικά στοιχεία μόνο από τη βιομηχανία ηλεκτρικών οχημάτων (Chengjian Xu et al., 2023), θέτοντας έτσι τις βλέψεις πολλών εταιριών και κρατικών οργανισμών στα υποθαλάσσια πολυμεταλλικά κοιτάσματα.

Από τον Γενάρη του 2023 η IS (International Seabed Authority) έχει εκδώσει στο σύνολό της 31 εξερευνήσεις και συλλογή στοιχείων στις περιοχές εμφάνισης πολυμεταλλικών σβόλων, κρουστών κοβάλτιου και πολυμεταλλικών σουλφιδίων με 21 επίσημα αναγνωρισμένα ενδιαφερομένους. Η κατανομή των αδειών εξερεύνησης χωρίζεται σε:

- Δεκαεννέα (19) άδειες για τις περιοχές **Clarion-Clipperton, Ινδικό Ωκεανό και Δυτικό Ειρηνικό Ωκεανό**, για πολυμεταλλικούς σβόλους,
- Επτά (7) άδειες για την **Νοτιοδυτική Ινδική Κορυφογραμμή και την Μέσο Ατλαντική Κορυφογραμμή**, για σουλφίδια,

- Και πέντε (5) άδειες για **τα Δυτικά και Νοτιά τμήματα του Ειρηνικού και του Ατλαντικού ωκεανού** αντίστοιχα, για κρούστες πλούσιες σε κοβάλτιο.

Οι παραπάνω άδειες δεν επιτρέπουν ακόμα την εκμετάλλευση των περιοχών που έχουν παραχωρηθεί από την ISA, καθώς δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για το αποτύπωμα που θα αφήσουν οι ενεργές εκμεταλλεύσεις στα τοπικά οικοσυστήματα και σε όλον τον πλανήτη.

### 1.3 Κρίσιμα μέταλλα

Γεγονότα της καθημερινότητας όπως η πράσινη μετάβαση, η ανάπτυξη της αυτοκινητοβιομηχανίας και η εξέλιξη των μπαταριών, αποτελούν τους κινητήριους τροχούς που ωθούν πολλές μεταλλευτικές εταιρίες να στρέφουν τα βλέμματά τους στα μεγάλα βάθη των ωκεανών μας. Σύμφωνα με υπεράριθμες πηγές τα πολυμεταλλικά κοιτάσματα αυτά είναι πλούσια σε μεταλλικά στοιχεία και ομάδες που υπολογίζεται να καλύπτουν τις όλο και πιο αυξανόμενες ανάγκες τις αγοράς.

#### 1.3.1 Κοβάλτιο (Cobalt)

Το Κοβάλτιο είναι από τα κρίσιμα μέταλλα για τη μεταβατική εποχή. Ανήκει στα στοιχεία μετάπτωσης και καταλαμβάνει την εικοστή εβδόμη θέση στον περιοδικό πίνακα. Μολονότι δεν έχει αυτοφυή μορφή στη φύση, παρουσιάζεται σε πλεόνασμα στον φλοιό της γης με εκτιμώμενη περιεκτικότητα 17,3 ppm (Rundnick & Gao, 2003). Κυριότερες πηγές κοβαλτίου αποτελούν πετρώματα και χώματα που φέρουν ενώσεις κοβαλτίου. Στο κομμάτι της βιομηχανίας το κοβάλτιο έχει θέση σε ποικίλες εφαρμογές όπως κράματα, καταλύτες, μαγνήτες, αλλά το μεγαλύτερο ποσοστό χρήσης του το έχουν τα μείγματα μπαταριών.

Εξαιρώντας τα πολυμεταλλικά κοιτάσματα, η συνολική παρουσία κοβαλτίου στον κόσμο ανέρχεται περίπου στους επτά εκατομμύρια τόνους με το 50% αυτού να εμφανίζεται εντός της λαϊκής δημοκρατίας του Congo και το υπόλοιπο να εντοπίζεται σε διάσπαρτες εμφανίσεις στον κόσμο.

#### 1.3.2 Νικέλιο (Nickel)

Επόμενο στη λίστα των κρίσιμων μετάλλων είναι το Νικέλιο. Ανήκει στα στοιχεία μετάπτωσης και καταλαμβάνει την εικοστή θέση στον περιοδικό πίνακα, δίπλα στο Κοβάλτιο. Στη φύση το νικέλιο εντοπίζεται σε μορφή μεταλλικών ενώσεων που ταξινομούνται ανάλογα το μητρικό κοίτασμα από το οποίο προέρχονται:

- Από αποθέσεις Λατεριτών όπως γρανιτικά πετρώματα και Λειμωνίτες, όπως το Ravensthorpe (Δυτική Αυστραλία).



- Από Θειούχα κοιτάσματα όπως το κοιτάσμα Sudbury (Οντάριο, Καναδάς).
- Από κοιτάσματα ιζηματογενούς φύσης, με μεγάλο ποσοστό αυτών να είναι προϊόντα αποσάθρωσης των προαναφερθέντων Λατεριτικών κοιτασμάτων.

Στην βιομηχανία το Νικέλιο βρίσκεται εφαρμογή στην κατασκευή κραμάτων κυρίως με χάλυβα, εργαλείων, καταλυτών χημικών οργάνων και αντικειμένων πολυτελείας.

### 1.3.3 Μαγγάνιο (Manganese)

Το Μαγγάνιο αποτελεί το εικοστό πέμπτο στοιχείο του περιοδικού πίνακα και αποτελεί μέρος των στοιχείων μετάπτωσης. Δεν συναντάται σε αυτοφυή μορφή, άλλα σε κρυσταλλικές ενώσεις μαζί με σίδηρο. Το Μαγγάνιο χρησιμοποιείται σε ποικίλες εφαρμογές όπως η χρήση του σαν μονωτική επίστρωση κατά των διαβρωτικών και οξειδωτικών μέσων που μπορεί να φθείρουν μπάρες από χάλυβα, ως στοιχείο καθόδου σε μπαταρίες αλκαλικού μείγματος, αλλά και ως χρωστική σε μπογιές.

### 1.3.4 Σπάνιες γαίες (Rare Earth Elements)

Το τελευταίο συστατικό που θέτει τους πολυμεταλλικούς σβόλους στο επίκεντρο της προσοχής δεν είναι ένα μεμονωμένο στοιχείο, άλλα μια ολόκληρη ομάδα του περιοδικού πίνακα. Ειδικότερα, οι σβόλοι εμπεριέχουν σπάνιες γαίες. Μια ομάδα του περιοδικού πίνακα που απαρτίζεται από δεκαεπτά στοιχεία, δεκαπέντε εκ των οποίων ανήκουν στην ομάδα των Λανθανίδων. Σε αυτές προθέτονται το Ύτριο και το Σκάνδιο λόγω ότι οι φυσικοχημικές ιδιότητές τους είναι αρκετά παρόμοιες με τα στοιχεία των Λανθανίδων (Connelly, 2005). Όλα τα παραπάνω στοιχεία συναντώνται στη φύση, με εξαίρεση το Προμήθειο (Pm), καθώς όλα του τα ισότοπα είναι ραδιενεργά, και έχουν χωριστεί στις Λανθανίδες χαμηλού ατομικού βάρους (LREE's) και στις Λανθανίδες υψηλού ατομικού βάρους (HREE's). Παρά το όνομα σπάνιες γαίες, τα στοιχεία της ομάδας εμφανίζονται σε επαρκή βαθμό, όμως όχι σε μορφή κοιτάσματος, αλλά ως υποπροϊόντα που εντοπίζονται από την εξόρυξη σιδήρου (Kanazawa & Kamitani, 2006). Λόγω των ιδιοτήτων τους οι σπάνιες γαίες βρίσκουν εφαρμογές κυρίως στους κλάδους της τεχνολογίας και των απλών ηλεκτρικών συσκευών. Χρησιμοποιούνται επίσης ως μεταβατικά μέταλλα για ενεργειακές και στρατιωτικές τεχνολογικές εφαρμογές.

## Κεφάλαιο 2: Πολυμεταλλικά Κοιτάσματα

### 2.1 Είδη και σύσταση πολυμεταλλικών κοιτασμάτων

#### 2.1.1 Πολυμεταλλικοί Σβόλοι

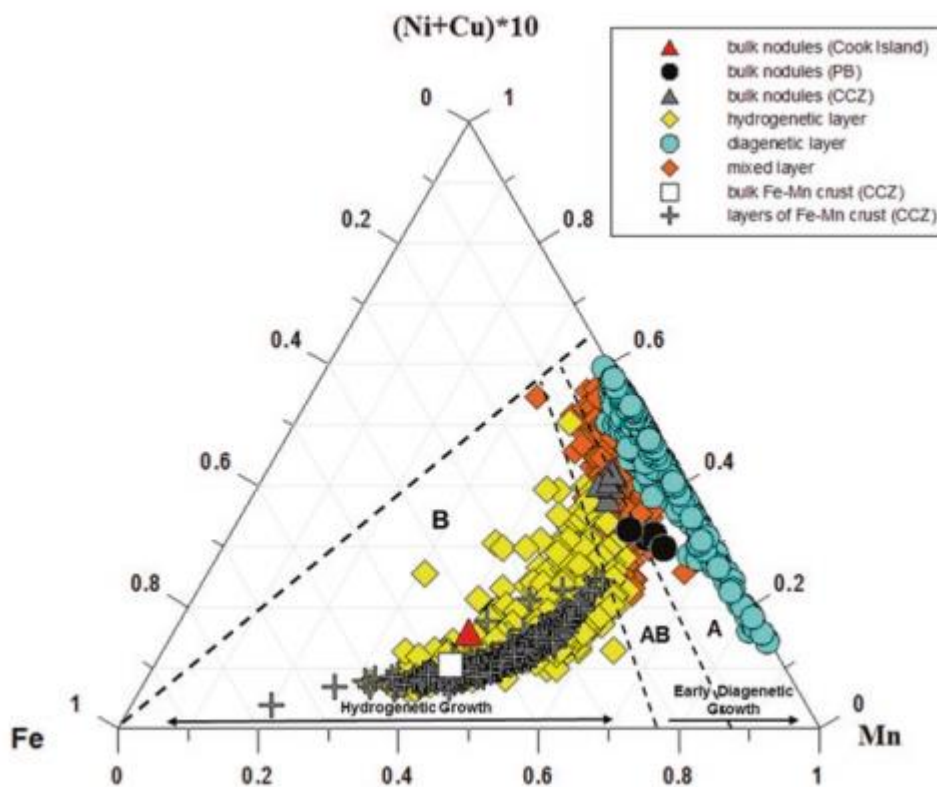
Η πρώτη επαφή του ανθρώπου με τα πολυμεταλλικά κοιτάσματα ήρθε με τη μορφή μαυριδερών σβόλων ή και βράχων, σε υπερατλαντικές εξορμήσεις. Μελέτες πάνω σε αυτά τα μοναδικά ευρήματα έφεραν στο φως τη μεγάλη περιεκτικότητά τους σε σημαντικά μεταλλικά στοιχεία, ειδικότερα στα πρώιμα στάδια των μελετών το Μαγγάνιο (Mn) και ο Σίδηρος (Fe) αναδείχτηκαν ως τα κύρια μέταλλα που συναντούσε κανείς στους υποθαλάσσιους μαύρους όγκους, εξού και το πρώτο όνομα που τους δόθηκε ως, Σιδηρομαγγανιούχοι σβόλοι/όγκοι. Με μεταγενέστερες έρευνες να αναδεικνύουν και τα υπόλοιπα μέταλλα που τους αποτελούν όπως το Τιτάνιο (Ti), Σπάνιες Γαίες και το Ύτριο (REE's), το Ζιρκόνιο (Zr), το Χάφνιο (Hf), το Ταντάλιο (Ta), καθώς και μεταλλικά ιόντα τα οποία μπορούν να αντιδράσουν-οξειδωθούν με το οξείδια του Μαγγανίου ( $MnO_x$ ), όπως το Δημήτριο (Ce), το Κοβάλτιο (Co) και το Τελλούριο (Te) (Koschinsky and Hein 2003; Hein et al. 2013).

Σήμερα η καθολική σύσταση και εμφάνιση αυτών των σχηματισμών μπορεί να κριθεί - περιγράφει από τρεις κύριους παράγοντες:

- Την **τοποθεσία** στην οποία εντοπίζονται, με υποπαράγοντες όπως η **γεωγραφική θέση**, το **βάθος** και η **γεωλογία** του περιβάλλοντος χώρου (μεταλλικά ιόντα, γεωτεκτονική δραστηριότητα, ιζηματογενείς αποθέσεις) να παίζουν σημαντικό ρόλο.
- Ο **τρόπος** με το οποίο τα υλικά **αποθειώνονται και σχηματίζουν** τους σβόλους. Δύο από τους κυριότερους τρόπους σχηματισμού τους είναι η διαγένεση και η υδρογόνωση.
- Τέλος ο **ρυθμός σχηματισμού**, που επηρεάζει άμεσα τη διάμετρο που μπορούν να φτάσουν.

Στη φύση οι πολυμεταλλικοί σβόλοι απαρτίζονται από τους δυο προ-αναφερθέντες σχηματισμούς. Ο διαχωρισμός τους γίνεται με το λόγο Mn/Fe, όπου οι διαγενετικά σχηματισμένοι σβόλοι παρουσιάζουν αναλογίες Mn/Fe μεγαλύτερες του πέντε και εντός των κρυσταλλικών τους δομών εδράζονται μεταλλικά ιόντα που είτε εξισορροπούν τα ιοντικά φορτία, είτε μπορούν να ενταχθούν στα «κενά» της κρυσταλλικής δομής (Halbach et al., 1988). Παραστατικό παράδειγμα αποτελούν τα κοιτάσματα του προηγούμενου

κεφαλαίου. Τα κοιτάσματα των Cook Islands, στα οποία παρατηρούνται πολυμεταλλικοί σβόλοι μέσω της υδρογένεσης, με μεγάλη περιεκτικότητα σε στοιχεία όπως ο Χαλκός (Cu) και το Νικέλιο (Ni). Το διαγενετικό κοιτάσμα στον πυθμένα των υδάτων του Περού, στο οποίο τα ποσοστά χαλκού είναι ιδιαίτερα χαμηλά λόγω των ιζημάτων ανθρακικής σύστασης που τον φιλτράρουν. Το κοιτάσμα εντός της ζώνης Clarion Clipperton, στο οποίο παρουσιάζει μια μίξη από διαγενετικά και υδρογενετικά αποθέματα, με την πλειοψηφία αυτών να είναι διαγενετικά (Wegorzewski & Kuhn, 2014). Τέλος, το κοιτάσμα στη λεκάνη του Ινδικού Ωκεανού το οποίο απαρτίζεται και αυτό από μια μίξη αποθέσεων όπως το κοιτάσμα της ζώνης Clarion Clipperton με τη διαφορά ότι τα ποσοστά περιεκτικότητάς τους σε μεταλλικά στοιχεία είναι μικρότερα έναντι αυτού (Hein et al., 2013).



Εικόνα 2.1: Τριγωνικό διάγραμμα μεταλλικής σύστασης πολυμεταλλικών σβόλων.

(Πηγή: *Dee-Sea Mining. Resource, Potential, Technical and Environmental Considerations*).

Από την οπτική του οικονομικού συμφέροντος, όλα τα προ αναφερθέντα κοιτάσματα καθώς και τα υπόλοιπα είδη πολυμεταλλικών κοιτασμάτων αποτελούν σημαντικές πηγές πρόσφορης εκμετάλλευσης πρώτων υλών. Ειδικότερα, με την αγορά του σήμερα να ζητά όλο και μεγαλύτερες ποσότητες στα κρίσιμα μέταλλα των σβόλων, τα αποθέματά τους είναι

πλέον στο στόχαστρο πολλών μεταλλευτικών οργανισμών. Με το μόνο εμπόδιο τους προς το παρόν να είναι το μη καθορισμένο νομικό πλαίσιο γύρω από την εξόρυξη αποθεμάτων σε βαθιά διεθνή ύδατα, αλλά και οι συνέπειες που θα φέρει το εγχείρημα στα περιβάλλοντα οικοσυστήματα.

### 2.1.2 Πολυμεταλλικά Σουλφίδια

Μια ακόμα μορφή πολυμεταλλικών κοιτασμάτων που συναντάται στα βάθη των ωκεανών μας είναι τα πολυμεταλλικά σουλφίδια. Κατά την πλειοψηφία τους, τα σουλφιδικά κοιτάσματα σχηματίζονται σε βάθη των 1500 ως 3500 μέτρων, γύρω από περιοχές που παρουσιάζουν έντονη τεκτονική και ηφαιστειακή δραστηριότητα (Peter M. Herzing & Mark D. Hannington, 1995). Ειδικότερα, τα υποθαλάσσια ωκεάνια ρήγματα μπορούν να θεωρηθούν οι γενέτειρες και οι θέσεις έδρασης των περισσότερων σουλφιδίων. Οι πληροφορίες γύρω από αυτούς τους σχηματισμούς είναι αδρές, με λιγότερο από το 5% αυτών να έχει εξερευνηθεί σε βάθος. Παρόλα αυτά έχουν εντοπιστεί τουλάχιστον είκοσι σουλφιδικές αποθέσεις εντός του Ειρηνικού ωκεανού, τέσσερις στον Ατλαντικό, και από μια εμφάνιση στον Ινδικό ωκεανό και στη θάλασσα της Μεσογείου.

Κατά την απόθεση και πήξη - κρυστάλλωση των σουλφιδίων παρατηρούνται όπως προαναφέρθηκε, έντονες τεκτονικές δράσεις, κυρίως από συγκλίνουσες ή αποκλίνουσες λιθοσφαιρικές πλάκες. Λόγω αυτών των δράσεων αναπτύσσονται τυρβώδεις δυνάμεις και ρεύματα θαλασσινού νερού που επηρεάζουν τη μορφή και τη σύσταση που θα λάβει ένα σουλφιδικό κοιτάσμα, με τις δύο διαπιστωμένες μορφές να είναι τα κοιτάσματα ιζηματογενούς απόθεσης και τα κοιτάσματα ηφαιστειογενούς δραστηριότητας.

Ο βαθμός τεκτονικών δράσεων που παρουσιάζουν τα ρήγματα απόθεσης δεν επηρεάζει μόνο τον τύπο και τη μορφή που θα πάρει το κοιτάσμα. Οι διαστάσεις αλλά και η ποσότητα των σουλφιδίων ανά τετραγωνικό αποτελούν επιπρόσθετες παράμετροι άμεσα επηρεαζόμενοι από τις δράσεις που ασκούνται στην περιοχή και τη σύσταση των υλικών και των μαγμάτων που αναβλύζουν από τα ρήγματα. Λόγω της εμφανούς μεταβλητότητας έχουν πραγματοποιηθεί κυρίως οπτικές καταγραφές στις περιοχές που εμφανίζουν πολυμεταλλικά σουλφίδια, με τις πρώτες μέσες εκτιμήσεις να ανέρχονται στους ένα ως και πέντε εκατομμύρια τόνους υλικού. Παρά τις αντίξοες συνθήκες, ερευνητές κατάφεραν να εντοπίσουν ένα από τα μεγαλύτερα πολυσουλφιδικά κοιτάσματα στον πυθμένα της Ερυθράς θάλασσα. Το πρόγραμμα Atlantis II Deep αποτέλεσε μια διεξοδική έρευνα που έφερε στο φως μια λεκάνη με χονδρική διάμετρο τα δέκα χιλιόμετρα, που εμπεριέχει εντός αυτής

κοίτασμα των ενενήντα τεσσάρων εκατομμυρίων τόνων εναποτιθέμενου μεταλλοφόρου ιζήματος (Mustafa et al., 1984) στο οποίο έχουν πραγματοποιηθεί δοκιμαστικές απολήψεις του ιζήματος σε βάθη των δύο χιλιάδων μέτρων, αποδεικνύοντας ότι το κοίτασμα είναι εξορύξιμο (Amann, 1982, 1985).

Ως προς την οικονομική του αξία, κάθε κοίτασμα κρίνεται από την περιεκτικότητα που έχει στα κρίσιμα συστατικά και στο ποσοστό αποληψιμότητας αυτών. Τα πολυμεταλλικά σουλφιδικά κοιτάσματα μπορεί να εντοπίζονται σε ένα μεγάλο εύρος από γεωγραφικά μήκη και πλάτη, αλλά παρουσιάζουν χονδρικά την ίδια σύσταση. Σύμφωνα με δείγματα που αντιπροσωπεύει το κάθε ένα ως και εκατό τόνους υλικού, από εικοσιπέντε διαφορετικά κοιτάσματα στην υφήλιο λαμβάνουμε τον πίνακα:

*Πίνακας 2.1: Περιεκτικότητα μεταλλικών στοιχείων στα πολυμεταλλικά σουλφίδια.*

	Μέσο-ωκεάνια ρήγματα		Ρήγματα τύπου Back-Arc	
	Ηφαιστειακά	Ιζηματογενή	Ενδοωκεάνια	Ενδοηπειρωτικά
N	890	57	317	28
Fe (wt%)	23,6	24,0	13,3	7,0
Zn	11,7	4,7	15,1	18,4
Cu	4,3	1,3	5,1	2,0
Pb	0,2	1,1	1,2	11,5
As	0,03	0,3	0,1	1,5
Sb	0,01	0,06	0,01	0,3
Ba	1,7	7,0	13,0	7,2
Ag (ppm)	143	142	195	2766
Au	1,2	0,8	2,9	3,8

Τα δεδομένα όμως αυτά βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο και το οικονομικό όφελος από την αποδοτική εξόρυξη σουλφιδίων είναι αμφιλεγόμενο. Παρά την αβεβαιότητα όμως, τα δείγματα που συλλέχθηκαν δείχνουν τη σημαντική περιεκτικότητα των σουλφιδίων σε κρίσιμα μέταλλα. Με την εκτιμώμενη συνολική περιεκτικότητά τους να είναι συγκρίσιμη με αντίστοιχες εκμεταλλεύσεις μεγάλης κλίμακας (Peter M. Herzig & Mark D. Hannington, 1995).

### 2.1.3 Πολυμεταλλικές κρούστες

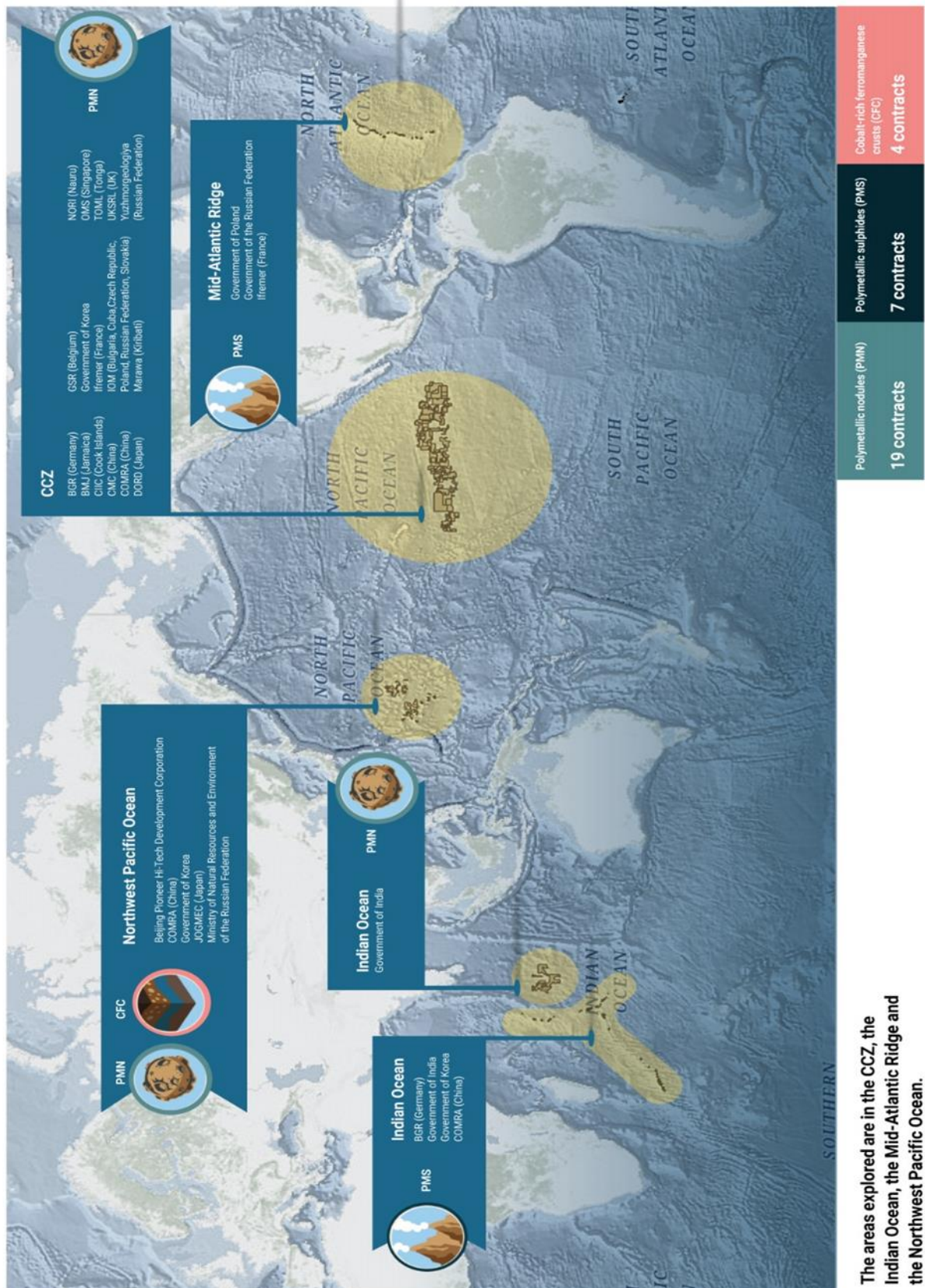
Η τρίτη μορφή που μπορεί να λάβει ένα πολυμεταλλικό κοιτάσμα είναι σε μορφή πολυμεταλλικής κρούστας. Σε αντίθεση με τους σβόλους που τα μεταλλικά ιόντα προσκολλώνται σε βότσαλα ή δόντια ψαριών, οι πολυμεταλλικές κρουστές προσκολλώνται σε σκληρές επιφάνειες και πετρώματα όπως πλάκες από βασάλτη, ασβεστόλιθο και συμπαγείς σχηματισμούς αργίλου. Στις επιφάνειες αυτές παρατηρείται η απόθεση υδρογενετικών οξειδίων που μπορούν να φτάσουν ως και τα είκοσι πέντε εκατοστά σε πάχος (Halbach, Jahn & Cherkashov, 2017b).

Οι σχηματισμοί αυτοί προκύπτουν από την υδρογενετική κατακρήμνιση οξειδωμένων με μεταλλικά στοιχεία υδάτων, σε μεγάλα βάθη (1000-5000 m). Εμφανίζονται σε μεγάλο αριθμό πολυμεταλλικών αποθέσεων ανά τους ωκεανούς της γης και συσχετίζονται με υδροθερμικές και τεκτονικές δραστηριότητες στις περιοχές απόθεσής τους. Το κύριο χαρακτηριστικό μιας πολυμεταλλικής κρούστας κρύβεται στη βάση για το σχηματισμό της. Εμφανίζονται μόνο σε επιφάνειες που δεν έχουν καλυφθεί από ιζηματογενή στρώματα. Παραδείγματα τέτοιων επιφανειών είναι πλαγιές και υποθαλάσσιοι ορεινοί σχηματισμοί από ηφαίστεια ή κύριες οροσειρές καθώς και πλάκες τύπου guyot (Halbach, Jahn & Cherkashov, 2017b). Με την ηλικία αυτών των σχηματισμών να κυμαίνεται ως και τα εβδομήντα πέντε με ογδόντα εκατομμύρια χρόνια (Li et al., 2008).

Στοιχεία όπως το Μαγγάνιο (Mn), ο Σίδηρος (Fe) και ο Φωσφόρος (P) συνθέτουν σε συνδυασμό και με άλλα προαναφερθέντα μεταλλικά στοιχεία τις κρουστές (Halbach, Jahn & Cherkashov, 2017a). Παρουσιάζουν αργούς ρυθμούς σχηματισμού, που τους επιτρέπει να εντάσσουν στη δομή τους και ιχνοστοιχεία όπως οι Σπάνιες Γαίες (REE's), την Πλατίνα (Pt), τον Μόλυβδο (Pb) και άλλα.

Ένας από τους οικονομικά ενδιαφέροντες σχηματισμούς αυτού του τύπου εδράζεται στα νερά του Δυτικού Ειρηνικού πυθμένα, καθώς τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζει η περιοχή ευνοούν τον σχηματισμό κρουστών και καλύπτουν σημαντικές εκτάσεις του ωκεάνιου τμήματος σε σχέση με άλλα κοιτάσματα.

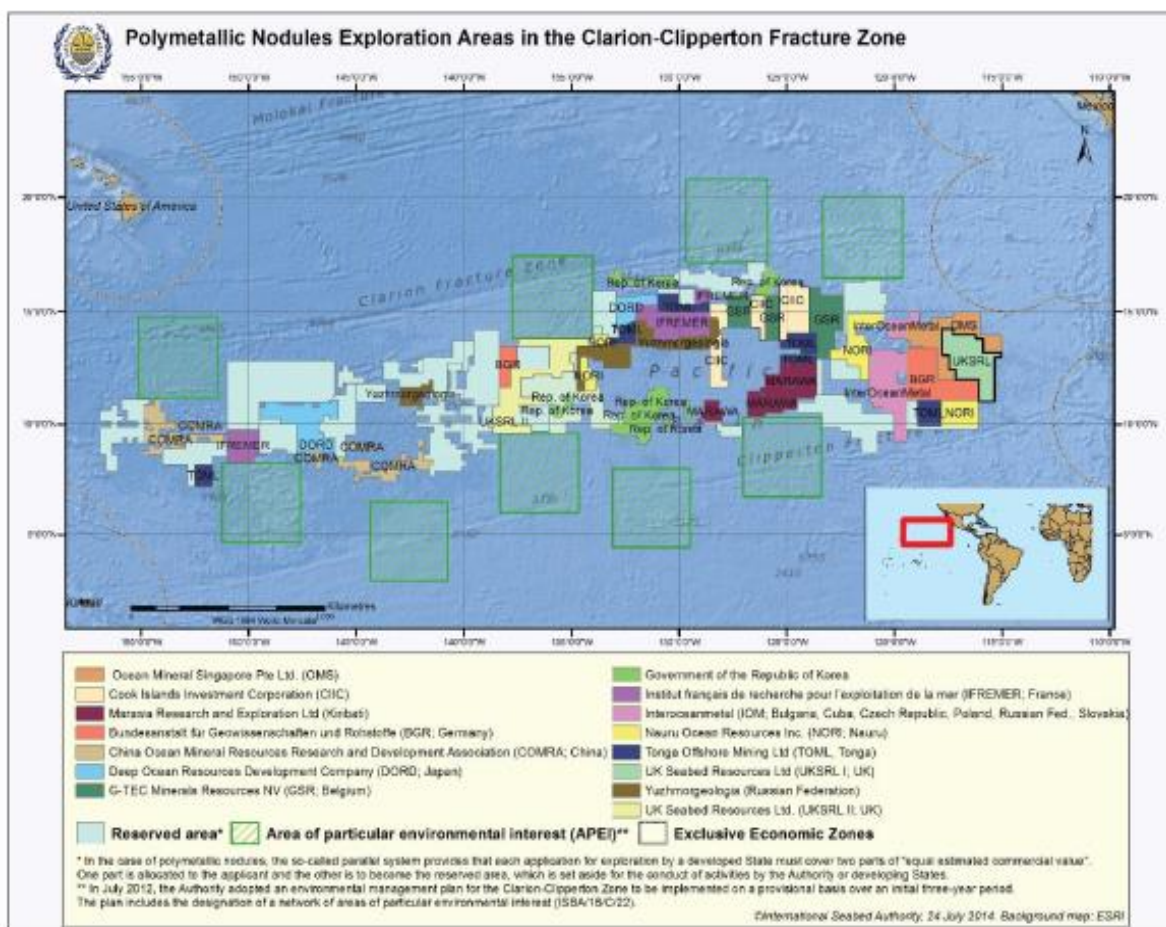
## 2.2 Περιοχές Μελέτης και Άμεσου Οικονομικού Ενδιαφέροντος



Εικόνα 2.2: Χάρτης κοιτασμάτων από την ISA. (Πηγή: <https://www.isa.org.im> )

### 2.2.1 Ζώνη του Clarion Clipperton

Η ζώνη Clarion Clipperton αποτελεί τη μεγαλύτερη και οικονομικά πιο πρόσφορη απόθεση πολυμεταλλικών σβόλων, έκτασης των 4,5 εκατομμύριων τετραγωνικών χιλιομέτρων. Ειδικότερα, αναφερόμαστε σε μια ρηγματογενή περιοχή εντός της επικρατείας των “γραμμικών” νήσων Kiribati και των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Παρά τη γεωγραφική της τοποθέτηση, καμία από τις δύο κοινότητες δεν μπορεί να ασκήσει την επιρροή της, με απώτερο στόχο την εξατομικευμένη επιχειρηματική και οικονομική της ανάπτυξη.



Εικόνα 2.3: Επίσημος Χάρτης της ISA για την ζώνη Clarion Clipperton. (Πηγή: <https://www.isa.org/jm>)

Οποιοδήποτε εγχείρημα εντός την περιοχής αυτής πρέπει να εγκριθεί από τον Διεθνή Οργανισμό Διαχείρισης των Παγκοσμίων υδάτων (ISA,1982), ο οποίος είναι αρμόδιος για τη διακυβέρνηση των υδάτων, καθώς και τη θέσπιση της ανάλογης νομοθεσίας περί αυτών.



Από εμπορικής σκοπιάς, οι παρούσες ερευνητικές εξορμήσεις έχουν καταγράψει μεγάλο πλήθος πολυμεταλλικών σβόλων με μέσο βάρος τα 15 κιλά με υγρασία ανά τετραγωνικό μέτρο, με σπάνιες εμφανίσεις να φτάνουν αλλά και να μη ξεπερνούν τα 75 κιλά αντίστοιχα. Τα βάρη αυτά οφείλονται στη μεγάλη περιεκτικότητα μεταλλικών στοιχείων όπως Μαγγάνιο, Νικέλιο, Κοβάλτιο, Τελούριο και Ύτριο. Η ποσότητα των εν λόγω που εντοπίζεται εντός της ζώνης πιθανολογείται ότι ξεπερνά το σύνολο των παγκόσμιων αποθέσεων ως και 6000 φορές (Hein & Petersen, 2013). Σε συνδυασμό με αυτό αντίστοιχη είναι και η παρουσία μεταλλοφόρων οξειδίων σε σχέση με τα εν ξηρά κοιτάσματα (Hein et al., 2013).

### 2.2.2 Η Πολυμεταλλική Λεκάνη του Περού και η Αξιολόγηση του Project BISCOL

Πορευμένοι νοτιοανατολικά της ζώνης του Clarion Cliperton εντοπίζουμε τη λεκάνη πολυμεταλλικών αποθέσεων στο Περού. Σύμφωνα με έρευνες, στα βαθιά ύδατα του Περού εδράζονται πολυμεταλλικοί σβόλοι με την παρουσία τους να εκτιμάται στα  $10 \text{ kg/m}^2$ .



*Εικόνα 2.4: Χάρτης μέσης αναλογίας βάρους των σβόλων ανά τετραγωνικό μέτρο στα βάθη της επικράτειας*

Μολονότι η Περουβιανή λεκάνη αποτελεί τη δεύτερη σε περιεκτικότητα πολυμεταλλικών σβόλων ζώνη ανά τετραγωνικό μέτρο, δεν έχει παρουσιαστεί εμπορικό ενδιαφέρον για την εκμετάλλευσή τους. Πάρα όμως την, προς το παρόν, απουσία οικονομικών βλέψεων, έχουν πραγματοποιηθεί ποικίλες αναγνωριστικές έρευνες ανά τα έτη. Οι εν λόγω μελέτες εμβαθύνουν σε μείζονα ζητήματα όπως η σύγκριση της Περουβιανής απόθεσης με το

κοίτασμα που εντοπίζεται στη ζώνη Clarion Cliperton, τα ποικιλόμορφα οικοσυστήματα χλωρίδας και πανίδας που συνυπάρχουν με τους σβόλους και εκτεταμένες περιβαλλοντικές μελέτες για τα περιβαλλοντικά αντίκτυπα που μπορεί να προξενήσει η έναρξη εμπορικής εκμετάλλευσης.

Πρωτοστάτης στην καταγραφή αυτών των επιπτώσεων αποτελεί το πείραμα του DISCOL. Διεξήχθη το 1989 στις θάλασσες του Περού από το πλήρωμα της R.V. Sonne με σκοπό την προσομοίωση μιας εξόρυξης του θαλάσσιου πυθμένα και την ύστερη αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που δέχονταν να προκαλέσει το εγχείρημα στους 8 τομείς της περιοχής. Πραγματοποιήθηκαν 6 καταγεγραμμένες εξορμήσεις από τον Γενάρη του 1989, που συντάθηκε η βασική μελέτη, ως και τον Μάρτη του 1996 με την 4<sup>η</sup> αξιολόγηση περιβαλλοντικής ανάκαμψης στην λεκάνη. Με τη χρήση διαφόρων μεθόδων που χαρακτηρίζονται ως «The Subprojects» το πλήρωμα μπόρεσε να λάβει έναν αρκετά μεγάλο αριθμό στοιχείων σχετικά με τις επιπτώσεις. Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκαν:

- Το ECOBET για την εξερεύνηση της πανίδας του πυθμένα.
- Το FEMILEU για τη μελέτη της «συμπεριφοράς» του σιδήρου στο χημικό περιβάλλον της λεκάνης.
- Το GEOMET το οποίο μελετά το ευρύτερο φάσμα χημικών αντιδράσεων που πραγματοποιούνται στο περιβάλλον και ειδικότερα τις αντιδράσεις που αφορούν βαρέα μέταλλα.
- Το PARTRANS στο οποίο διεξάγονταν πειράματα στις ιζηματικές στήλες που αποσπώνται από τον πυθμένα.
- Το SEDIPERU για τη μελέτη της πυκνότητας των ιζηματικών στηλών.
- Και τέλος το TRANSMOD για τη μεταφορά των στηλών προς την επιφάνεια και τη δημιουργία μαθηματικών μοντέλων για τις μακροχρόνιες επιπτώσεις που παρατηρούνται.

Μέσα από τα Subproject το πλήρωμα του R.V. Sonne ήρθε στο καταλυτικό συμπέρασμα ότι η εκμετάλλευση της λεκάνης του Περού, αλλά και οποιού άλλου βαθιού κοιτάσματος επιφέρει σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως διαταραχή της ποιότητας των υδάτων λόγω τυρβωδών δυνάμεων, διαταραχή ή και εξάλειψη της παρούσας χλωρίδας και πανίδας που κατοικεί στους σβόλους, καθώς και ότι η ανάκαμψη του οικοσυστήματος προχωρά με εξαιρετικά αργούς ρυθμούς.

### 2.2.3 Πολυμεταλλικές Αποθέσεις του Ινδικού Ωκεανού

Όπως προαναφερθήκαμε σε προηγούμενες ενότητες οι εμφανίσεις πολυμεταλλικών κοιτασμάτων δεν περιορίζονται μόνο στα βάθη του Ειρηνικού Ωκεανού, αλλά σε όλη την επικράτεια των διεθνών και κρατικών υδάτων. Η πρώτη σπίθα για την πυροδότηση εξερεύνησης του Ινδικού Ωκεανού ήταν η εξόρμηση του Challenger, όπου χάρη στην χαρτογράφηση του βυθού ανακαλύφθηκε ότι το 70% του πυθμένα αποτελούνταν από μαύρους σβόλους πλουσίους σε μεταλλικά στοιχεία. Με βάση τις ενδείξεις του Challenger, το 1981 πραγματοποιήθηκε η πρώτη ανεπίσημη απόληψη σιδηρομαγνησιούχων σβόλων από Ινδούς επιστήμονες, σηματοδοτώντας την αρχή των υποθαλάσσιων ερευνών εντός του επόμενου έτους (1982). Σύμφωνα με αναγγελία του Διεθνούς Ινστιτούτου Ωκεανογραφίας (Goa, India) τέθηκε σε πλεύση μεγάλος αριθμός πλοίων με στόχο τη μαζική συλλογή στοιχείων.



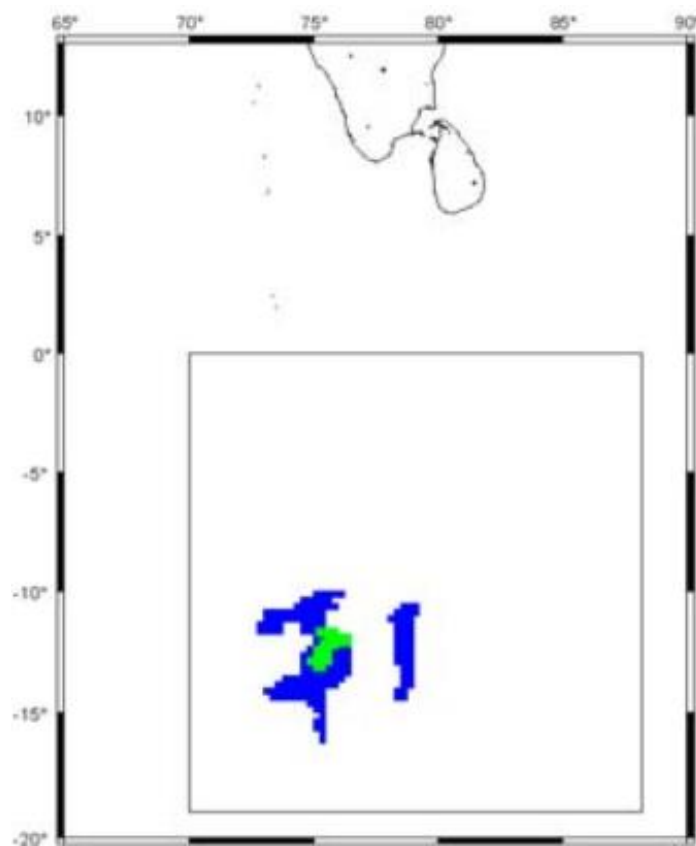
*Εικόνα 2.5: Ερευνητικά πλοία. Α/ Το RV Gaveshani, Β/ Το ORV Sagar Kanya, Γ/ Το ORV Skandi Surveyor, Δ/ MV Famella. (Πηγή: Indian exploration for polymetallic nodules in the Central Indian Ocean)*

Η περιοχή ενδιαφέροντος καλύπτει μια αχανή έκταση 4 εκατομμύριων τετραγωνικών χιλιομέτρων και φέρει συντεταγμένες 72° ως 89° ανατολικά στο γεωγραφικό μήκος και 0° ως 19° νότια στο γεωγραφικό πλάτος του παγκοσμίου χάρτη. Εντός αυτής

πραγματοποιούνταν ταυτόχρονες εξορμήσεις από ερευνητικά πλοία. Οι κύριες μέθοδοι διαλογής δειγμάτων που αξιοποιήθηκαν σχεδόν καθολικά ήταν:

- Η ανάκτηση δειγμάτων με τη χρήση εκσκαπτικού καλαθιού (free fall grabs) και
- Χρήση σόναρ μονής δέσμης για τον προσδιορισμό της τοπογραφίας του βυθού.

Χάρη στις μεθόδους αυτές δημιουργήθηκε μια λεπτομερής εικόνα για τα όρια, αλλά και τη χημική σύσταση των σβόλων. Ειδικότερα από τα δείγματα του καλαθιού παρατηρήθηκε ότι η περιοχή του Ινδικού κυριαρχείται από σβόλους πικνούς σε Μαγγάνιο, Κοβάλτιο, Νικέλιο, Χαλκό και Σίδηρο.



*Εικόνα 2.6: Περιοχή ενδιαφέροντος και ερευνών στον Ινδικό Ωκεανό. (Πηγή: Indian exploration for polymetallic nodules in the Central Indian Ocean)*

Στον ραγδαίο ρυθμό ανάπτυξης των ερευνών στάθηκε εμπόδιο η συνθήκη UNCLOS III, όπου σύμφωνα με αυτή θα έπρεπε να πραγματοποιηθεί σταδιακή άφεση της κυριαρχίας στο 50% της έκτασης ενδιαφέροντος προς τον Διεθνή Οργανισμό Διαχείρισης Υδάτων (ISBA). Ειδικότερα, η διαδικασία της άφεσης χωρίστηκε σε τρία στάδια όπου αφέθηκε το 20% στην

1<sup>η</sup> και 3<sup>η</sup> φάση και το 10% στην 2<sup>η</sup>, πραγματοποιώντας πάντα δειγματοληπτικές έρευνες ανάλογες με την εναπομείναντα περιοχή.

Πλέον, από το σύνολο του κοιτάσματος τα 75.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα αποτελούν ιδιοκτησία της Ινδίας. Εντός αυτής συνεχίζεται η εφαρμογή μεθόδων όπως:

- Δειγματοληψία σε μικρό κανάβο/πλέγμα (close-grid sampling).
- Εκτίμηση αποθεμάτων.
- Χαρτογράφηση με μέσα υψηλής ευκρινείας.

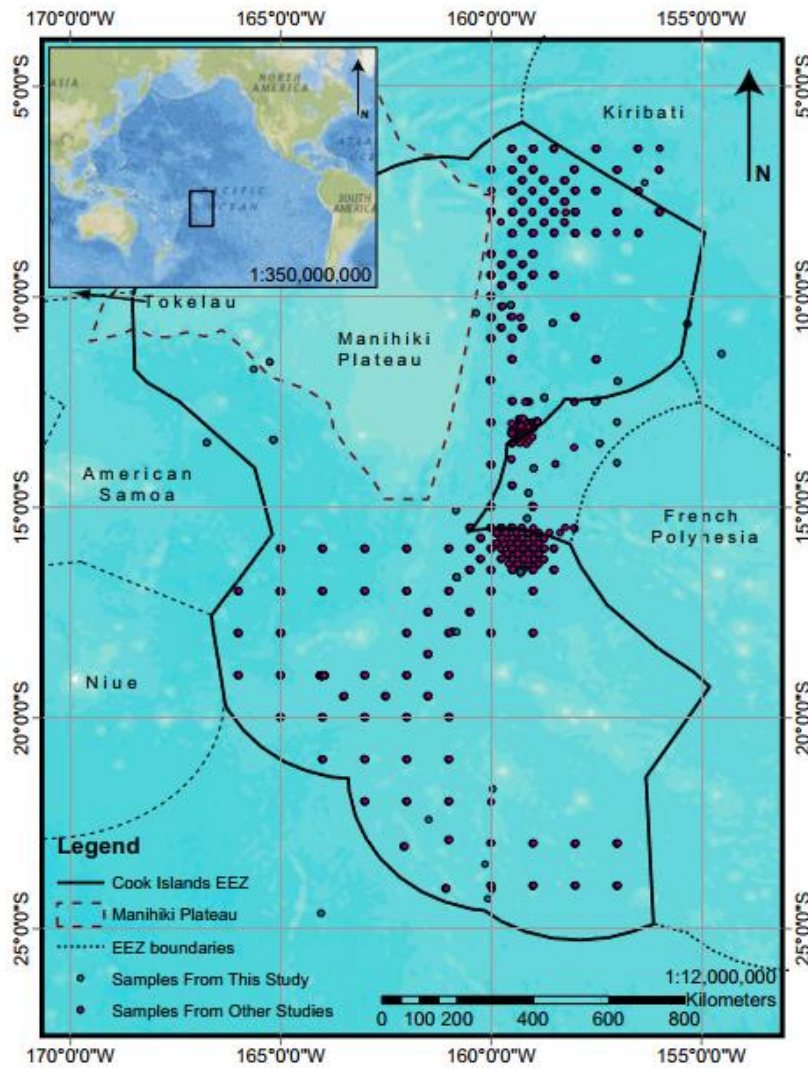
Χάρη σε αυτές, η περιοχή που μπορεί να εκμεταλλευτεί η Ινδία μπορεί να περιέχει χονδρικά 380 εκατομμύρια μετρικούς τόνους πολυμεταλλικών σβόλων.

*Πίνακας 2.2: Περιεκτικότητα μεταλλικών στοιχείων στην λεκάνη του Ινδικού Ωκεανού.*

<b>Μέταλλα</b>	<b>Εκατ. Μετρικοί Τόνοι (mmt)</b>
Μαγγάνιο	95,17
Νικέλιο	4,509
Κοβάλτιο	0,418
Χαλκός	4,455

#### 2.2.4 Πολυμεταλλικές Αποθέσεις των Cook Islands

Τα Cook Island είναι ένα σύμπλεγμα από νησιά και νησίδες που εντοπίζεται στα ανατολικά της Αυστραλίας. Υπό την αιγίδα τους κατέχουν μια οικονομική ζώνη με συνολική έκταση 1.977.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Εντός αυτής εμπεριέχονται πολυμεταλλικές λεκάνες συσσώρευσης των σβόλων, όπως η λεκάνη Penrhyn και η λεκάνη Σαμόα.



Εικόνα 2.7: Χάρτης κοιτασμάτων των Cook Islands (Πηγή: Critical metals in manganese nodules from the Cook Islands EEZ, abundances and distributions)

Βάσει αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή παρατηρήθηκε ότι συγκριτικά με άλλα υποθαλάσσια κοιτάσματα, οι πολυμεταλλικοί σβόλοι των Cook Islands παρουσιάζουν σχετικά υψηλά ποσοστά κοβάλτιου έναντι της περιεκτικότητάς τους σε άλλα κρίσιμα μέταλλα όπως το Νικέλιο, ο Χαλκός και το Μαγγάνιο (Cronoan et al., 1991; Berlan et al., 2004 & Hein και Petersen, 2013). Για τη σύγκριση με παρόμοιες εμφανίσεις, μολονότι ο αριθμός των αναλύσεων είναι περιορισμένος επαρκεί για την αναγνώριση ακόμα 67 στοιχείων, ορισμένα εκ των οποίων αποτελούν χημικά στοιχεία που ελκύνουν το ενδιαφέρον μεταλλευτικών επιχειρήσεων, όπως οι Σπάνιες Γαίες, το Ύτριο, το Ζιρκόνιο, το Τιτάνιο, το Βολφράμιο, το Τελούριο και το Νιόβιο. Τα παραπάνω στοιχεία συγκεντρώθηκαν από τη διαλογή πενήντα τεσσάρων δειγμάτων από είκοσι επτά σημεία της περιοχής ενδιαφέροντος (αναλογία 2 δείγματος ανά σημείο).

Εντός των εργαστηριακών μελετών πραγματοποιήθηκε ξήρανση και έπειτα θρυμμάτιση των σβόλων έως ότου φτάσουν κοκκομετρία μικρότερη των 75 μικρομέτρων. Τα κονιάματα αυτών υποβλήθηκαν σε φασματοσκοπία φθορισμού ακτίνων Χ και παρουσίασαν ότι οι δέκα κυριότερες συγκεντρώσεις είναι μέταλλα (Fe, Mn, Si, Mg, Al, Ca, K, Na, P, Ti) με μεγάλο οικονομικό ενδιαφέρον από ποικίλες βιομηχανίες. Εκτός αυτών με την εφαρμογή περεταίρω μεθόδων, όπως η ICP-AES και ICP-φασματοσκοπία μάζας, οι σβόλοι έδωσαν επίσης στίγματα 32 ιχνοστοιχείων εντός της σύστασης τους.



Εικόνα 2.8: Πολυμεταλλικοί σβόλοι (Πηγή: *Critical metals in manganese nodules from the Cook Islands EEZ, abundances and distributions*)

#### 2.2.5 Πολυμεταλλικές αποθέσεις ανά την υφήλιο

Οι ωκεανοί της γης είναι αχανείς εκτάσεις, και οι πυθμένες τους βυθίζονται κάτω από χιλιάδες μετρά μυστήριου. Πάρα τη μεγάλη και πρόσφορη συγκέντρωση πολυμεταλλικών κοιτασμάτων στις ζώνες των προηγούμενων ενοτήτων, ερευνητές έχουν εντοπίσει τους ιδιαίτερους αυτούς σχηματισμούς και στα βαθιά ύδατα άλλων θαλασσών και ωκεανών.

Περιοχές όπως ο **πυθμένας του Ατλαντικού** και η **Μέσο-Ατλαντική Ράχη** έχουν περάσει από εκτεταμένο αριθμό ερευνών που εντοπίζει την παρουσία πολυμεταλλικών αποθέσεων. Η παρουσία τους δεν εκλείπει επίσης από μικρότερα βάθη, γύρω στα εκατό πενήντα μέτρα, όπως στους κόλπους της Ρίγκας, της Φιλανδίας και του Βοσνιακού κόλπου, με μέγιστη εκτιμώμενη συγκέντρωση τα σαράντα κιλά πολυμεταλλικού υλικού ανά τετραγωνικό μέτρο. Όπως και στην προέκταση του Φιλανδικού κόλπου στη Ρωσία όπου υπολογίζονται χονδρικά έξι εκατομμύρια τόνοι σβόλων χαμηλής περιεκτικότητας σε μεταλλικά στοιχεία (Glasby et al., 1997), τα οποία έχουν ήδη ανασυρθεί από τον πυθμένα την τριετία 2004 ως το 2007 (Cherkashov et al., 2013).

Στην Βαλτική Θάλασσα, όπου ο ρυθμός συσσώρευσης και διόγκωσης των σβόλων μπορεί να φτάσει ως και το ένα χιλιοστό ανά έτος, γεγονός που είναι ιδιαίτερα σημαντικό τόσο για την πλούσια περιεκτικότητα του κοιτάσματος όσο και για την μετέπειτα ανάπλάσή του, στο ενδεχόμενο εκμετάλλευσής τους.

Σε νοτιότερους κόλπους όπως αυτών στις Ισπανικές περιοχές του Καντίθ και της Γαλικίας έχουν καταγραφεί εμφανίσεις σιδηρομαγνητιούχων αποθέσεων με βάση την κατακρήμιση και σχηματισμούς σβόλων (Gonzalez et al., 2012, 2014). Οι Ισπανικές εμφανίσεις παρουσιάζουν μια ιδιαίτερη γεωχημική σύσταση στην οποία τα ποσοστά περιεκτικότητας σε Κοβάλτιο είναι υψηλότερα από άλλες αποθέσεις και το αντίστροφο φαινόμενο παρουσιάζεται στην περιεκτικότητά τους σε Μαγγάνιο. Εικάζεται ότι η μοναδική αυτή σύσταση είναι αποτέλεσμα της παρουσίας ρηγμάτων που θέτουν τα βαθύτερα γεωλογικά στρώματά σε κατάσταση αποδόμησης, καθώς και η πιθανή παρουσία υδρογονανθράκων εντός αυτών των στρωμάτων.

### 2.3 Σχηματισμός Πολυμεταλλικών Κοιτασμάτων

Όπως αναφέραμε σε προηγούμενα κεφάλαια οι πολυμεταλλικοί σχηματισμοί βασίζονται στην απόθεση ή την κατακρήμιση μεταλλικών στοιχείων που αναβλύζουν από τα μάγματα των υποθαλάσσιων ηφαιστειών ή από την αποσάθρωση άλλων πετρωμάτων. Προσκολλούνται είτε σε ελεύθερες επιφάνειες, είτε σε γεωλογικούς σχηματισμούς και δημιουργούν μαύρες στρώσεις πλούσιες σε κρίσιμα μέταλλα πάνω ή γύρω από τις βάσεις έδρασης. Οι τρεις κυριότεροι μηχανισμοί που δίνουν κάθε είδος πολυμεταλλικού κοιτάσματος είναι:



- Η Υδρογενετική Κατακρήμιση.
- Η Διαγενετική Κατακρήμιση.
- Η Κατακρήμιση από Υδροθερμικά υγρά.

### 2.3.1 Υδρογενετική Κατακρήμιση

Υδρογενετική κατακρήμιση ονομάζουμε το σχηματισμό όξινων κολλοειδών σχηματισμών μέσα σε όξινα ύδατα και την απόθεσή τους πάνω σε συμπαγείς, μη επικαλυπτόμενες από ιζήματα επιφάνειες (Halbach et al., 1988, Koschinsky & Halbach, 1995, Koschinsky & Hein, 2003).

Τα οξείδια Μαγγανίου ( $Mn^{+}O_2$ ) και Σιδήρου ( $Fe^{3+}OOH$ ) δεν είναι διαλυτά στο θαλασσινό νερό και υπό τις κατάλληλες συνθήκες Eh-pH ( $Eh > 0,5$  V και pH περίπου 8) παρατηρείται ο σχηματισμός κολλοειδών. Λόγω της τιμής του pH το διοξείδιο του Μαγγανίου έχει ένα ισχυρό αρνητικό φορτίο το οποίο έλκει θετικά φορτισμένα μεταλλικά ιόντα όπως  $Co^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ti^{+}$  και το υδροξείδιο του σιδήρου ένα ασθενές θετικό φορτίο που έλκει θετικά φορτισμένες ρίζες όπως ανθρακικές ρίζες σπάνιων γαιών ( $REE(CO_3)^{2-}$ ) και υδροξείδια μετάλλων (Koschinsky & Halbach, 1995, Koschinsky & Hein, 2003, Heil et al., 2013).

Μέσω της Υδρογενετικής κατακρήμισης παρατηρείται κυρίως ο σχηματισμός πολυμεταλλικών κρουστών πλούσιων σε ομοιοπολικές ενώσεις σιδήρου με άλλα μεταλλικά ιόντα, όπως παρατηρείται στις αποθέσεις των Cook Islands. Όμως μπορεί να παράγει και κοιτάσματα μεικτού τύπου που παρουσιάζουν και ιοντικές ενώσεις οξειδίων του Μαγγανίου όπως αυτές στη ζώνη Clarion Cliperton.

### 2.3.2. Διαγενετική Κατακρήμιση

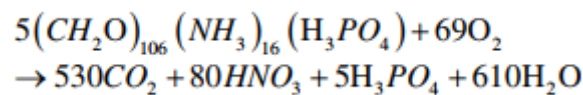
Σε αντίθεση με την Υδρογενετική κατακρήμιση, η οποία απαιτεί την απουσία ιζημάτων για τον σχηματισμό πολυμεταλλικών σωμάτων, η Διαγενετική κατακρήμιση πραγματοποιείται μέσα ή πάνω σε αυτά. Πιο συγκεκριμένα Διαγενετική κατακρήμιση ονομάζουμε το σχηματισμό σβόλων πλουσίων σε Μαγγάνιο εντός των πόρων του ιζηματογενούς στρώματος ή πάνω στην επιφάνεια του.

Βάση της διαγενετικής διεργασίας, αποτελεί μια σειρά από αντιδράσεις οξειδοαναγωγής, όπου οξειδώνεται η οργανική ύλη που υπάρχει στο περιβάλλον. Στην

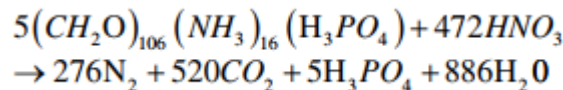
φύση η αποσύνθεση οργανικής ύλης συναντάται ως διεργασία μικροοργανισμών που πραγματοποιεί το διατροφικό τους κύκλο. Όμως κατά τη διαγένεση, η αποσύνθεση αυτή επηρεάζεται από τη σειρά των αντιδράσεων οξειδοαναγωγής και τα ενεργειακά επίπεδα των ιόντων, ξεκινώντας από τις αντιδράσεις με τη μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση (Stumm & Morgan 1981, Chester & Jickells, 2012).

Η Διαγενετική κατακρήμνιση της οργανικής ύλης μπορεί να χωριστεί σε στάδια ανάλογα με το κύριο αντιδραστήριο:

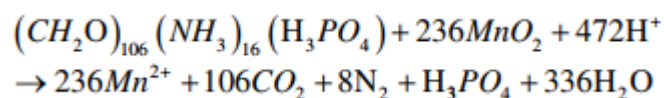
- Στάδιο 1<sup>ο</sup>: Η αερόβια διεργασία κατά την οποία, μικροοργανισμοί οξειδώνουν την οργανική ύλη χάρη στο διαλυμένο οξυγόνο που υπάρχει (Baloway & Bender, 1982).



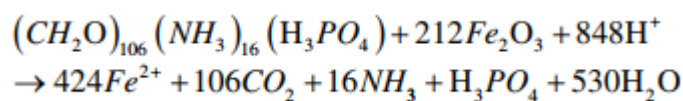
- Στάδιο 2<sup>ο</sup>: Μετά την εξάντληση του διαθέσιμου οξυγόνου, περνάμε στο αναερόβιο στάδιο διεργασίας κατά το οποίο δευτερεύοντες οξειδωτικοί παράγοντες συμμετέχουν στην αντίδραση, με κύρια αντιδραστήρια τα οξείδια του Αζώτου (N). Το 2<sup>ο</sup> στάδιο μπορεί να περιγράψει και ως το στάδιο του αζώτου.



- Στάδιο 3<sup>ο</sup>: Στο 3<sup>ο</sup> στάδιο τη θέση το Νιτρικού οξέος (HNO<sub>3</sub>) καταλαμβάνει το Διοξείδιο του Μαγγανίου (MnO<sub>2</sub>), όπου το θετικά φορτισμένο ιόν του Μαγγανίου (Mn<sup>4+</sup>) επικαλύπτει της κενές θέσεις που παρουσιάζονται κατά την εξάντληση του Νιτρικού Οξέος.



- Στάδιο 4<sup>ο</sup>: Το 4<sup>ο</sup> στάδιο παρατηρείται στις περιπτώσεις που έχει εξαντληθεί το Διοξείδιο του Μαγγανίου και την θέση του παίρνει το τριοξείδιο του Σιδήρου (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).



Κατά τη Διαγενετική κατακρήμνιση λοιπόν, παρατηρούνται μαζί με τα τέσσερα στάδια αντίδρασης και τέσσερις αντίστοιχες στρώσεις πολυμεταλλικών σχηματισμών στο χώρο απόθεσης. Το πάχος που παρουσιάζει κάθε στρώμα κρίνεται από τρεις παράγοντες.

1. Την αρχική ποσότητα οργανικής ύλης που περνά από τις επιμέρους διεργασίες οξείδωσης και αποσύνθεσης.
2. Το ρυθμό συσσώρευσης.
3. Το ρυθμό παροχής των οξειδωτικών παραγόντων για κάθε στάδιο (Chester & Jickells, 2012).

Οι πολυμεταλλικές αποθέσεις που δημιουργούνται από διαγενετικές διεργασίες είναι επίσης πλούσιες σε άλλα μεταλλικά στοιχεία σε μορφή ιόντων όπως το Νικέλιο, ο Χαλκός, ο Ψευδάργυρος και άλλα. Αυτό ωφελείται στο ότι οι ομάδες των Αλκάλιων, των Αλκαλικών γαιών, και των στοιχείων - μετάλλων μετάπτωσης έχουν την ικανότητα να σταθεροποιούν τα κρυσταλλικά πλέγματα που δημιουργεί το Μαγγάνιο.

Τα μεγαλύτερα κοιτάσματα που έχουν σχηματιστεί από Διαγενετική κατακρήμνιση εντοπίζονται στην υποθαλάσσια λεκάνη του Περού και σε ορισμένα τμήματα της ζώνης Clarion Cliperton. Αποτελούν κοιτάσματα με μεγάλες οικονομικές βλέψεις λόγω της πλούσιας σύστασής τους σε μεταλλικά στοιχεία απαραίτητα για τον άνθρωπο.

### 2.3.3 Υδροθερμική Κατακρήμνιση

Η τρίτη μορφή με την οποία σχηματίζονται τα πολυμεταλλικά κοιτάσματα είναι η Υδροθερμική κατακρήμνιση. Η εν λόγω διεργασία βασίζεται στα μεγάλα ποσοστά διαλυτότητας που εμφανίζει το δισθενές ιόν του Μαγγανίου ( $Mn^{2+}$ ) σε όξινα και αναγωγικά περιβάλλοντα, καθώς και στην ιδιότητά του να παραμένει διαλυμένο εντός των υδροθερμικών διαλυμάτων, μέχρι να έρθει σε επαφή το διάλυμα με όξινα ύδατα.

Το φαινόμενο των όξινων υδάτων παρουσιάζεται σε καταστάσεις υψηλής θερμοκρασίας που συνήθως επικρατούν σε υδροθερμικές οπές ή κατά την αποστράγγιση των υδροθερμικών «δικτύων». Εντός αυτών το διαλυμένο Μαγγάνιο οξειδώνεται κατά την ανάμειξη των υδάτων και κατακρημνίζεται. Δημιουργούνται μαυριδερές πολυμεταλλικές κρούστες ή σβόλοι ανομοιομορφου σχήματος στον πυθμένα της θάλασσας (Hein et al., 1990, Rogers et al., 2001, Kuhn et al., 2003).

Κατά την ανάμιξη των υδάτων τα ιόντα του Μαγγανίου δημιουργούν κρυστάλλους που εμπλουτίζονται με άλλα ιόντα μετάλλων, δημιουργώντας μαύρα νέφη μικροκρυστάλλων κατά τη δράση των υδροθερμικών οπών (Lilley et al., 1995). Τα νέφη αυτά συγκεντρώνονται περίπου από εκατό ως και τετρακόσια μέτρα πάνω από τον πυθμένα της θάλασσας και επιτρέπουν στο να παρασυρθούν από ρεύματα νερού, μέχρι να αποθεθούν. Κατά τη μετακίνηση αυτή, ιόντα του Μαγγανίου και του Σιδήρου παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά οξείδωσης που οδηγούν και στην κατακρήμνιση του υλικού (Kuhn et al., 1998, 2000).

Παράγωγα του Μαγγανίου από την Υδροθερμική κατακρήμνιση συναντώνται συχνά σε σημεία που εντοπίζονται και υδροθερμικά δίκτυα. Η μεγαλύτερη απόθεση είναι στη νότιο Αφρική στο προτεροζωικό πεδίο Kalahari, το οποίο υπολογίζεται να περιέχει το 77% των συνολικών αποθεμάτων από τα υδροθερμικά νέφη. Παρόλα αυτά δεν κατέχουν κάποιο οικονομικό ρολό στα σημερινά θαλάσσια συστήματα (Cairncross και Beukes, 2013).

### Κεφάλαιο 3: Νομικό πλαίσιο και αρμόδιοι οργανισμοί.

Οι πολυμεταλλικές αποθέσεις δεν αποτελούν πρόσφατη ανακάλυψη. Αποτέλεσαν το επίκεντρο πολυάριθμων ερευνών, οι οποίες από τα πρώιμα στάδιά τους ανέδειξαν την υψηλή περιεκτικότητά τους σε χρήσιμα μεταλλικά στοιχεία. Λόγω αυτής της σύστασής τους, οι πολυμεταλλικοί σχηματισμοί δεν αργήσαν να μπουν στον προσκήνιο οικονομικών συζητήσεων για την εκμετάλλευσή τους. Το μεγαλύτερο εμπόδιο στα εγχειρήματα αυτά αποτελεί το ελλιπές νομικό πλαίσιο για την ορθή εκμετάλλευση πολυμεταλλικών κοιτασμάτων με τη χρήση σύγχρονων τεχνικών με βάση την αειφορία και την ισοκατανομή πόρων.

#### 3.1 Διεθνείς Συνθήκες και Συμφωνίες

##### 3.1.1 Συνθήκη UNCLOS

Το Ακρωνύμιο UNCLOS (United Nations Convention on the Law of the Sea) αποτελεί τον πρωταρχικό πυλώνα μορφοποίησης ενός νομικού πλαισίου, την ορθή διαχείριση των υδάτων και ότι βρίσκεται εντός αυτών. Η UNCLOS λόγω του τρόπου σύνταξής της φέρει ποικίλους χαρακτηρισμούς όπως «Το Σύνταγμα των Ωκεανών» και «Η Ζωντανή Συνθήκη» (Jill Barrett & Richard Barnes, 2016). Ο όρος «Ζωντανή Συνθήκη» προκύπτει από την προοδευτική μεταβλητότητα και εξέλιξη που παρουσιάζει το νομικό πλαίσιο με το πέρασμα των ετών.

Η ιστορία της UNCLOS χωρίζεται σε τρεις συγκλήτους από τα κράτη μέλη των Ηνωμένων Εθνών σχετικά και τη διατήρηση των υδάτων, να ορίσει ποια θα είναι τα ορθά πρότυπα και οι αρχές που θα πρέπει να πρεσβεύει και να ακολουθεί το Διεθνές Ναυτικό Δίκαιο.

Η **UNCLOS I** αποτέλεσε το ξεκίνημα των διαπραγματεύσεων στην Ελβετία. Το 1956 στη σύγκλητο της Γενεύης, τα Ηνωμένα έθνη συντάξαν τη βάση τεσσάρων συνθήκων, που συντελούν την UNCLOS.

Την πρώτη σύγκλητο διαδέχτηκε η **UNCLOS II**, στην οποία τεθήκαν σε επανεξέταση και προσαρμογή σε σχέση με τα παρευρισκόμενα μέλη. Το αποτέλεσμα ήταν να γίνουν ξεκάθαρες οι θέσεις και οι σχέσεις που θα δημιουργούσαν τα μέλη μεταξύ τους, με αναπτυσσόμενες ή υποανάπτυκτες χώρες να δηλώνουν το ενδιαφέρον τους για καρποφόρες συνεργασίες εκμετάλλευσης των υδάτων σε χώρες με ήδη ανεπτυγμένη οικονομία όπως η

τότε Σοβιετική Ένωση και οι Ηνωμένες πολιτείες της Αμερικής. Στη UNCLOS II δεν πραγματοποιήσαν νέες συνθήκες.

Πάρα τον μεγάλο αριθμό συναντήσεων, το ζήτημα ισοκατανομής και ορθής διατήρησης υδάτινων εκτάσεων δεν είχε ακόμα λυθεί. Το 1967 η Μάλτα έκανε σύσταση στον Οργανισμό των Ηνωμένων Εθνών να επιληφθεί το ζήτημα των χωρικών υδάτων και να ορίσει ξεκάθαρα όρια εγχώριας κυριαρχίας σε αυτά. Τη λύση έφερε η **UNCLOS III** που πραγματοποιήθηκε το 1973 στο ουδέτερο έδαφος της Νέας Υόρκης προς αποφυγήν τυχόν άσκησης κυριαρχίας και μεροληψίας από κράτη μέλη με ισχυρές θέσεις εντός του οργανισμού (ΟΗΕ). Για την UNCLOS III, υπήρξε συμμετοχή από εκατό εξήντα κράτη και τέθηκε σε εφαρμογή η μέθοδος της κρατικής συναίνεσης στους όρους της UNCLOS αντί για την εδραίωση και ενεργοποίηση όρων με βάση τη γνώμη της πλειοψηφίας. Οι συγκεντρώσεις για την ολοκλήρωση της UNCLOS ολοκληρώθηκαν το 1982 και η έναρξη της ισχύς της έγινε στις 16 Νοέμβριου του 1994 μετά την ένταξη της Γουιάνας ως το εξηκοστό επίσημο μέλος των Ηνωμένων Εθνών που επικυρώνει τη συνθήκη το 1993.

Οι συνθήκες της πρώτης συγκλήτου που τέθηκαν και σε ισχύ το 1994, οριστήκαν:

- Στις **30 Σεπτέμβριου του 1962**, ορίστηκε η βάση του πλαισίου για το ζήτημα των ανοιχτών θαλασσών.
- Στις **10 Ιουνίου του 1964**, ορίστηκε η βάση του πλαισίου και των επίσημων αποστάσεων της υφαλοκρηπίδας.
- Στις **10 Σεπτέμβριου του 1964**, ορίστηκε η διατήρηση υδάτων που βρίσκονται υπό την αιγίδα μιας χώρας, αλλά και την οριοθέτηση συνόρων με γείτονες χώρες.
- Στις **20 Μάρτιου του 1966**, ορίστηκε η διατήρηση και προστασία πόρων στις ανοιχτές θάλασσες που εμφανίζουν έμβια στοιχεία.

Μετά την ενεργοποίηση της UNCLOS, τα Ηνωμένα έθνη πραγματοποίησαν συναντήσεις για την επίλυση νέων ζητημάτων ή τροποποιήσεις του νομικού πλαισίου στα ζητήματα των θαλασσών ή την ένταξη νέων μελών στη συνθήκη.

### 3.1.2 Συνθήκη OSPAR

Η OSPAR αποτελεί έναν μηχανισμό για την προστασία θαλάσσιων οικοσυστημάτων στον Βόρειο Ανατολικό τομέα του Ατλαντικού Ωκεανού. Συντελέστηκε από δεκαπέντε μέλη της

Ευρωπαϊκής, στις 22 Σεπτεμβρίου του 1992. Η κομισιόν δημιούργησε ένα εκσυγχρονισμένο αμάλγαμα δύο προηγούμενων συμφωνιών της OSPAR. Τη συμφωνία του Oslo το 1972, που αποτελεί το ρυθμιστικό πλαίσιο για την απόθεση λυμάτων στις θάλασσες και τη συμφωνία του 1974 στο Παρίσι που μελετούσε τα είδη πηγών ρύπανσης των θαλασσών που έχουν ως αρχή την στερία, εξού και το όνομα OSPAR, Oslo- Paris.

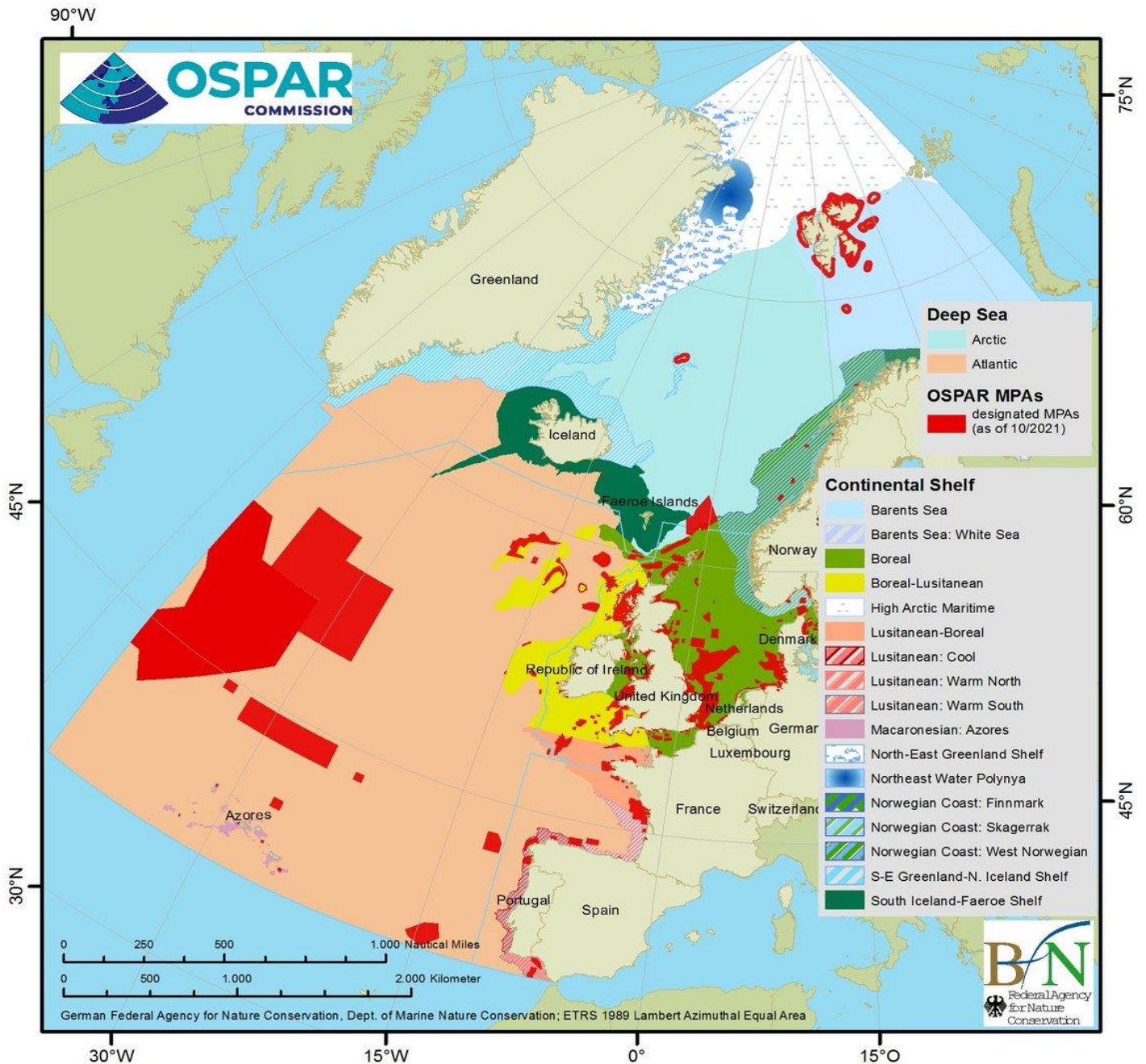
Στόχος της OSPAR ήταν η εδραίωση προστατευόμενων ζωνών στην επικράτεια του τομέα της. Από τις αρχές της νέας χιλιετίας έκρινε ότι η όποια διατάραξη ή και καταστροφή των υποθαλάσσιων συστημάτων μπορεί να οφειλόταν είτε σε αλιευτικές ενέργειες είτε σε ενέργειες εκμετάλλευσης υδάτινων πόρων ή πρώτων υλών που εντοπίζονταν κάτω από την στάθμη του νερού (OSPAR, 2006α, Παράγραφος 7).

Το 2003 με την οριοθέτηση των προστατευόμενων ζωνών η OSPAR εισήγανε τα παρακάτω κριτήρια:

1. Εντός των προστατευόμενων ζωνών κύρια μελήματα είναι η προστασία αυτών, η διατήρησή τους και η ανάπλασή τους όσο είναι εφικτό, σε τμήματα που έχουν ρυπανθεί από τον άνθρωπο.
2. Όσοι θέλουν να πραγματοποιήσουν ενέργειες εντός των προστατευόμενων ζωνών, να έχουν ως βασικό στόχο την αποφυγή υποβάθμισης και πρόκλησης μη αναστρέψιμων αλλοιώσεων στο περιβάλλοντα χώρο, την προστασία της τοπικής βιοποικιλότητας και τους μηχανισμούς της.
3. Προτεραιότητα για τη λήψη προστασίας πρέπει να λάβουν οι τομείς της προστατευόμενης περιοχής που εμπεριέχουν το μεγαλύτερο μέρος της βιοποικιλότητας και μέρος των φυσικών μηχανισμών της (Ενότητα 2.1, OSPAR, 2003).

Οι παραπάνω προτάσεις αποτέλεσαν τη βάση του NEAES (North-East Atlantic Environment Strategy). Ένα εργαλείο των δεκαέξι, πλέον, επίσημων μελών της OSPAR, που στοχεύει στην αντιμετώπιση θαλάσσιων ζητημάτων όπως η εξαφάνιση θαλάσσιων ειδών- μείωση της βίο-ποικιλομορφίας, τη μείωση του πληθυσμιακού τους αριθμού και την κλιματική αλλαγή που θα επιφέρει η προαναφερθείσα διαταραχή. Το NEAES είναι η πρόταση που θέλει η OSPAR να εισάγει στο πρόγραμμα των Ηνωμένων εθνών για το 2030, με στόχο την Αειφόρο ανάπτυξη και τους στόχους αυτής.

Το πρόγραμμα αυτό θα επιτρέψει στα μέλη της OSPAR να αναπτύξουν την καλύτερη εφαρμογή μέτρων προστασίας στις πεντακόσιες ογδόντα τρεις επίσημα προστατευόμενες ζώνες, σύμφωνα με την καταγραφή της 1<sup>ης</sup> Οκτωβρίου του 2021.



Εικόνα 3.1: Επίσημος χάρτης προστατευόμενων περιοχών από την OSPAR

Ως προς την εξόρυξη βαθιάς θάλασσας η OSPAR δεν κάνει προς στιγμή κάποια ειδική αναφορά. Ωστόσο, εντός των χαρτών, από τη βάση δεδομένων του οργανισμού, υπάρχει λεπτομερής καταγραφή πολυάριθμων ζωνών εντός του βορείου ανατολικού τομέα που επιτηρεί, με αποτέλεσμα στο ενδεχόμενο έναρξης εξορυκτικών ενεργειών να είναι έτοιμη να



εφαρμόσει την περιβαλλοντική στρατηγική που κατέθεσε στα Ηνωμένα Έθνη για το πρόγραμμα του 2030.

### 3.2 Διεθνείς Στόχοι και Νομικό Πλαίσιο για την εξόρυξη βαθιάς θάλασσας

Λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης στους τομείς της τεχνολογίας, της βιομηχανίας και της πράσινης μετάβασης, η εξόρυξης βαθιάς θάλασσας και ειδικότερα το νομικό πλαίσιο γύρω από αυτήν αποτελεί ένα φλέγον θέμα για αυτήν και τις ερχόμενες δεκαετίες. Δύο είναι τα μεγαλύτερα προβλήματα που έχουν να αντιμετωπίσουν οργανισμοί και εταιρίες που θέλουν να ξεκινήσουν εκμεταλλευτικές δραστηριότητες.

Το πρώτο πρόβλημα παρουσιάζεται στην περιβαλλοντική φύση του ζητήματος καθώς δεν έχουμε επαρκείς πληροφορίες για το πως λειτουργούν τα οικοσυστήματα στα οποία εντοπίζονται τα πολυμεταλλικά κοιτάσματα, καθώς και ποιες ενδέχεται να είναι οι πολυάριθμες συνέπειες στο ενδεχόμενο διαταραχής, αλλοίωσης ή και απαλλοτρίωσής τους. Το δεύτερο ζήτημα είναι η έλλειψη ξεκάθαρου νομικού πλαισίου για την εκμετάλλευση πόρων εντός της ανοιχτής θάλασσας, στην οποία εντοπίζεται και το μεγαλύτερο πλήθος των πολυμεταλλικών κοιτασμάτων.

#### 3.2.1 Κυρίοι Στόχοι του Διεθνούς Οργανισμού Διαχείρισης του Θαλάσσιου πυθμένα (ISA)

Το ζήτημα της εξόρυξης βαθιάς θάλασσας και της ένταξης ενός ορθά δομημένου νομικού πλαισίου αποτελεί ένα πολυδιάστατο πρόβλημα για τις αρμόδιες αρχές που καλούνται να το ορίσουν. Κεντρικό ρόλο στο εγχείρημα αυτό έχει ο Διεθνής οργανισμός διαχείρισης του θαλάσσιου πυθμένα, όπου το 2021 δημοσίευσε ένα περιεκτικό ανάγνωσμα, με τίτλο «The contribution of the Seabed Authority to the achievement of the 2030 Agenda for Sustainable Development». Εντός αυτού, η νομική και τεχνική ομάδα της ISA (LTC) και ο γενικός γραμματέας Michael W. Lodge αναλύουν τους στόχους και την ανάπτυξη που θα πρέπει να επιτευχθεί για το ζήτημα εξόρυξης της βαθιάς θάλασσας και την ατζέντα για αειφόρο ανάπτυξη ως το 2030.

##### 3.2.1.1 Ενδυνάμωση και Εφαρμογή του Νόμου στην θαλάσσια διακυβέρνηση

Σκοπός της ISA και της LTC είναι όπως προαναφέρθηκε ένα επαρκές νομικό πλαίσιο για την εκμετάλλευση πόρων που εντοπίζονται στο πυθμένα των διεθνών υδάτων. Αφορμή αποτελεί η πρόληψη κατά την εφαρμογή τεχνικών εκμετάλλευσης που υπονομεύουν τα

υποθαλάσσια κοιτάσματα και την πληθώρα πρώτων υλών ως προς τους άλλους ενδιαφερόμενους και τις μελλοντικές γενιές.

Ο νομός της ISA για τις θαλάσσιες πρώτες ύλες αποτελεί μια συλλογική προσπάθεια συνεργασίας ανάμεσα σε μεγάλο αριθμό κρατών και εταιριών με στόχους την εφαρμογή και την κατανόηση του ποσό σημαντική είναι η χρήση τεχνικών αειφορίας.

Χωρίς την παρουσία της UNCLOS, της OSPAR και πολλών οργανισμών που δημιουργήθηκαν για την επιτήρηση και την εφαρμογή τους, πιθανολογείται η πρόωρη εκκίνηση των εξορυκτικών προσπαθειών, σε βιομηχανική κλίμακα. Γεγονός που όχι μόνο θα έφερνε ανισότητα ευκαιριών για ίση εκμετάλλευση και ανάπτυξη των ενδιαφερόντων, αλλά και για χρήση μη ελεγχμένων μέσων και τεχνικών απόληψης που θα προκαλούσαν ανεπανόρθωτες ζημιές στα παρόντα οικοσυστήματα και στον άνθρωπο.

#### 3.2.1.2 Ανάπτυξη της εξόρυξης βαθιάς θάλασσας προς όφελος όλων των ανθρώπων

Μέσω του πρώτου στόχου, σκοπός της ISA, έχει αποτραπεί η εκκίνηση μη ελεγχμένων εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Μέχρι να συνταχθεί ένα πλήρες νομικό πλαίσιο και να συσσωρευτεί η απαραίτητη γνώση για τα υποθαλάσσια οικοσυστήματα των πολυμεταλλικών κοιτασμάτων, η ISA επιτρέπει μόνο εξορμήσεις ερευνητικού τύπου, αυστηρά εντός της έκτασης που έχει είτε «αποκτήσει» ο κάθε ενδιαφερόμενος χωριστά είτε εντός μιας συνδυαστικής επιφάνειας, από το συνολικό κοίτασμα, που δίνεται επίσημα η δυνατότητα να δημιουργηθεί. Παραδείγματα συνδυαστικών εκτάσεων αποτελούν αναπτυσσόμενα κράτη όπως τα Cook Islands που έχουν παραχωρήσει πρόσβαση στο μερίδιο έκτασή τους, σε ιδιωτικές εταιρίες, όπως η Καναδέζικη μεταλλευτική εταιρία, «The Metals Company», σε αντάλλαγμα για την τεχνογνωσία τους στον μεταλλευτικό χώρο και τα πρόσφορα οικονομικά δίκτυα που έχει χτίσει η εταιρία.

Από τα πρώτα έτη της δεκαετίας, έχουν επίσημα καταχωρηθεί στο σύνολό τους τριάντα μία αδειοδοτήσεις για εξερεύνηση του βυθού σε είκοσι ένα κράτη, εκ των οποίων δέκα είναι αναπτυσσόμενα έθνη και έξι αναπτυσσόμενα νησιώτικα κρατίδια. Με βάση το παραπάνω παράδειγμα η ISA, ως οργανισμός της UNCLOS και των Ηνωμένων Εθνών, προσπαθεί να εντάξει ένα πλαίσιο ίσου αναπτυξιακού ανταγωνισμού, δίνοντας τη δυνατότητα σε ισχυρές χώρες να παρέχουν τεχνογνωσία και οικονομικές εισφορές σε, όπως το θέτει και ο ΟΗΕ, φτωχά και αναπτυσσόμενα τεχνολογικά και οικονομικά κράτη.

### *3.2.1.3 Διασφάλιση ασφαλούς και ταχείας πράσινης μετάβασης*

Το πρόσφατο ενδιαφέρον για την αξιοποίηση των πολυμεταλλικών κοιτασμάτων ανά την υφήλιο και η αύξηση ποικίλων ερευνών σχετικά με αυτά τα μοναδικά οικοσυστήματα οφείλεται στην κοινή απόφαση της ανθρωπότητας να πραγματοποιήσει το επόμενο βήμα στην επιβίωσή της με τη χρήση νέων μορφών ενέργειας και την αποστασιοποίησή της από τη χρήση υδρογονανθράκων και άλλων ρυπογόνων πηγών ενέργειας όπως το κάρβουνο.

Σύμφωνα με τους ειδικούς η πολυπόθητη πράσινη μετάβαση, αποτελεί ένα πολυετές σχέδιο συνεργασίας όλων των ενδιαφερόμενων κρατών, σε πολλαπλούς τομείς. Εντός αυτού υπολογίζεται ο πολλαπλασιασμός της ανάγκης του ανθρώπου σε ορισμένα μέταλλα, τα οποία αποτελούν θεμελιώδη υλικά των μεταβατικών πηγών παραγωγής ενέργειας.

Στατιστικές έρευνες υποθέτουν ότι για την πλήρη πράσινη ανεξαρτητοποίηση το σύνολο της ανθρωπότητας, σύμφωνα με τους παρόντες στόχους της Ατζέντας του 2030 και 2050, θα χρειαστεί να αξιοποιήσει ποσότητες κρίσιμων μεταλλικών στοιχείων, όπως το Νικέλιο (Ni) και ο Χαλκός (Cu), σε ποσότητες ως και είκοσι φορές μεγαλύτερες μέχρι και το 2040.

### *3.2.1.4 Περιορισμός και Αποφυγή παραγωγής ρυπογόνων παραγόντων από τη θεώρηση νομικού πλαισίου για την Εξόρυξη Βαθιάς θάλασσας*

Πυρήνας όλων των ενεργειών της ISA και της νομικής της ομάδα είναι η αποτροπή ενεργειών που ενδέχεται να θέσουν σε κίνδυνο τα άγνωστα και πιθανώς πολύ ευαίσθητα οικοσυστήματα που έχουν δημιουργηθεί μέσα στις αποθέσεις πολυμεταλλικών κοιτασμάτων.

Με τη δημιουργία του αναφερθέντος νομικού πλαισίου πιθανολογείται η βελτίωση στα μετρά πρόληψης και προστασίας όχι μόνο των βαθιών θαλασσών, αλλά και οικοσυστημάτων που έχουν υποστεί υπέρμετρη και μη αναστρέψιμη αλλοίωση από επιφανειακές εκμεταλλεύσεις. Στοχοποιούνται επίσης κοινωνικά φαινόμενα εκμετάλλευσης για την εξόρυξη πρώτων υλών, όπως ανθυγιεινές και ανήθικες συνθήκες εργασίας για κοινωνικά και οικονομικά ευάλωτες ομάδες, σε χώρες που πάσχουν από έλλειψη οικονομική και νομική φερεγκιότητα.

### 3.2.2 Κώδικας Μεταλλευτικών Εργασιών για την Εξόρυξης Βαθιάς Θάλασσας

Όπως για κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα υπάρχει ένα πλαίσιο κανόνων, έτσι και για την εκμετάλλευση πρώτων υλών υπάρχει ο Κώδικας Μεταλλευτικών και Λατομικών Έργων (Κ.Μ.Λ.Ε). Σύμφωνα με τις αναρτήσεις της, η ISA έχει σκοπό τη δημιουργία ενός παρόμοιου κώδικα όπως ο Κ.Μ.Λ.Ε. ειδικά τροποποιημένο για την εξερεύνηση και εκκίνηση μεταλλευτικών εγχειρημάτων εντός της Ανοιχτής Θάλασσας (The Area). Προς στιγμήν έχουν οριστεί οι αδειοδοτήσεις που έχει εγκρίνει η ISA για ερευνητικές εξορμήσεις σε:

- Πολυμεταλλικά Σουλφίδια το 2010.
- Πολυμεταλλικές / Σιδηρομαγνητιούχες Κρουστές το 2012.
- Αποθέσεις Πολυμεταλλικών Σβόλων το 2014.

Εντός αυτών αναγράφονται σαφείς νομικοί και περιβαλλοντικοί όροι, που θα πρέπει να τηρηθούν αυστηρά από τους ενδιαφερομένους εξερευνητές.

Επιπρόσθετα, από περεταίρω αναρτήσεις της ISA, η νομική και τεχνική της ομάδα (LTC) έχει ήδη δημιουργήσει της πρώτη εκδοχή του πολύ αναμενόμενου νομικού πλαισίου, που εμπεριέχει τους απαραίτητους κανονισμούς και οδηγίες για πολιτικές ενέργειες σε πολυμεταλλικές εμφανίσεις. Ο εν λόγω κώδικας έχει κατατεθεί στο γενικό συμβούλιο της ISA για αξιολόγηση και τροποποίηση σύμφωνα με τις ανάγκες και τους κινδύνους που θα δημιουργήσουν οι υποθαλάσσιες εκμεταλλεύσεις και θα ενταχθεί μαζί με τον ήδη υπάρχων ερευνητικό κώδικα, συντελώντας από κοινού τον Κώδικα Μεταλλευτικών Έργων στην Βαθιά Θάλασσα.

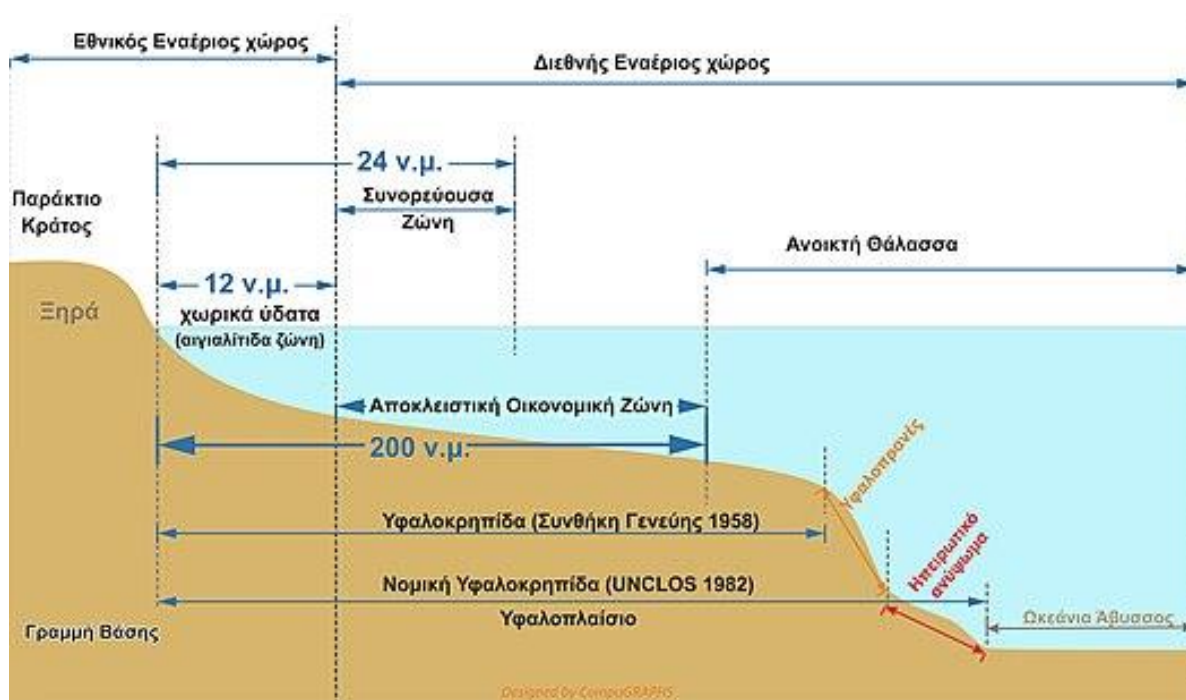
Η τελική εκδοχή του μεταλλευτικού κώδικα έχει ως στόχους την εφαρμογή μέτρων προστασίας για τα υποθαλάσσια οικοσυστήματα, καθώς και να εδραιώσει ένα αειφόρο κλίμα συνεργασίας και ανταλλαγής τεχνογνωσίας και πόρων ανάμεσα στα αναπτυσσόμενα κράτη και τα ήδη ανεπτυγμένα.

### 3.3 Έννοιες Νομικού πλαισίου

Η σύνταξη ενός καλά συγκροτημένου νομικού πλαισίου τείνει να είναι περίπλοκη καθώς εντός αυτού πρέπει να ορίζονται με υψηλή λεπτομέρεια και σαφήνεια οι έννοιες για τις οποίες συντάσσεται. Ζούμε σε έναν κόσμο γεμάτο από ανοιχτές θάλασσες και αρκετές χώρες που θέλουν να καρπωθούν τον πλούτο τους.

### 3.3.1 Ανοιχτή Θάλασσα

Η Ανοιχτή Θάλασσα ή όπως το ορίζει η UNCLOS, «The Area», αποτελεί το μεγαλύτερο κληρονομικό στοιχείο που έχει η ανθρωπότητα, πέρα από την επικράτεια της γης. Οι διεθνείς θάλασσες αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος από το σύνολο των υδάτων του πλανήτη, με το υπόλοιπο ποσοστό να το κατέχουν οι Αποκλειστικές Οικονομικές και Αιγιαλίτιδες Ζώνες κάθε παράκτιας χώρας. Μέσα στον όρο ανοιχτή θάλασσα επίσης συμπεριλαμβάνονται τα οικοσυστήματα που εμπεριέχει, οι οργανισμοί που ζουν σε αυτά και οι φυσικοί πόροι.



Εικόνα 3.2: Επίσημες θαλάσσιες ζώνες με βάση την Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για το Δίκαιο της Θαλάσσης

Εντός αυτών καμία χώρα δεν μπορεί να ασκήσει οποιαδήποτε μορφή κτήσης σύμφωνα με την UNCLOS και την αρχή της ελευθερίας των θαλασσών. Όμως δεν εμφανίζει επίσης μεγάλους περιορισμούς σε κλάδους όπως η αλιεία, η ναυτιλία και η εκμετάλλευση πόρων από τον πυθμένα, όπως παραδείγματος χάρη τα πολυμεταλλικά κοιτάσματα.

Οι κυριότεροι λόγοι απουσίας σχετικών περιορισμών οφείλονται στην προσπάθεια των Ηνωμένων Εθνών να εδραιώσουν ένα κλίμα συνεργασίας και ανάπτυξης ανάμεσα στα ενδιαφερόμενα κράτη, την καλλιέργεια αειφόρων μεθόδων προς αποφυγή της όποιας υπονόμησης των θαλασσών για τις μελλοντικές γενιές και της έλλειψης ενός σαφούς νομικού πλαισίου για την αντιμετώπιση ορισμένων ζητημάτων.

### Όρια εθνικής δικαιοδοσίας και κυριαρχίας

Διάστημα (συμπεριλαμβανομένων των τροχιών της Γης, της Σελήνης και άλλων ουράνιων σωμάτων και των τροχιών τους)					
εθνικός εναέριος χώρος		εναέριος χώρος αιγιαλίτιδας ζώνης	εναέριος χώρος συνορεύουσας ζώνης	διεθνής εναέριος χώρος	
επιφάνεια εδάφους	επιφάνεια εσωτερικών υδάτων	επιφάνεια αιγιαλίτιδας ζώνης	επιφάνεια συνορεύουσας ζώνης	επιφάνεια ΑΟΖ	επιφάνεια ανοικτής θάλασσας
εσωτερικά ύδατα		αιγιαλίτιδα ζώνη	ΑΟΖ		ανοικτή θάλασσα
υπέδαφος		επιφάνεια της υφαλοκρηπίδας		υφαλοπλαίσιο	διεθνής επιφάνεια βυθού
		υπέδαφος υφαλοκρηπίδας		υπέδαφος υφαλοπλαισίου	διεθνές υπέδαφος βυθού

- πλήρης εθνική δικαιοδοσία και κυριαρχία
- περιορισμοί στην εθνική δικαιοδοσία και κυριαρχία
- διεθνής δικαιοδοσία ανά κοινή κληρονομιά της ανθρωπότητας

Πίνακας 3.1: Όρια εθνικής δικαιοδοσίας και κυριαρχίας (Πηγή: [https://el.wikipedia.org/wiki/Ανοικτή\\_θάλασσα](https://el.wikipedia.org/wiki/Ανοικτή_θάλασσα))

#### 3.3.2 Εγχωρία Ύδατα- Αιγιαλίτιδα Ζώνη

Με τον όρο Αιγιαλίτιδα Ζώνη αναφερόμαστε στο θαλάσσιο τμήμα που ορίζει κάθε χώρα μετά τις ακτογραμμές της. Εντός αυτής της ζώνης μια χώρα έχει κυριαρχικά δικαιώματα που περιλαμβάνουν το εναέριο τμήμα, τα ύδατα, την επιφάνεια του πυθμένα και τα στρώματα του υπεδάφους κάτω από αυτόν. Αποτελεί μια από τις τρεις κύριες ζώνες οριοθέτησης των υδάτων μιας χώρας, μαζί με την Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη (Ενότητα 3.3.3) και των Διεθνών Υδάτων (Ενότητα 3.3.1).

Η μέγιστη έκταση που μπορεί να δεσμεύσει μια χώρα αποτέλεσε κομβικό θέμα στις συνελεύσεις της UNCLOS, καθώς εντός αυτής μια χώρα μπορούσε να ασκήσει σημαντικά κυριαρχικά δικαιώματα, έναντι άλλων. Προς αποφυγή οποιαδήποτε υπέρβασης στο θαλάσσιο χώρο και καταπάτησης συνορευόντων χωρικών υδάτων, η σύγκλητος έθεσε σε ψηφοφορία τον ορισμό αυτής της απόστασης από τα μέλη και ασκήθηκε η μέθοδος της πλειοψηφίας.

<b>Διεκδίκηση πλάτους</b>	<b>Αριθμός κρατών</b>
Όριο 3 μιλίων	26
Όριο 4 μιλίων	3
Όριο 5 μιλίων	1
Όριο 6 μιλίων	16
Όριο 9 μιλίων	1
Όριο 10 μιλίων	2
Όριο 12 μιλίων	34
Περισσότερα από 12 μίλια	9
Απροσδιόριστα	11

*Πίνακας 3.2: Ψηφοφορία κρατών του ΟΗΕ για την μέγιστη απόσταση της Υφαλοκρηπίδας από την ακτογραμμή*

Το αποτέλεσμα της ψηφοφορίας της συγκλήτου ανέδειξε τα δώδεκα ναυτικά μίλια ως την πιο επιθυμητή μέγιστη απόσταση που μπορεί να εκτείνει ένα κράτος τα κυριαρχικά του δικαιώματα. Ειδικότερα, αποφασίστηκε ότι:

1. Ένα κράτος μπορεί να εκτίσει την κυριαρχία του σε απόσταση μικρότερη ή ίση των δώδεκα ναυτικών μιλίων, όσο είναι το επιτρεπτό από την περιβάλλουσα γεωγραφία, τις συνορεύουσες ζώνες, και τα γειτονικά χωρικά ύδατα.
2. Τα πλοία που εισέρχονται στην επικυρωμένη ζώνη, προστατεύονται με υποχρεωτική αβλαβή διέλευση. Με το κράτος αυτής της ζώνης να έχει το δικαίωμα να αναστείλει το προνόμιο αυτό σε ορισμένες ζώνες των χωρικών υδάτων. Εφαρμόζεται μόνο σε έκτακτες περιπτώσεις που έχει παρουσιαστεί σοβαρό ζήτημα ασφαλείας.
3. Στο ενδεχόμενο το οποίο, δύο ή και περισσότερες ζώνες που η επέκτασή τους επιφέρει επικάλυψη άλλων συνορεύοντων ζωνών ή οι ακτογραμμές τους παρουσιάζουν αντικριστό προσανατολισμό χωρίς επαρκή απόσταση ανάμεσα τους με αποτέλεσμα την επικάλυψη, δεν επιτρέπεται η επέκταση των ζωνών τους. Σύμφωνα με την UNCLOS τα κράτη έχουν τη δυνατότητα να εκτείνουν τη ζώνη των εγχώριων υδάτων τους μέχρι το ήμισυ νοητής και προκαθορισμένης γραμμής, που ορίζεται από δύο ισαπέχοντα σημεία από τις ακτές αυτών. Αυτό εξαιρείται σε περιπτώσεις που προϋπάρχουν ιστορικά δικαιώματα στα ύδατα ή στην περίπτωση που έχει πραγματοποιηθεί συμφωνία οριοθέτησης συνεπέκτασης και συνύπαρξης ανάμεσα στα εμπλεκόμενα κράτη.

### 3.3.3 Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη

Η αποκλειστική οικονομική ζώνη (Α.Ο.Ζ.) είναι η θαλάσσια έκταση που παρεμβάλλεται ανάμεσα από την ακτογραμμή μιας χώρας και τα διεθνή ύδατα. Λόγω της ανάγκης για οριοθετημένες αλιευτικές ζώνες μικρής κλίμακας, εκτός των δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται στην Ανοιχτή Θάλασσα, πρωτοπαρουσιάστηκε η έννοια της Αποκλειστικής Οικονομικής Ζώνης. Το μέγιστο μήκος που μπορεί να έχει μια Α.Ο.Ζ. τα διακόσια ναυτικά μίλια και εντός της επικρατείας της εντάσσεται η Αιγιαλίτιδα ζώνη, στα δώδεκα ναυτικά μίλια από την ακτογραμμή και η Συνορεύουσα ζώνη στα είκοσι τέσσερα ναυτικά μίλια αντίστοιχα (Άρθρο 57, UNCLOS).



Εικόνα 3.3 Παγκόσμιος χάρτης με την οριοθέτηση των Αποκλειστικών Οικονομικών Ζωνών (Πηγή: [https://el.wikipedia.org/wiki/Αποκλειστική\\_Οικονομική\\_Ζώνη](https://el.wikipedia.org/wiki/Αποκλειστική_Οικονομική_Ζώνη) )

Η UNCLOS ορίζει ότι η χώρα στη οποία ανήκει επίσημα η Α.Ο.Ζ. έχει πλήρη ελευθερία να πραγματοποιήσει ενέργειες που αποσκοπούν σε δραστηριότητες εξερεύνησης των υδάτων της ή την εκμετάλλευση των πόρων που εντοπίζονται εντός αυτής.

Η μεγαλύτερη διαφορά ανάμεσα στην εφαρμογή όποιας εξουσίας στα εγχώρια ύδατα και την αποκλειστική οικονομική ζώνη είναι ότι στην Α.Ο.Ζ. μια χώρα μπορεί να ασκήσει κυριαρχικά δικαιώματα σε αντίθεση με τα εγχώρια ύδατα που μια χώρα έχει πλήρη εξουσία.



Παρά τις ορισμένες αποστάσεις, υπάρχουν περιπτώσεις όπου εμφανίζεται επικάλυψη δύο ή και παραπάνω Α.Ο.Ζ.. Στο ενδεχόμενο αυτό, οι εμπλεκόμενες χώρες καλούνται να συμφωνήσουν σε μια οριοθέτηση, με την πολυψήφια των εγγύτερων χωρών να διεκδικούν την επικαλυπτόμενη περιοχή.

#### 3.3.4 Ακτογραμμή

Ο ορισμός της ακτογραμμής αναφέρεται στην ελαφρώς μεταβαλλόμενη συνοριογραμμή από ένα υδάτινο σώμα και το τμήμα ξηράς που σταματά σε αυτήν. Στην γη υπάρχει μεγάλη ποικιλομορφία από ανάγλυφα γι' αυτό και ο όρος ακτογραμμή φέρει ειδικές κατηγορίες ανάλογα με την κλίση που παρουσιάζει το έδαφος που συνορεύει με τη θάλασσα.

Οι ακτογραμμές που παρουσιάζουν μηδενική κλίση και σε κατάσταση ηρεμίας είναι σχεδόν αδιάκριτες από την ξηρά ονομάζονται «**Εν χρω**». Μετά έχουμε τις πιο συνηθισμένες ακτογραμμές, τις «**Ομαλές**» με κλίση ως και 15°. Όταν η γωνία κλίσης υπερβεί τις 15° ονομάζεται «**Υπόκρημνη**» ακτογραμμή μέχρι και της 25°. Στο εύρος των 25° με 45° έχουμε τις «**Κρημνώδεις**» ακτογραμμές. Όταν η κλίση ξεπέρνα αυτό το όριο και τείνει ως και τις 70° χαρακτηρίζεται ως «**Απόκρημνη**». Και τέλος όταν έχουμε να κάνουμε με ακτογραμμές που η θάλασσα συναντά αποτόμους ορεινούς σχηματισμούς με ορθή ή και αρνητική κλίση, τότε η ακτογραμμή ονομάζεται «**Απόρρωση**».

#### 3.3.5 Υφαλοκρηπίδα

Ο όρος υφαλοκρηπίδα έχει αποτελέσει το κέντρο πολλών πολιτικών και οικονομικών συζητήσεων που αποσκοπούν σε εγχειρήματα έρευνας και ανάπτυξης στα βαθιά νερά του πλανήτη μας. Αφαιρώντας τους προαναφερθέντες όρους για την οριοθέτηση των υδάτων και συμβουλευμένοι μόνο τους ορισμούς από την επιστήμη της Ωκεανογραφίας, λαμβάνουμε την υποθαλάσσια έκταση ως το πέρας της ακτογραμμής, χωρισμένο σε τομείς-τμήματα.



Εικόνα 3.4: Σχεδιάγραμμα Υφαλοκρηπίδας (Πηγή: <https://el.wikipedia.org/wiki/Υφαλοκρηπίδα> )

Η Υφαλοκρηπίδα είναι η ομαλή και μικρής κλίσης απόσταση αμέσως μετά το χώρισμα της θάλασσας με την στεριά και οι διαστάσεις της διαφέρουν ανά τα μήκη και τα πλάτη της γης. Τα όριά της φτάνουν μέχρι το σημείο που παρουσιάζει απότομη διαβάθμιση στην κλίση του εδάφους όπου και ξεκινά το τμήμα που ονομάζουν οι Ωκεανογράφοι ως το υφαλοπρανές. Το εν λόγω τμήμα μπορεί να φτάσει κλίσεις ως και τις 45° προτού καταλήξει στο πέλαμα του πρανούς (Ηπειρώτικο ανύψωμα). Τα βάθη που φτάνουν τα πρανή μπορεί να αγγίξουν τα 2500 με 3000 μέτρα βάθος όπου μετά ξεκινά ο ωκεάνιος πυθμένας και οι άβυσσοι.

Όπως προαναφέρθηκε, το ζήτημα της υφαλοκρηπίδας αποτέλεσε πρωταγωνιστής σε ποικίλες συζητήσεις. Ο λόγος βρίσκεται στα πλούτη τα οποία κρύβουν τα ύδατα της και έχουν θρέψει πολλές γενιές ανθρώπων. Πόροι όπως πρώτες ύλες, μεταλλικά στοιχεία και υδρογονάνθρακες αποτέλεσαν καίριους στόχους αξιοποίησης για πολλά κράτη. Τον αγώνα για κατοχή και εκμετάλλευση των πόρων αυτών προτάθηκε να λύσει το Διεθνές Δίκαιο, η UNCLOS, και οι αρμόδιοι οργανισμοί, όπως η ISA και άλλοι.

Το 1982, λοιπόν δόθηκε η επίσημη ανάλυση της εννοίας υφαλοκρηπίδα. Σύμφωνα με την UNCLOS ένα κράτος μπορεί να ορίσει ότι στη υφαλοκρηπίδα του ανήκουν τα εδάφη που εντοπίζονται σε βάθος διακοσίων ναυτικών μιλίων από την ακτή. Επιπρόσθετα αν η κλίση προς τον πυθμένα εκτείνεται πέραν της αρχικής απόστασης τότε, το κράτος μπορεί να ορίσει την υφαλοκρηπίδα του στα τριακόσα πενήντα ναυτικά μίλια.

### 3.4 Προβληματισμοί για την UNCLOS και τη Θέσπιση Νομικού Πλαισίου

Η ISA και η UNCLOS αποτελούν ορισμένους από τους κεντρικούς πυλώνες σχετικά με τη διατήρηση των παγκοσμίων υδάτων. Ακόμα όμως και κατά το μέρισμα της δεύτερης

δεκαετίας του 2000 και τα πολλά χρόνια ιστορικών συγκεντρώσεων και συνθηκολογήσεων, πολλοί έχουν μικτές βλέψεις για τη δύναμη και την ωφέλεια της UNCLOS.

Λόγω της φύσης της UNCLOS δεν αποτελεί μέρος υποχρεωτικού κρατικού μηχανισμού, αλλά μια σειρά από κοινές αποφάσεις και επίσημες οδηγίες που μοιράζονται σε χώρες που θέλουν να ανοίξουν τις ενέργειές τους πέρα από τα σύνορα της χώρας, σε ξηρά και θάλασσα αντίστοιχα. Το ζήτημα που προκύπτει είναι η ανησυχία που προκαλεί η όλο και αυξανόμενη δύναμη που συγκεντρώνει η UNCLOS κερδίζοντας έδαφος στο πολιτικό και νομικό παίγνιο των κυρίαρχων δυνάμεων του πλανήτη και δημιουργώντας αστάθεια λόγω της νέας τάξης πραγμάτων που φέρει η αναγκαία στροφή του ανθρώπου σε πράσινες και αειφόρες ενέργειες και αλλαγές στον τρόπο ζωής του (Richard A. Baners, 2016).

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου, η UNCLOS φέρει τον τίτλο «Η ζωντανή συνθήκη», ένας τίτλος αμφιλεγόμενης αξίας. Από το θετικό άκουσμά του, η UNCLOS αποτελεί μια ενεργή συνθήκη που φέρει ένα μεταβαλλόμενο και βέλτιστα προσαρμόσιμο, συνταγματικό δυναμικό στη διακυβέρνηση και ισοκατανομή των θαλάσσιων πόρων, μέσω αυτής και των διεθνών οργανισμών που έχει δημιουργήσει για τη σύνταξη και ενημέρωση του πλαισίου της. Οι οργανισμοί αυτοί είναι ο Διεθνής οργανισμός διατήρησης του θαλασσιού πυθμένα (ISA), το Διεθνές Δικαστήριο για το Δίκαιο της Θάλασσας (ITLOS) και η Επιτροπή για την οριοθέτηση της Υφαλοκρηπίδας (CLCS), οι οποίοι συνεργάζονται με εσωτερικά παραρτήματα διακυβέρνησης του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ), όπως η γενική συνέλευση του ΟΗΕ (UNGA) (Richard A. Baners, 2016).

Λόγω των παραπάνω χαρακτηριστικών όμως η UNCLOS τέθηκε και στο στόχαστρο, αμφιβολιών για τη χρησιμότητά της καθώς ένας εξωγενής οργανισμός όπως ο ΟΗΕ δεν μπορεί να επιβάλει ο ίδιος άμεσες αλλαγές στο σύνταγμα και τους μηχανισμούς λειτουργίας ενός κράτους. Μπορεί μόνο να παρουσιάσει μια σειρά από οδηγίες κοινών διαβουλεύσεων και κυρώσεις στην περίπτωση παραβίασης τους. Αυτήν η εξωγενής δυναμική μεταξύ κρατικού και μη κρατικού μηχανισμού διακυβέρνησης καθώς και η υβριδική φύση της UNCLOS με αλλά παραρτήματα αποτελεί καίριο παράγοντα για τις πρόσφατες δυσκολίες ανάπτυξης ενός ισάξιου νομικού πλαισίου το οποίο θα υποχρεώνει την τήρηση των οδηγιών του και θα διασφαλίζει την αποφυγή υπονόμευσης μη ανεπτυγμένων κρατών και μελλοντικών γενιών.

Εν κατακλείδι το νομικό πλαίσιο αποτελεί πάντα ένα τελικό αποτέλεσμα εξισορρόπησης και ορθής πρέσβευσης όλων των κοινωνικών και πολιτικών δυνάμεων. Όμως, η αδυναμία

συνεργασίας και εύρεσης πρόσφορου εδάφους για την κατάλληλη πλαισίωσή του, αποτέλεσαν τους κυριότερους λόγους καθυστέρησης στη σύνταξή του, μαζί με τη μη ολοκληρωμένη εικόνα για τα θαλάσσια οικοσυστήματα τα οποία θα ερευνηθούν στο επόμενο κεφάλαιο.

## Κεφάλαιο 4: Υποθαλάσσια οικοσυστήματα και Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της Εξόρυξης βαθιάς θάλασσας

Τα βάθη των ωκεανών της γης αποτελούν ένα από τα αρχαιότερα μυστήρια της ανθρωπότητας ως προς το περιεχόμενό τους. Πάρα τις πολύτιμες εξορμήσεις του ανθρώπου στα μήκη και τα πλάτη του πλανήτη, τα βάθη της ανοιχτής θάλασσας είναι ένα από τα ελάχιστα οικοσυστήματα που ακόμη δεν έχει φτάσει η ανθρώπινη δράση. Μέχρι και σήμερα, ο πυθμένας αποτελεί σπίτι σε εκατοντάδες, αν όχι, χιλιάδες οικοσυστήματα άγνωστων οργανισμών.

Η ανάγκη του ανθρώπου για πρώτες ύλες, μολονότι ζωτικής σημασίας για εμάς τους ίδιους, δεν θα πρέπει να κατέχει τον πρωταρχικό και μεμονωμένο ρόλο στη λήψη αποφάσεων για την ορθή διατήρηση του ζητήματος για την εξόρυξη της βαθιάς θάλασσας.

Πρόσφατες έρευνες πάνω στα οικοσυστήματα αυτά φανερώνουν το μικρό ποσοστό γνώσης που έχει ο άνθρωπος για αυτά, καθώς και ότι πολλοί οργανισμοί που εντοπίζονται στα οικοσυστήματα αυτά ωφελούν όχι μόνο για την ισορροπία στις φυσικές διεργασίες των υδάτων, αλλά και στην παραγωγή οργανικών ενώσεων που είναι χρήσιμες για τον άνθρωπο σε διάφορους κλάδους όπως στην ιατρική και τη φαρμακευτική.

### 4.1 Υποθαλάσσια οικοσυστήματα και βαθμοί αλλοίωσης.

#### 4.1.1 Η έννοια της βιοποικιλότητας στη φύση

Ο όρος βιοποικιλότητα συναντάται τακτικά σε αναφορές και έρευνες που γίνονται γύρω από τα οικοσυστήματα. Ο βασικός ορισμός αυτής είναι η ποικιλομορφία οργανισμών που παρουσιάζει το πλαίσιο στο οποίο πραγματοποιείται η ανάλυση. Ειδικότερα η βιοποικιλότητα χωρίζεται σε διακριτές κλίμακες ποικιλομορφίας.

- Βιοποικιλότητα ως προς **τον αριθμό των οικοσυστημάτων** που εμπεριέχονται σε ένα περιβάλλον.
- Βιοποικιλότητα ως προς **τον αριθμό διαφορετικών ειδών/οργανισμών** που περιλαμβάνει ένα οικοσύστημα.
- Βιοποικιλότητα ως προς **τα διαφορετικά είδη** που μπορεί να παρουσιάσει ένας τύπος οργανισμού.

Με τη χρήση τεχνικών όπως η γενετική ανάλυση και γενετική ταξινόμηση πάνω σε οργανισμούς ή και ολόκληρα οικοσυστήματα, μπορούν αν αντληθούν πληροφορίες για το υπόβαθρο αυτών, το ιστορικό προέλευσης τους, τους τυχόν δρόμους που έλαβαν

μεταναστευτικά κύματα των προγόνων του εξεταζόμενου οργανισμού, καθώς και τις πιθανές μεταλλάξεις που παρουσίασαν οι απόγονοί τους κατά τη μετανάστευση. Από στατιστικές έρευνες παρουσιάζεται το συμπέρασμα ότι πληθυσμοί οργανισμών και γενικότερα οικοσυστημάτων που παρουσιάζουν μεγάλη γενετική ποικιλομορφία, έγκειται να παρουσιάζουν ανάλογα μεγαλύτερες αντοχές σε σκληρά ή και τακτικά μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα (Gray, 1997, Dew Roches et al., 2018).

Η Βαθιά θάλασσα παρουσιάζει μεγάλο αριθμό σε εμφανίσεις μοναδικών και αξιопερίεργων οικοσυστημάτων που αποτελούν τα σπίτια αμέτρητων ειδών από πλάσματα, αρκετά εκ των οποίων ήταν και είναι άγνωστα στον άνθρωπο ακόμη και σήμερα. Εντός των υδάτων του πλανήτη έχουν εντοπιστεί κοραλλιογενείς ύφαλοι, οικοσυστήματα οργανισμών γύρω από ηφαίστεια, υδροθερμικές οπές και ρήγματα, θαλάσσια «δάση» από φύκια καθώς και οικοσυστήματα σε πεδιάδες απόθεσης πολυμεταλλικών σβόλων. Υπολογίζεται ότι οι ανθρώπινες προσπάθειες για καταγραφή νέων ειδών έχουν καταφέρει να αποτυπώσουν το 10% της πιθανολογούμενης υπαρκτής ζωής στη θάλασσα. Το ποσοστό αυτό αναφέρεται στα 2,2 εκατομμύρια καταχωρημένα είδη που έχουν επιτυχώς ανακαλυφθεί (Mora et al., 2011). Ένας από τους μεγαλύτερους φραγμούς για την έναρξη εξορυκτικών εγχειρημάτων είναι ο φόβος ότι οι εν λόγω δραστηριότητες θα οδηγήσουν πολλά είδη σε εξαφάνιση. Εντός αυτών κατατάσσονται οργανισμοί που ενδέχεται να μην έχουν καταγραφεί, να μη γνωρίζουμε τον ρόλο τους στο οικοσύστημα που έχουν εντοπιστεί ή και να έχουν ήδη μικρό πληθυσμιακό αριθμό που θα μειωθεί περαιτέρω με την απόληξη πολυμεταλλικών κοιτασμάτων.

Κατά τη μελέτη ενός οικοσυστήματος ως προς τη βιοποικιλότητα που παρουσιάζει, μελετάται επίσης και η ανθεκτικότητα που παρουσιάζει το σύνολο του εν λόγω οικοσυστήματος σε μεταβαλλόμενες ή και αλλιώτικες δράσεις. Ο όρος αντοχή μελετάται σε δύο διαφορετικές αλλά εξίσου σημαντικές εκδοχές, την αντοχή κατά την εκβιομηχάνισή του και την οικολογική αντοχή του. Η διαφορά αναμεσά στις δύο κλίμακες αντοχής βρίσκεται στον αριθμό από βαθμούς αλλοίωσης που μπορεί να υποστεί ένα οικοσύστημα και να είναι αναστρέψιμη η κατάστασή του. Κατά τον υπολογισμό της αντοχής σε εκβιομηχάνιση, ο μελετητής λαμβάνει μόνο ένα όριο στο βαθμό αναστρέψιμης αλλοίωσης (Holling, 1996). Ενώ κατά τον υπολογισμό της οικολογικής αντοχής, ο μελετητής μπορεί να θέσει πολλά όρια αντοχής σε αλλοίωση, καθώς σε αυτήν την κλίμακα αναγνωρίζεται η πιθανότητα να παρουσιάζονται πολλά μεταβατικά στάδια κατά την εφαρμογή δράσεων σε ένα οικοσύστημα, η αναστεψιμότητα των οποίων κρίνεται από το βαθμό αλλοίωσης και καταστροφής που

παρουσιάζουν στους χώρους εφαρμογής (Gunderson, 2002). Κατά τον υπολογισμό των ορίων ανθεκτικότητας χρησιμοποιούνται διαφορετικοί παράμετροι που θα καθορίσουν την ανοχή σε αλλοίωση. Στην οικολογική αντοχή καθοριστικό ρόλο παίζει το ποσό των δράσεων που μπορεί να δεχτεί ένα οικοσύστημα έως ότου μεταβεί σε ένα νέο στάδιο ισορροπίας. Σε αντίθεση, η αντοχή σε εκβιομηχάνιση κρίνεται με βάση το χρόνο που χρειάζεται ένα οικοσύστημα μέχρι να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση (Gunderson, 2002). Η ανοιχτή θάλασσα βιώνει ποικίλες καταστάσεις διαταραχής από ανθρώπινες ενέργειες όπως ανάδευση υδάτων και ιζημάτων από ανασκαφές στον πυθμένα, άντληση υδρογονανθράκων από υποστρώματά του, πιθανές διαρροές του υλικού στα ύδατα, αλλά και διεργασίες βυθοκόρησης (Διεθνές Συμβούλιο Ερευνών, 2013).

Η εξάπλωση της ανθρώπινης επέμβασης αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για την αλλοίωση ή και καταστροφή ποικίλων βιοτόπων. Στόχος των νέων πολιτικών είναι η διατήρηση των συνθηκών σε ένα οικοσύστημα όσο πιο κοντά στις αρχικές συνθήκες. Με επίκεντρο αυτήν την κατάσταση, μεγαλύτερο βάρος σε μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων θα λάβει η οικολογική αντίσταση. Η βιοποικιλότητα κατέχει κεντρικό ρόλο στο βαθμό αντίστασης που παρουσιάζει ένα οικοσύστημα (Oliver et al., 2015), όπως επίσης συντελεί στη συνοχή του οικοσυστήματος και στην ομαλή λειτουργία των φυσικών διεργασιών (Steneck et al., 2002).

#### 4.1.2 Η ζωή στην άβυσσο, η αζωική Θεωρία και η σύγκρισή της με τα ρηχά ύδατα

Πριν το 1860, η εμφάνιση θαλάσσιας ζωής κάτω από τα πεντακόσια πενήντα μέτρα βάθος και έπειτα θα έχει εκλείψει. Η υπόθεση αυτή αποτέλεσε συμπέρασμα του **Maxman Edward Forbes**, ενός διακεκριμένου θαλάσσιου βιολόγου από το Ντάγκλας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Μέσω των παρατηρήσεών του, ο Forbes ανέπτυξε την **αβιοτική θεωρία**, που υποστήριζε το προαναφερθέν συμπέρασμα του επιστήμονα. Η θεωρία του καταρρίφθηκε στα τέλη της δεκαετίας από δύο ιστορικές εξορμήσεις που ερευνούσαν τον θαλάσσιο πυθμένα, την HMS Lightning το 1869 και τη HMS Porcupine το 1870 (Gage & Tyler, 1992), καθώς και οι θρυλικές εξορμήσεις του HMS Challenger (1872-1876), που έφερε στο φως πληθώρα από πληροφορίες και δείγματα για τα μυστήρια οικοσυστήματα του πυθμένα (Roberts, 2002).

Η βάση για την αβιοτική η θεωρία του Forbes είναι οι δυσπρόσιτες και ακραίες συνθήκες που δημιουργούνται σε ένα οικοσύστημα βαθιάς θάλασσας. Η παντελής έλλειψη ηλιακού

φωτός, η υψηλή υδροστατική πίεση και οι χαμηλές θερμοκρασίες είναι ορισμένες από τις πιο συνήθεις προαναφερθείσες ακραίες συνθήκες (Gage & Tyler, 1992). Σήμερα έχουν ανασυρθεί στην επιφάνεια οργανισμοί που παρουσιάζουν χαρακτηριστικά εξέλιξης πλήρως προσαρμοσμένα για τη ζωή στα υπέρμετρα βάθη των ωκεανών μας. Μηχανισμοί όπως ποικιλόμορφα και εξωτικά χαρακτηριστικά στην εξωτερική εμφάνισή τους, αλλά και στις εσωτερικές βιολογικές τους λειτουργίες που επιτρέπουν στα έμβια όντα του βυθού να νικούν στη μάχη με την απειλή της εξαφάνισης που υπάρχει στα βαθιά νερά.

Πάρα τις αντίξοες συνθήκες η ζωή στον βυθό βρίσκει τα λιγοστά της εφόδια γύρω από υδροθερμικές οπές και υποθαλάσσιους ηφαιστειακούς σχηματισμούς, δημιουργώντας εκ πρώτης όψεως ένα ιδιαίτερο περιβάλλον από όντα που κάνεις θα μπορούσε να χαρακτηρίσει ως αλλόκοτα ή και εξωγήινα πλάσματα. Οι υπάρξεις αυτές έχουν δύο κύριες πηγές υπεύθυνες για τις διατροφικές τους ανάγκες.

Η πρώτη πηγή τροφής είναι οι φυτοδενδρίτες. Ένα είδος θαλάσσιου οργανισμού που εντοπίζεται στα πρώτα επίπεδα της καθόδου προς τον πυθμένα, περίπου στα διακόσια μέτρα βάθος. Ανήκει στην οικογένεια των Ευκαρυώτων και είναι αυτότροφοι πλανκτονοειδείς οργανισμοί που έχουν την ικανότητα να φωτοσυνθέτουν με το ελάχιστο φως που μπορεί να φτάσει σε αυτά τα βάθη (Fisher et al, 2016). Αποτελούν τροφή για μεγαλύτερους οργανισμούς είτε μέσα στο στρώμα νερού που ζουν είτε ως νεκρή κυτταρική ύλη που κατακρημνίζεται στα βαθύτερα βάθη. Η δεύτερη πηγή είναι η χημειosύνθεση, μια διεργασία που πραγματοποιούν ορισμένοι οργανισμοί έναντι της φωτοσύνθεσης, για να καλύψουν της διατροφικές τους ανάγκες, καθώς τα βάθη στα οποία ζουν δεν τροφοδοτούνται με ηλιακό φως (Ramirez- Llodra & Billet, 2006). Η χημειosύνθεση διακρίνεται σε διάφορους τύπους αντιδράσεων όπως:

- Η χημική αυτοτροφική διεργασία με βάση το Θείο (S).
- Η Οξειδωτική Φωσφορυλίωση.
- Η χημειosύνθεση υδρογόνου.

Επιπροσθέτως, η διεργασία της χημειosύνθεσης οφείλεται για την ετήσια παραγωγή οργανικού άνθρακα, της τάξεως του 0,02-0,03 %.

Περεταίρω έρευνες ανέδειξαν ότι το σύνολο ενός υποθαλάσσιου οικοσυστήματος δεν απέχει τόσο από άλλα οικοσυστήματα που τέθηκαν κάτω από το μικροσκόπιο. Ειδικότερα, παρουσιάζεται ένας επαρκής αριθμός κοινών χαρακτηριστικών από την ανάλυση γενετικών



δειγμάτων, όπως συγγενικά είδη και γένη έμβιων όντων που εμφανίζονται τόσο στο ρηχό περιβάλλον των θαλασσών όσο και σε αυτά του πυθμένα (Creasey & Rogers, 2008). Εκτός από τη γονιδιακή ομοιότητα, η άβυσσος παρουσιάζει παρόμοιες φυσικό-μηχανικές ιδιότητες με τα ρηγά νερά, όπως η χρήση κοραλλιογενών υφάλων από τα διάφορα ψάρια και μαλάκια που κατοικούν, προστατεύονται και αναπαράγονται στις πτυχές τους (Baillon et al., 2012). Εικάζεται επίσης ότι οι επιπτώσεις της ανθρώπινης δραστηριοποίησης και βιομηχανικής ανάπτυξης, εξαπλώνονται ακόμη και στα βαθιά αυτά οικοσυστήματα (Creasey & Rogers, 2008).

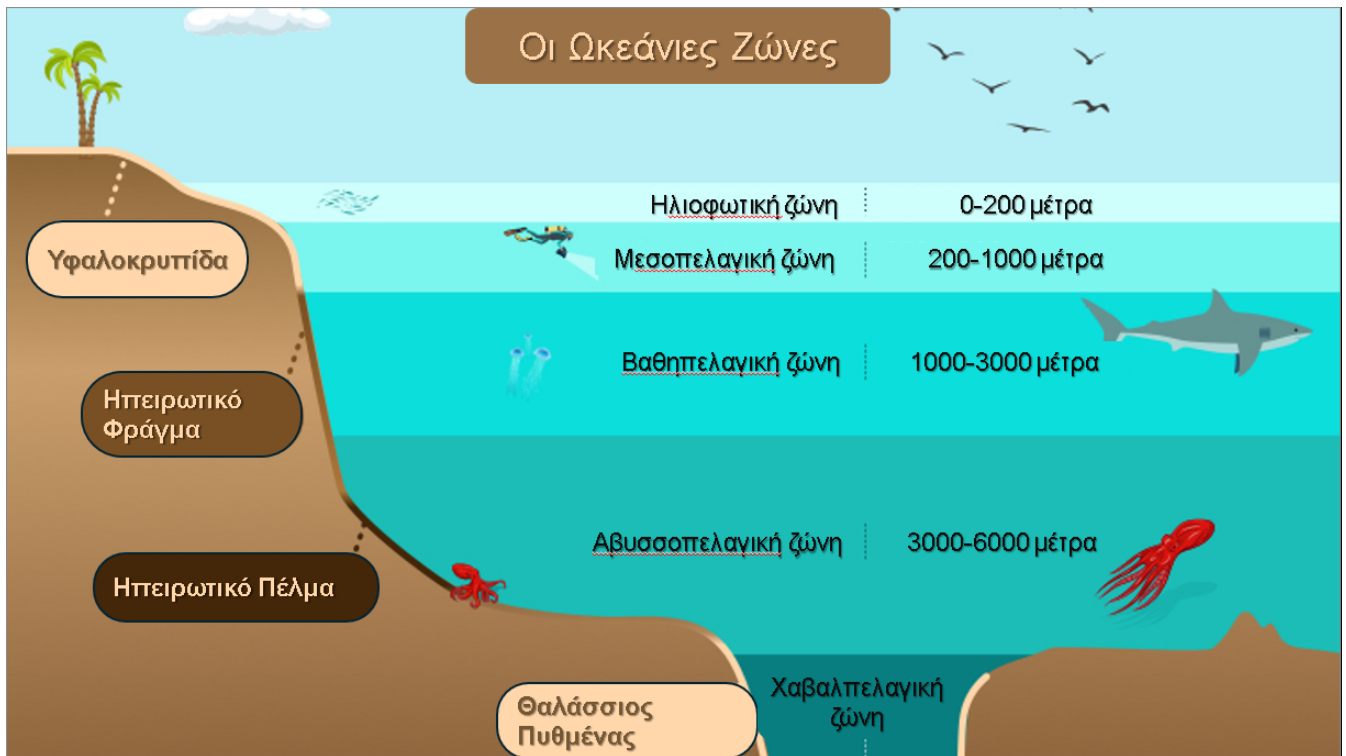
#### 4.1.3 Θαλάσσιες ζώνες

Όπως αναγράφτηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο ο πυθμένας της θάλασσας αποτελεί ένα νέο και δυσπρόσιτο περιβάλλον για τον άνθρωπο. Μολονότι το 50% της γήινης επιφάνειας βυθίζεται κάτω από τα τρεις χιλιάδες μέτρα και αποτελείται από αχανείς πεδινούς σχηματισμούς, είναι ένα περιβάλλον άγνωστο και με πολλά μυστήρια που αναμένουν να λυθούν από τολμηρούς εξερευνητές. Για την καλύτερη παρατήρηση των υδάτων, υπάρχει ένα σύστημα διαχωρισμού που κατηγοριοποιεί τα διαφορετικά στρώματα που παρουσιάζει η θάλασσα με βάση διάφορους παράγοντες όπως το βάθος, η περιεκτικότητα σε άλατα ανά κυβικό όγκο νερού ή και το ποσοστό ηλιακού φωτός που μπορεί να διαπεράσει τα ύδατα, το όποιο είναι άμεσα ανάλογο με τον παράγοντα του βάθους.

Με βάση αυτούς τους παράγοντες τα νερά των θαλασσών του πλανήτη χωρίζονται:

- Στη ζώνη που είναι διαπερατή από το ηλίκιακό φως, **την ηλιοφωτική ζώνη** που εκτείνεται από την επιφάνεια ως και το τέλος της υφαλοκρηπίδας (διακόσια μετρά).
- Ακολουθείται από **την μεσοπελαγική ζώνη** υδάτων που φτάνει ως και τα χίλια μετρά βάθος. Υπολογίζεται ότι στο στρώμα αυτό κατοικεί το 90% του θαλάσσιου πληθυσμού κατά βάρος.
- Μετά τα βάθη των χιλίων μέτρων περνάμε σε στρώματα υδάτων που εκλείπει το ηλιακό φως (αφωτική ζώνη) και ξεκινούν οι δυσχερείς συνθήκες, η ζώνη που συναντάμε μετά από αυτό το βάθος είναι **η βαθυπελαγική ζώνη** που εκτείνεται ως και τα τέσσερις χιλιάδες μέτρα βάθος.

- Πέραν της βαθυπελαγικής ζώνης, τα στρώματα που εντοπίζονται ανήκουν **στην αβυσσοπελαγική ζώνη** (Costelo & Breyer, 2017). Εκτείνεται ως και τα έξι χιλιάδες μέτρα.
- Τέλος, τα υπόλοιπα ύδατα που τάσσονται μετά την αβυσσοπελαγική ζώνη, ανήκουν στη **Χαδαλπελαγική ζώνη** (Hadalpelagic zone). Η ζώνη αυτή αντιπροσωπεύει τα άγνωστα και σκοτεινά νερά των τάφρων που πλανήτη, όπως αυτή των Μαρριανών.



Εικόνα 4.1: Η βαθυμετρικές ζώνες της ανοιχτής θάλασσας (Πηγή: <https://ocean.si.edu/ecosystems/deep-sea/deep-sea> ).

#### 4.1.4 Τα οικοσυστήματα της Βαθιάς Θάλασσας

Το πρώτο και συνηθέστερο οικοσύστημα που συναντάται εντός της αβυσσοπελαγικής ζώνης είναι οι «**Αβυσσαλέοι Κάμποι**». Πρόκειται για ένα οικοσύστημα που παρουσιάζει χαμηλά ποσά βιομάζας ανά κυβικό μέτρο, αλλά υψηλά ποσοστά από βιοποικιομορφίας από υδρόβια είδη. Πολλά εκ των οποίων είναι και αυτότροφα, με προαναφερθείσες διεργασίες όπως η χημειοσύνθεση, που αιτιολογεί το χαμηλό ποσοστό βιομάζας. Οι Αβυσσαλέοι Κάμποι εντοπίζονται από τρεις ως και έξι χιλιάδες μέτρα βάθος (Τάφρος των Μαρριανών) και θεωρούνται κατά συνέπεια το έδαφος που αναγνωρίζεται επισήμως από τον όρο «Ο πυθμένας της θάλασσας». Στο σύνολο της έκτασής τους υπολογίζεται ότι

καταλαμβάνει περισσότερο από το μισό από όλη την επιφάνεια του πλανήτη. Θα μπορούσε κάποιος να χαρακτηρίσει αυτές τις εκτάσεις ως παγωμένες και ακίνητες, καθώς παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες που μπορούν να φτάσουν ως και τους μείον πέντε βαθμούς Κελσίου και μειωμένη παρουσία τυρβωδών δυνάμεων και ρευμάτων που να μετακινούν είτε ανόργανη είτε οργανική ύλη (Smith et al., 2008). Παρά το εκ πρώτης όψεως νεκρό περιβάλλον, οι Αβυσσαλέοι Κάμποι κατακλύζονται από ζωή, που μπορεί να επιβιώσει με ποικίλους τρόπους. Πέρα από τους αυτότροφους οργανισμούς, τα υπόλοιπα έμβια όντα τρέφονται είτε με άλλους οργανισμούς είτε από νεκρή οργανική ύλη που κατακρημνίζεται, δημιουργώντας το φαινόμενο που ονομάζεται «Θαλάσσια Χιονόπτωση», εμπλουτίζοντας έτσι και τα ιζήματα του πυθμένα με οργανικό υλικό (Smith & Demopoulos, 2003).



Εικόνα 4.2: Αβυσσαλέος Κάμπος από τη ζώνη Clarion Cliperton (Πηγή: <https://www.nhm.ac.uk/discover/news/2020/april/new-species-from-the-abyssal-ocean-deep-sea-diversity.html> )

Το δεύτερο οικοσύστημα που συναντάται είναι τα «**Ηπειρωτικά περιθώρια**» (Continental Margins). Εντοπίζονται σε ρήγματα και οπές που δημιουργούνται από τις διάφορες τεκτονικές μετακινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών. Λόγω αυτών παρατηρείται άγριο ανάγλυφο και παρουσία θερμών ρευμάτων που μετακινούν συνεχόμενα υλικό, δημιουργώντας ιζηματογενείς αποθέσεις στα πλάγια των ρηματωμένων ή ορεινών σχηματισμών (Levin et al., 2010). Η «ενεργητικότητα» που παρουσιάζεται στα εν λόγω

οικοσυστήματα εικάζεται ότι αποτελεί κύριο παράγοντα για την ανάπτυξη της βιοποικιλότητας εκεί.

Κοντά στα ηπειρωτικά στενώματα εντοπίζονται επίσης ηφαιστειακοί σχηματισμοί από το αναβλύζον μάγμα του άνω μανδύα. Τα εν λόγω οικοσυστήματα παρουσιάζουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά με τα στενώματα, καθώς παρουσιάζουν τους ίδιους παράγοντες για τον σχηματισμό τους άλλα και παρόμοιο βαθμό βιοποικιλότητας. Ορισμένα παραδείγματα ηφαιστειακών οικοσυστημάτων παρουσιάζονται στο **Δαχτυλίδι της Φωτιάς** του Ειρηνικού και την **Μέσο-Ατλαντική Κορυφογραμμή**. Πρόκειται για περιβάλλοντα με υψηλή παρουσία υδροθερμικών ρευμάτων, που αναδεύουν τακτικά τα ύδατα και τα τυχόν αναβλύζοντα υλικά. Τα υποθαλάσσια ηφαίστεια αποτελούν σπίτι για ποικίλα είδη που μπορούν επιβιώσουν σε αυτές τις τυρβώδεις συνθήκες, όπως ψάρια, κεφαλόποδα, οστρακοειδή ως και θαλάσσιες χελώνες (Stocks & Hart, 2013). Πολλοί από αυτούς τρέφονται με τη χρήση βιολογικών μηχανισμών που έχουν εξελίξει για να φιλτράρουν την παρασυρόμενη ύλη των ρευμάτων (Boehlert & Genin, 2013).

Το τελευταίο οικοσύστημα που προκύπτει από τη μετατόπιση των λιθοσφαιρικών πλακών ανακαλύφθηκε το 1977 και είναι τα «**Πεδία υδροθερμικών οπών**». Το κύριο χαρακτηριστικό αυτών των πεδίων είναι τα υδατοπερατά στρώματα που τα αποτελούν. Χάρη σε αυτά, το θαλάσσιο νερό μπορεί να διεισδύσει σε βαθύτερα και θερμότερα από τον πυθμένα στρώματα. Το αποτέλεσμα είναι ο σχηματισμός υδροθερμικών οπών, από τις οποίες αναβλύζει ένα υδάτινο διάλυμα ανόργανων ενώσεων σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Γύρω από τις οπές αυτές συγκροτείται ένα μοναδικό οικοσύστημα χλωρίδας και πανίδας που δεν εξαρτάται από το ηλιακό φως για την επιβίωσή του και παρουσιάζει υψηλά ποσοστά ενδημισμού (Price, 2002). Προς το παρόν, έχουν επίσημα καταγραφεί πεντακόσιες μοναδικές εμφανίσεις ειδών στα υπέρθερμα αυτά περιβάλλοντα (Desbruyeres et al., 2006).

Οι υδροθερμικές και μαγματικές οπές δεν αποτελούν τα μοναδικά θρεπτικά οικοσυστήματα που μπορούν να επιβιώσουν τα έμβια όντα του βυθού. Σε αυτό το αφιλόξενο περιβάλλον, η ύπαρξη ζωής συνεπάγεται με την εκμετάλλευση κάθε διαθέσιμου πόρου, ακόμα και των άβιων σωμάτων μεγάλων ψαριών και θηλαστικών. Τα σώματα φαλαινών αποτελούν εξαιρετικό παράδειγμα ενός τέτοιου οικοσυστήματος, που φέρει την αγγλική ονομασία "Whale Falls".



Εικόνα 4.3: Υποθαλάσσιο οικοσύστημα γύρω από άβιο σώμα φάλαινας. (Πηγή: <https://ocean.si.edu/ecosystems/deep-sea/deep-sea> ).

Μετά το θάνατό τους, το σώμα τους βυθίζεται στη θάλασσα. Ψάρια, μαλάκια και άλλοι οργανισμοί συγκροτούν ένα προσωρινό οικοσύστημα που θα μπορούσε κανείς να το παρομοιάσει με τις ανθρώπινες νομάδες. Τα κουφάρια αυτά αποτελούν πηγή θρεπτικών ουσιών για χιλιάδες πλάσματα που σταδιακά αποδομούν ό,τι συντελεί το κουφάρι. Ξεκινώντας από τη σάρκα και φτάνοντας έως και τα κόκαλα, το “φαγοπότι” αυτό μπορεί να διαρκέσει από μήνες έως και χρόνια (Ocean Exploration & NOAA ONMS).

Όπως προαναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, το βάθος δεν είναι το μόνο χαρακτηριστικό με το οποίο διαχωρίζουμε τις διάφορες ζώνες υδάτων. Η χημική σύστασή τους αποτελεί βασικό κριτήριο που χωρίζει τα ανοιχτά ύδατα σε ζώνες, όπως οι «**Υποθαλάσσιες λίμνες άλμης**».



Εικόνα 4.4: Υποθαλάσσια Λίμνη Άλμης. (Πηγή: <https://ocean.si.edu/ecosystems/deep-sea/deep-sea> ).

Υπάρχει η υπόθεση ότι οι λίμνες άλμης αποτελούν το απομένον μέρος από αρχέγονες θάλασσες που υπήρχαν κατά την περίοδο ζωής των δεινοσαύρων. Οι εν λόγω σχηματισμοί εντοπίζονται σε μεγάλο αριθμό κοντά στον κόλπο του Μεξικού, όπου χρονολογείται ότι κατά την Ιουρασική περίοδο η απομονωμένη θάλασσα του κόλπου εξατμίστηκε, αφήνοντας πίσω λεκάνες συμπυκνωμένες με υπέρογκες ποσότητες αλατιού. Αυτό οδήγησε στη δημιουργία διακριτών υδάτινων σωμάτων, απομονωμένων από τη συνεχόμενη ανοιχτή θάλασσα. Εντός αυτών δεν παρατηρούνται ενδείξεις ζωής, λόγω της υψηλής παρουσίας αλατιού, και το εν λόγω περιβάλλον δε μπορεί να χαρακτηριστεί ως οικοσύστημα, αλλά ως σχηματισμός της βαθιάς θάλασσας.

## 4.2 Οργανισμοί της Βαθιάς θάλασσας

Παρά τις ευρύτερες πεποιθήσεις, ο πυθμένας της θάλασσας σφύζει από ζωή. Τα οικοσυστήματα αποτελούν τις κύριες περιοχές συγκέντρωσης αυτών των εξωτικών πλασμάτων. Η διαβίωση στα βάθη της αβύσσου μπορεί να χαρακτηριστεί ως αφιλόξενη, σκληρή και ανταγωνιστική. Οι απόκοσμες συνθήκες που εντοπίζονται σε αυτά τα αρνητικά υψόμετρα έχουν οδηγήσει στην εμφάνιση υδρόβιων οργανισμών που εκ πρώτης όψεως φαίνονται απόκοσμοι ή πιο εκλαϊκευμένα, σαν να έχουν βγει από ταινίες επιστημονικής φαντασίας.

#### 4.2.1 Οι οργανισμοί στα βάθη της ανοιχτής θάλασσας

Οι μορφές ζωής που εντοπίζονται σε αυτά τα βάθη χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν. Μία από αυτές είναι ο τρόπος διαβίωσης του οργανισμού. Ψάρια, μαλάκια, θηλαστικά και μικροοργανισμοί που ζουν στις διάφορες στρωματικές βαθμίδες των θαλάσσιων υδάτων χαρακτηρίζονται ως πελαγικοί οργανισμοί. Χωρίζονται ανεπίσημα μεταξύ τους σε παθητικούς, που επιπλέουν μέσα στα νερά όπως το ζωοπλαγκτόν, και στους ενεργούς που είναι οι υπόλοιποι.



Εικόνα 4.5: Ψάρια της βαθιάς θάλασσα (Πηγή: <https://letstalkscience.ca/educational-resources/backgrounders/life-in-deep-sea> )

Εντός αυτών κατατάσσεται ένας μεγάλος αριθμός από θαλάσσια είδη, ορισμένα εκ των οποίων εντοπίστηκαν εντός αυτών των ετών. Τρανταχτά παραδείγματα πελαγικών οργανισμών αποτελούν:

- Οι φάλαινες.
- Εξωτικά ψάρια με ιριδίζοντα χαρακτηριστικά, όπως το *Malacosteus niger* και το *Himantolophus gronlandicus*.
- Μικρόσωμα ψάρια όπως το είδος *Chauliodus* και το *Melanocetus johnsonii*.

- Αλλά και μαλάκια, από το θρυλικό γιγαντιαίο καλαμάρι ως και μικροσκοπικά πλάσματα του είδους *Amerima* και *Psychropotes longicauda*.

Καθώς και νέοι οργανισμοί που δεν έχουν επισήμως ονομαστεί αλλά εντοπίζονται σε πολυμεταλλικές αποθέσεις όπως αυτή της ζώνης *Clarion Clipperton*.

Όσα υδρόβια πλάσματα ζουν και κινούνται στον πυθμένα της θάλασσας ανήκουν στους βενθικούς οργανισμούς. Η λίστα αυτών απαρτίζεται από τα αρθρόποδα και οστρακόδερμα όντα των ωκεανών μας όπως:

- Κοραλλιογενείς σχηματισμοί.
- Εξωτικά είδη από καβούρια όπως το είδος *Yeti Crab*.
- Γαρίδες και άλλα αρθρόποδα.
- Γιγάντια tubeworms.

#### 4.2.2 Οι Συνθήκες της βαθιάς θάλασσας και η προσαρμογή των υδρόβιων οργανισμών σε αυτές

Η άβυσσος είναι ένα αφιλόξενο μέρος. Μέσα στα νερά που δεν φτάνει το φυσικό φως του ήλιου, επικρατούν μερικές από τις πιο ακραίες φυσικές συνθήκες. Τα σκοτεινά νερά της, εκτός από χαμηλές θερμοκρασίες που σε ορισμένα σημεία πέφτουν υπό το μηδέν, ασκούν υπέρμετρη πίεση λόγω των χιλιάδων μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας (Gage & Tyler, 1992).

Μέσα σε αυτά, η ροή της εξέλιξης επέλεξε έναν διαφορετικό δρόμο από τα υπόλοιπα πλάσματα. Ξεκινώντας από την εξωτερική εμφάνιση, είναι αισθητή η παρουσία οπτικών αισθητηρίων οργάνων, ειδικά αναπτυγμένων για τα σκοτάδια του βυθού, ή ακόμα και η πλήρης έλλειψή του από διάφορα είδη. Όσον αφορά τα άκρα τους, πολλά είδη ψαριών παρουσιάζουν αυτοφωτοδοτούμενες προεκτάσεις από το σώμα τους. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται βιοφωτισμός (bioluminescence) και ο σκοπός του είναι η έλκυση θηραμάτων για να τραφεί το ψάρι, αλλά και η απώθηση θηρευτών προς αυτό. Τα σώματα των οργανισμών έχουν επίσης αναπτυχθεί για την κατάλληλη διαβίωσή τους σε συνθήκες υψηλής πίεσης. Παρουσιάζουν σώματα διαφορετικής διαμόρφωσης και υδροδυναμικότητας από τα ψάρια στα ανώτερα στρώματα. Για τη φυσική τους άνωση, σε αντίθεση με την κύστη γεμάτη αέρια που βοηθούν την κίνηση των ρηχόβιων ψαριών, πολλοί γεμίζουν την κύστη αυτή με λίπη ή υπερσυγκέντρωση οξυγόνου.



Πέρα από τις υψηλές πιέσεις, οι χαμηλές θερμοκρασίες είναι ένας ακόμα σοβαρός παράγοντας στον οποίο έπρεπε να προσαρμοστούν. Σε ψυχρά περιβάλλοντα παρατηρούνται αλλαγές στους ρυθμούς διάφορων βιολογικών διεργασιών αλλά και στην παραγωγή ζωτικών ενώσεων όπως ενζύμων (Brown & Thatje, 2014). Τα βαθιά οικοσυστήματα, που παρουσιάζουν τις αντίστοιχες θερμοκρασίες, κατακλύζονται από οργανισμούς με αργούς μεταβολισμούς λόγω αυτών (Thistle, 2003). Υπάρχει φόβος ότι οι εν λόγω οργανισμοί είναι αρκετά ευάλωτοι σε εξωτερικές διαταραχές όπως φυσικά φαινόμενα, ανθρώπινες ενέργειες, που μεταβάλλουν τους δείκτες του περιβάλλοντος (Danovaro et al, 2017), όπως για παράδειγμα στη διαταραχή αποθέσεων από πολυμεταλλικούς σβόλους στη ζώνη Clarion-Cliperton.

Τα ευρήματα του βυθού αποτέλεσαν ένα από τα κρίσιμα σημεία στην ανάπτυξη της μελέτης των ενδιαιτημάτων οργανισμών της γης. Πριν από πενήντα χρόνια, επικρατούσε η πεποίθηση ότι η παρουσία οξυγόνου και ηλιακού φωτός αποτελούσαν δύο από τους κυριότερους παράγοντες για την εμφάνιση ζωής. Η κατάρρευση της θεωρίας αυτής το 1977 με την ανακάλυψη και μελέτη ενός νέου, για τα τότε δεδομένα, τύπου οικοσυστήματος, όπως τα θερμικά περιβάλλοντα που αναπτύσσονται γύρω από υδροθερμικές οπές και υποθαλάσσιους σχηματισμούς / υφάλους, έδωσε νέο φως στην έρευνα. Εντός αυτών ζουν οι εξτρεμόφιλοι (extremophiles), μια σειρά οργανισμών που μπορούν να ζήσουν στα ακραία αυτά περιβάλλοντα. Ειδικότερα, έχουν προσαρμοστεί στη ζωή των καυτών νερών που αγγίζουν θερμοκρασίες της τάξης των τετρακοσίων βαθμών Κελσίου και με την έλλειψη οξυγόνου. Τέτοιου είδους διαβίωση είναι επιτεύξιμη είτε με τις διεργασίες όπως η χημειοσύνθεση είτε μέσω συμβιωτικών δεσμών που έχουν αναπτύξει διαφορά είδη μεταξύ τους.

#### 4.3 Επιπτώσεις από την εξόρυξη βαθιάς θάλασσας

Ο πυθμένας της θάλασσας έχει τεθεί στο επίκεντρο της προσοχής της ανθρωπότητας. Οι διάφοροι τύποι πολυμεταλλικών κοιτασμάτων που έχουν προαναφερθεί συντελούν σε μια πολλά υποσχόμενη συγκέντρωση από κρίσιμα και ζωτικής σημασίας μέταλλα, τα οποία, με τη σειρά τους, έχουν κομβικό ρόλο στη στοχευμένη ανεξαρτητοποίηση του ανθρώπου από τα ορυκτά καύσιμα και την εδραίωση αειφορικών ενεργειών κατά την εκμετάλλευσή τους.

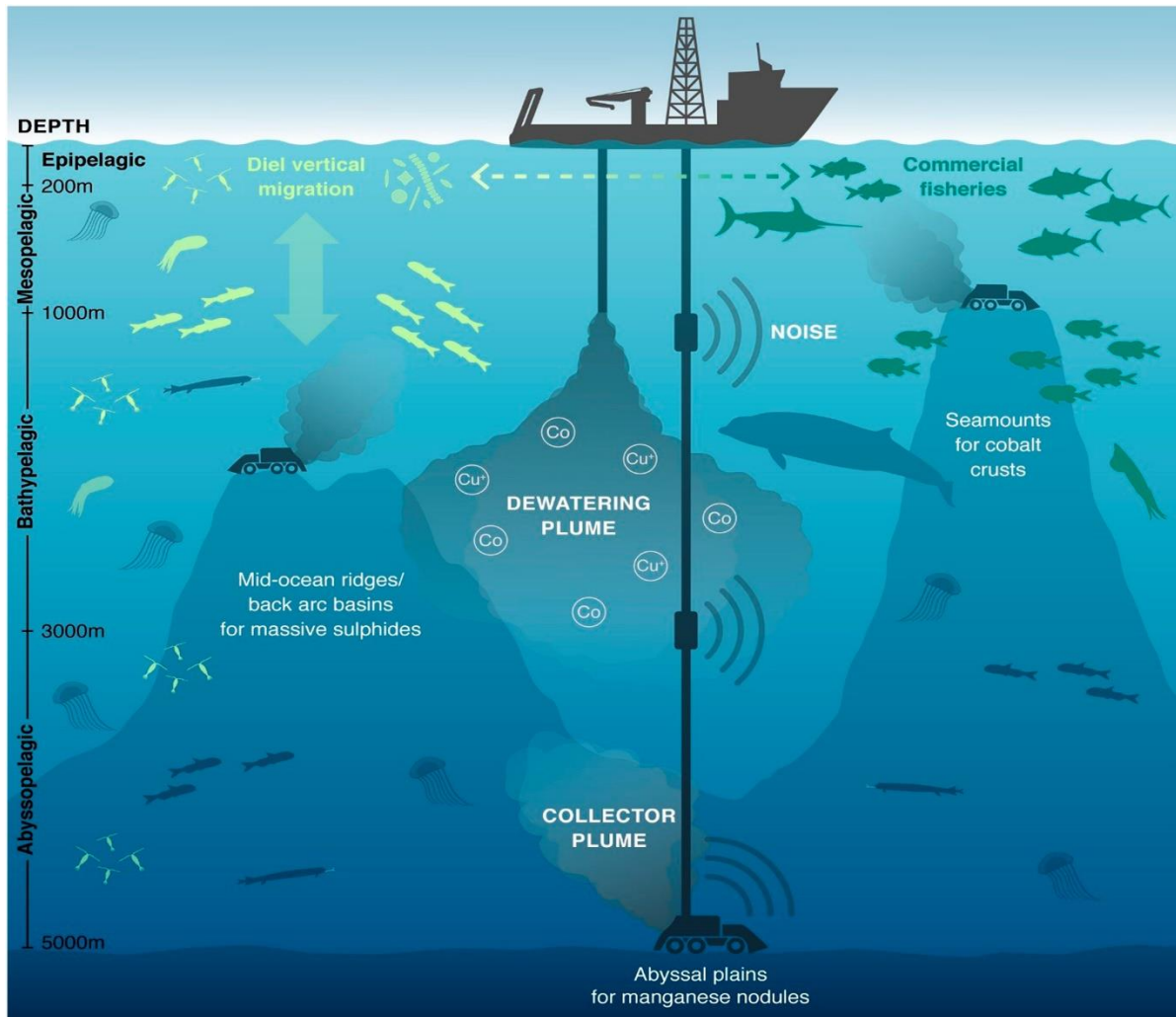
Το εγχείρημα των πολυμεταλλικών απολήψεων βρίσκει ως εμπόδιο τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που θα επιφέρει. Μέχρι και τις πρόσφατες δεκαετίες, τα βαθιά νερά της

Ανοιχτής θάλασσας αποτελούν ένα συνεχές μυστήριο. Μέσα σε αυτό ο άνθρωπος όχι μόνο ανακαλύπτει νέες πληροφορίες, αλλά και αναθεωρεί παλαιότερες πεποιθήσεις.

#### 4.3.1 Η απουσία γνώσεων για τον πυθμένα της Αβύσσου

Η πρόσφατη αύξηση του ενδιαφέροντος για την αύξηση του αριθμού των ερευνών που αφορούν τον πυθμένα έφερε στην επιφάνεια πληθώρα νέων δεδομένων. Με τη χρήση μη επανδρωμένων οχημάτων, ο άνθρωπος ήρθε σε επαφή με έναν καινούργιο κόσμο γεμάτο ανεξερεύνητα οικοσυστήματα και πλάσματα, τα οποία ακόμη και σήμερα προκαλούν νέες εμφανίσεις στα σκοτεινά βάθη. Χάρη σε αυτές τις εξορμήσεις, έγινε φανερό το γεγονός ότι οι προϋπάρχουσες πληροφορίες ήταν ελλιπείς και δεν μπορούσαν να καλύψουν το χάσμα ανάμεσα στο τι γνωρίζει ο άνθρωπος για τον πυθμένα της θάλασσας και την πραγματικότητα.

Η ύπαρξη άγνωστων παραμέτρων πρέπει να ληφθεί υπόψη για το περιβαλλοντικό αποτύπωμα που μπορεί να έχει η εκμετάλλευση πολυμεταλλικών κοιτασμάτων. Καθώς ακόμη δεν έχει εδραιωθεί ένα σαφές νομικό πλαίσιο που να ορίζει σαφή όρια για το βαθμό αλλοίωσης που μπορεί να προκαλέσει η πιθανή εξόρυξη, πραγματοποιούνται πειραματικές απολήψεις σε μικρή κλίμακα με σκοπό την παρατήρηση και συλλογή δεδομένων σχετικά με το πώς η απομάκρυνση των πολυμεταλλικών κοιτασμάτων μπορεί να επηρεάσει τα υποθαλάσσια οικοσυστήματα. Μια πράξη που διεξάγεται ακόμη και σήμερα, στο πλαίσιο ερευνητικών εξορμήσεων από ωκεανογράφους και θαλάσσιους βιολόγους (A. Martin et al., 2020), παρά την απουσία επίσημων κανονισμών, η Διεθνής Αρχή Διαχείρισης του Θαλάσσιου Πυθμένα (ISA), επιτρέπει την ενεργό δειγματοληψία με σκοπό την επέκταση των γνώσεών μας για αυτόν (ISA, 2019). Οι πιο πρόσφορες ζώνες για μελέτη είναι η βαθυπελαγική και η αβυσσοπελαγική ζωή. Εντός αυτών θα πραγματοποιείται η ενδεχόμενη απόθεση των ιζηματικών χωμάτων μετά την απόληψη πολυμεταλλικών σβόλων, μέσω της απελευθέρωσής τους εντός των υδάτων για ύστερη απόθεση (T. J. Webb et al., 2010). Τα νέφη αυτά, πέραν της απόσπασης των σβόλων, αποτελούν κρίσιμο θέμα μελέτης για το πώς θα επηρεάσουν τη ζωή στο βυθό κατά την εξόρυξη και την απόθεσή τους πάλι στον πυθμένα.



Εικόνα 4.6: Απόθεση πολυμεταλλικής εκμετάλλευσης.

(Πηγή: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2011914117>)

Ενέργειες που μπορούν να επιταχύνουν τη συλλογή γνώσης είναι η προώθηση ερευνητικών προγραμμάτων από κρατικούς, κυβερνητικούς και διεθνείς μηχανισμούς που έχουν τη δυνατότητα επιχορήγησης, αλλά και συνεργασία μεταξύ αυτών για τη μετέπειτα επέκταση της κατοχυρωμένης περιοχής που τους επιτρέπει η ISA. Επιτείνοντας έτσι τον αριθμό του ανθρώπινου δυναμικού που θα συμμετέχει στις έρευνες, αλλά και τη διάχυση γνώσεων ανάμεσά τους.

Πέρα από την επίπτωση που θα έχει η αιώρηση και η απόθεση των στείρων υλικών, θα πρέπει να επεκτείνουμε τις γνώσεις μας για τους μηχανισμούς που παρατηρούνται από τα οικοσυστήματα και τους νέους οργανισμούς που συνεχώς εντοπίζονται σε αυτά, καθώς και πώς όλοι αυτοί οι παράγοντες συντελούν στην εξισορρόπηση διαφόρων δεικτών της θάλασσας αλλά και τη σχέση της με τη χημική σύσταση και τα στρώματα της ατμόσφαιρας. Επιπλέον, επιβάλλεται η ορθή και μεθοδική σύγκριση των φυσικών ζωνών που δεν έχουν

αλλοιωθεί από ανθρώπινες ενέργειες και τις πειραματικές ζώνες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, με σκοπό την αξιολόγηση και τη δραστηριότητα που έχουν διάφοροι περιοριστικοί δείκτες, όπως ο ρυθμός απολύμανσης (S. Fuchida et al., 2018), ο ρυθμός απόθεσης ιζήματος στα ύδατα και η επιτρεπόμενη περιεκτικότητα του ανά κυβικό νερό και ο χρόνος αναδημιουργίας του οικοσυστήματος προς την αρχική του κατάσταση.

#### 4.3.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και οι πηγές τους

Η απουσία του νομικού πλαισίου για τη διαχείριση των πολυμεταλλικών πόρων προέρχεται από την έλλειψη γνώσης που έχουμε για το βυθό. Η ανθρωπότητα βρίσκεται ακόμη στα πρώιμα στάδια εξερεύνησης και δεν μπορεί να προβλέψει επακόλουθα της απόσπασης των πόρων αυτών από το βυθό. Παρόλο που έχουν διεξαχθεί οι ανάλογες ενέργειες, δεν παύουν να είναι σε πειραματική κλίμακα και οι παρατηρήσεις που έχουν καταγραφεί να είναι επιφανειακές μπροστά στη μεγάλη εικόνα της βιομηχανικής εκμετάλλευσης αυτών των πόρων. Τα οικοσυστήματα της αβύσσου αποτελούν πηγές νέας γνώσης που ακόμη και σήμερα εμπλουτίζεται με νέα δεδομένα για φυσικές διεργασίες και εμφανίσεις οργανισμών, πράγμα το οποίο καθιστά την εξόρυξη της βαθιάς θάλασσας ζήτημα υψηλής σημασίας, καθώς το δίλημμα που προκύπτει είναι η ισορροπία του πλανήτη και οι ζωές των θαλάσσιων οργανισμών ή οι ανάγκες του ανθρώπου για την πράσινη μετάβαση.

Παρά τα κενά μας στην καθολική εικόνα της έννοιας "άβυσσος", μπορούμε να ορίσουμε κάποια βασικά συμπεράσματα για το ποιες θα είναι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του εγχειρήματος αυτού. Μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με την πηγή που προέρχονται και με την κλίμακα την οποία μετράμε τη βιομηχανική αλλοίωση.

Οι πηγές που μπορούν να προκαλέσουν δράσεις διαταραχής, όπως και σε κάθε εκμετάλλευση πρώτων υλών, μπορούν να εντοπιστούν σε όλα τα στάδια της εξόρυξης:

- Η καταβύθιση του μηχανικού συλλέκτη και της διόδου μεταφοράς του κοιτάσματος.
- Η λειτουργία του εξοπλισμού και οι δονήσεις που προκαλούνται από αυτήν.
- Η απόσπαση του υλικού από την αρχική του θέση.
- Η in-situ επεξεργασία και διαχωρισμός του πόρου από τα στείρα.
- Η μεταφορά του προς την επιφάνεια.

- Η αποβολή του ιζηματογενούς λύματος, μαζί με το βάθος το οποίο γίνεται η αποβολή.
- Η ύπαρξη διαρροών από λιπαντικές ουσίες, θερμικές απώλειες ή αποβολές.

Τα αίτια αυτά μπορούν να προκαλέσουν ποικίλες επιπτώσεις ανάλογα με το εύρος της επίδρασης που μελετάται.

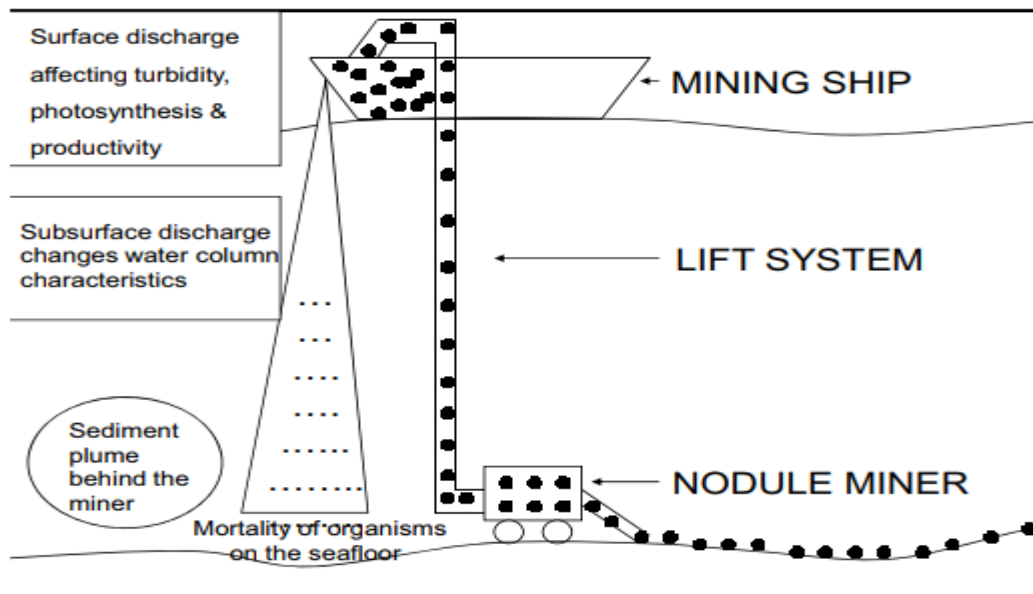


Fig.2. Schematic for environmental impact of deep-sea mining

Activity	Seafloor	Water Column	Surface	Land
Collection	Red			
Separation	Red			
Lifting	Red	Red		
Washing	Red	Red	Red	
At-sea processing	Red	Red	Red	
Transport	Red	Red	Red	Red
Extraction	Blue	Blue	Blue	Red
Tailing discharge	Blue	Blue	Blue	Red

Εικόνα 4.7 Διάγραμμα επηρεαζόμενων περιοχών

(Πηγή: <https://www.wri.org/insights/deep-sea-mining-explained> )

Ξεκινώντας από τα υδρόβια όντα της θάλασσας, το πιο αναμενόμενο είναι η διατάραξη των λειτουργιών, όπως αυτών των αισθητήριων οργάνων, του αναπνευστικού και του πεπτικού συστήματος, λόγω της αυξημένης παρουσίας αιωρούμενου υλικού στα νερά και της αντίστοιχης θερμοκρασίας που αποβάλλεται από τα μηχανήματα και την περιβάλλουσα τοξικότητα από την έκλυση ουσιών (διαρροές). Η καταβύθιση και η έναρξη λειτουργίας του

εξοπλισμού μπορεί επίσης να οδηγήσει πολλούς οργανισμούς στο τέλος της ζωής τους, λόγω συμπίεσης και ποδοπατήματος από αυτόν.

Αυξάνοντας την ένταση της μελέτης, **τα οικοσυστήματα** που θα υποστούν τις επιπτώσεις βιομηχανικών ενεργειών υπολογίζεται ότι θα παρουσιάζουν αυξημένα ποσοστά θνησιμότητας στους κατοίκους πληθυσμών, υπογεννητικότητα, μεταναστευτικά κύματα από διάφορα είδη, διαταραχή του βιολογικού κύκλου διατροφής, των τροφικών αλυσίδων και του δείκτη pH. Οι επιπτώσεις αυτές ενδέχεται να παρουσιαστούν σε κάθε μορφή ζωής που κατοικεί στα ύδατα αυτά, με ορισμένα είδη να εξαφανιστούν χωρίς ακόμη ο άνθρωπος να έχει τη δυνατότητα να τα καταγράψει. Ως προς την εικόνα του οικοσυστήματος, θα υπάρξει η αναμενόμενη μορφολογική αλλοίωση λόγω της απόσπασης υλικού, καθώς και μεγάλοι χρόνοι ανάπλασης, λόγω της διαδικασίας που λαμβάνει μέρος για τη δημιουργία των διαφορετικών πολυμεταλλικών κοιτασμάτων. Αφήνοντας πίσω τα σημάδια από την απόλυση πετρωμάτων ακόμη και πολλές δεκαετίες μετά, επιδεικνύονται είδη που παρουσιάζουν μεγάλους κύκλους ζωής.

Η ρύπανση των υποθαλάσσιων οικοσυστημάτων μπορεί να θέσει κίνδυνο στις **βιομηχανίες παραγωγής θαλασσιών τροφίμων**. Ειδικότερα, το βάθος στο οποίο ενδέχεται να αποθηκευθεί ο "χυλός" μπορεί να ρυπάνει και να προσβάλλει τα αντίστοιχα υδατικά στρώματα και ό,τι αυτά εμπεριέχουν. Σύμφωνα με παρατηρήσεις, η ρύπανση μπορεί να εξαπλωθεί σε μεγάλες αποστάσεις από την πηγή. Θέτοντας στο στόχαστρο οργανισμούς που ζουν στα ανοιχτά νερά των ωκεανών, όπως ο τόνος και με τη σειρά τους τις βιομηχανίες και τις οικονομίες νησιωτικών οικισμών που βασίζονται στην αλιεία και στα αγαθά της θάλασσας, οι επιπτώσεις που μπορεί να προκύψουν στα υποθαλάσσια οικοσυστήματα μπορούν να παρουσιαστούν και στα ανοιχτά νερά που έχουν ρυπανθεί από εξορυκτικές ενέργειες και αποθέσεις.

Εκ πρώτης όψεως, η εξόρυξη βαθιάς θάλασσας φαίνεται σαν μια ενέργεια που εκτελείται εξ ολοκλήρου στα νερά των ωκεανών χωρίς την ανάγκη για επιπλέον εγκαταστάσεις για περαιτέρω επεξεργασία και μεταφορά των μετάλλων που προέρχονται από το διαχωρισμό του πολυμεταλλικού σχηματισμού. Αυτό όμως συνεπάγεται **οικονομικούς και κοινωνικούς κινδύνους**. Από πολλά παραδείγματα είναι γνωστό ότι οι επιπλέον εγκαταστάσεις επιφέρουν ανάλογες επιπτώσεις με αυτές στη θάλασσα, καθώς και την εμφανή αλλοίωση της φυσικής ομορφιάς ενός τοπίου. Παράκτιες περιοχές που ενδεχομένως να επηρεαστούν από τις συνέπειες αυτές μπορεί να αντιδράσουν με το ανάλογο αντίκτυπο,

καθώς πολλές ακτές προστατεύονται από τον Οργανισμό των Ηνωμένων Εθνών ως περιοχές πολιτιστικής κληρονομιάς.

Τέλος, οι σοβαρότερες επιπτώσεις της εξόρυξης βαθιάς θάλασσας μπορούν να αφορούν **το κλίμα της περιοχής ή και του πλανήτη** σε κάποιο σχετικό βαθμό. Οποιαδήποτε δυσχερής αλλαγή ή απώλεια στον αριθμό διαφόρων μικροοργανισμών θα επηρεάσει αμέσως το φιλτράρισμα διάφορων ρύπων, όπως το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα. Οι ωκεανοί μας συμβάλλουν σημαντικά στην αντιμετώπιση αυτών των αερίων, αναλαμβάνοντας τον καθαρισμό περίπου του 25% του συνόλου του πλανήτη.

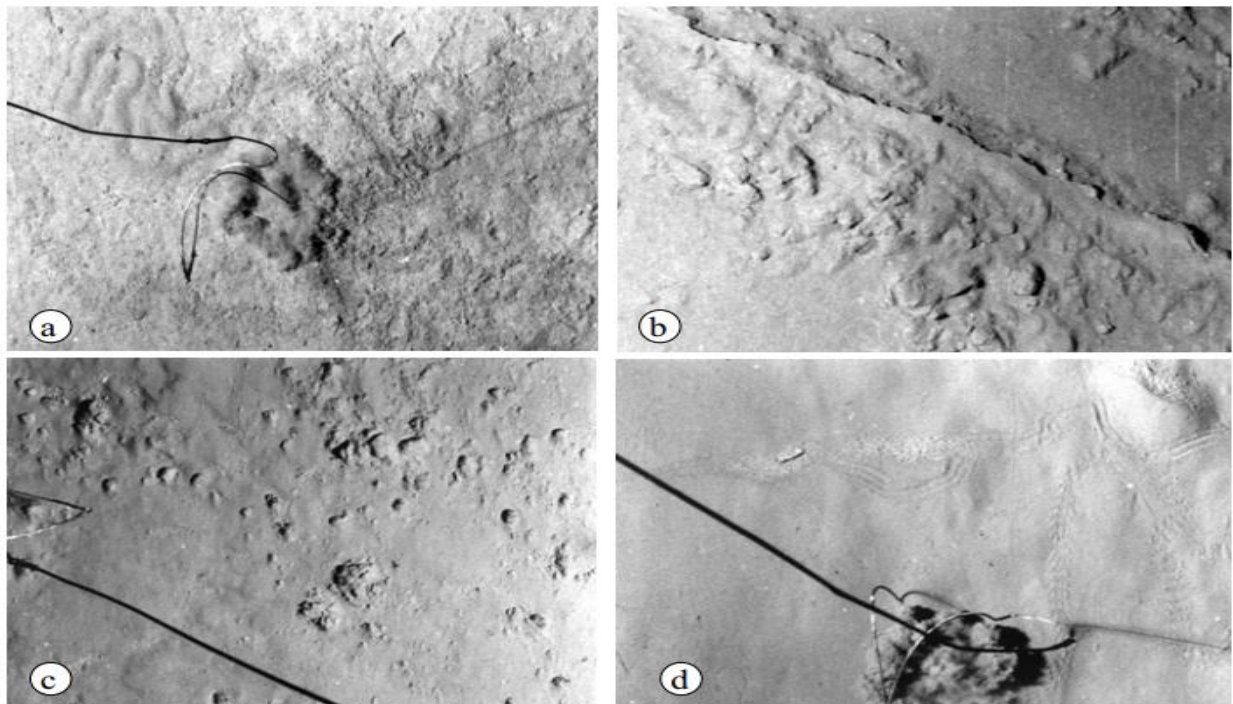
#### 4.3.3 Πειράματα και παρατηρήσεις

Τα παραπάνω συμπεράσματα προέκυψαν από πειράματα που διεξήχθησαν με σκοπό τη μελέτη της βαθιάς θαλάσσιας εξόρυξης υπό ένα βιομηχανικό καθεστώς. Ένα από τα πρώτα πειράματα πραγματοποιήθηκε στην Ιαπωνία από το MMAJ (Metal Mining Agency of Japan) το 1994, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο DSSS (Deep Slurry Sampling). Τα δείγματα που συλλέχθηκαν είχαν σκοπό τη μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Συγκεκριμένα, στη συνολική δειγματοληψία συμπεριλαμβάνονταν στήλες από ιζήματα του πυθμένα, οπτικό υλικό από καταγραφές καμερών και μηχανισμούς που «παγιδεύουν» τα χρώματα του πυθμένα. Από την αποσπασμένη ύλη προέκυψαν ορισμένα συμπεράσματα για το ρυθμό ανάκαμψης των διαφόρων ειδών που ζουν στο οικοσύστημα. Παρατηρήθηκε μια προσωρινή μείωση στα είδη μικροοργανισμών, η οποία επανήλθε σχεδόν στις αρχικές τιμές τους μετά από δύο έτη. Είδη που ανήκαν σε μεγαλύτερα μεγέθη δεν παρουσίασαν την ίδια ανάκαμψη με τους μικροοργανισμούς, και το μέρος του οικοσυστήματος που δεν υπέστη αλλοίωση. Η έκταση της μελέτης ήταν περίπου τρεις χιλιάδες διακόσια μέτρα, χωρισμένα σε δύο παράλληλα ευθύγραμμα τμήματα τα οποία καλύφθηκαν με δέκα εννέα επιφάνειες καταδύσεις.

Η ζώνη Clarion Clipperton αποτέλεσε πόλο έλξης για πολλούς ακόμα ενδιαφερόμενους. Η κοινοπραξία της Ανατολικής Ευρώπης πραγματοποίησε ένα αντίστοιχο πείραμα εντός της ζώνης το 1995 από την IOM (Interoceametal Joint Organization). Στο εν λόγω πείραμα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος DSSS. Στόχος του πειράματος ήταν η παρατήρηση της διακύμανσης στον πληθυσμό των μικροοργανισμών με τη μετατόπιση υλικού εντός της ερευνούσας περιοχής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η απόθεση ιζηματογενούς υλικού εντός μιας περιοχής που έχει αφαιρεθεί, σε ένα εύλογο χρονικό πλαίσιο, δεν επηρεάζει τον αριθμό

και τη δομή των μικροκοινοτήτων που είχαν δημιουργηθεί από τους οργανισμούς. Για το πείραμα δεσμεύτηκε μια περιοχή 200 x 2500 μέτρα, και πραγματοποιήθηκαν δεκατέσσερις μετατοπίσεις. Τα αποτελέσματα προήλθαν από την ανάλυση δειγμάτων και οπτικού υλικού από βυθισμένες κάμερες.

Στην υποθαλάσσια λεκάνη του Ινδικού Ωκεανού πραγματοποιήθηκε ένα παρόμοιο πείραμα, το INDEX (India Deep-Sea Environment Experiment). Το 1997, το Διεθνές Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας (Goa, Ινδία), με τη χρήση της μεθόδου DSSS σε είκοσι έξι δειγματοληψίες, εξερεύνησε μια περιοχή 200 x 3000 μέτρων εντός της οποίας μετατοπίστηκαν έξι χιλιάδες κυβικά μέτρα ιζηματογενούς υλικού. Στόχος του εγχειρήματος ήταν η παρατήρηση αλλαγών στους φυσικούς και χημικούς δείκτες του οικοσυστήματος, καθώς και η επίδραση που θα είχε στα ποσοστά βιομάζας. Τα αποτελέσματα του INDEX έδειξαν ότι παρατηρήθηκε κινητικότητα στις αλλοιωμένες περιοχές, όπου το οικοσύστημα προσπαθούσε να επαναφέρει την αρχική του κατάσταση.



Εικόνες 4.8:Α/ Αρχική κατάσταση του πυθμένα, Β/ Αποτυπώματα του εξοπλισμού, Γ/ Ιζηματικά λοφία κοντά στα αποτυπώματα του εξοπλισμού, Δ/ Τελική κατάσταση της περιοχής μετά την απόθεση υλικού (Πηγή: Environmental Issues of Deep Sea Mining από Rahul Sharma et al., 2015)



#### 4.3.4 Δείκτες και παράμετροι για τη μείωση της περιβαλλοντικής αλλοίωσης

Έχουν προταθεί πολλές συμβουλές και μέτρα για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στις πολυμεταλλικές αποθέσεις. Αυτά τα μέτρα και οι συμβουλές μπορούν να έχουν άμεση επίδραση κατά την εφαρμογή τους και προορίζονται να αποτρέψουν τα χειρότερα σενάρια. Μια πληθώρα παραγόντων έχει προταθεί για να ληφθούν υπόψη κατά τη διαλογή των πολυμεταλλικών κοιτασμάτων. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν τις μηχανές συλλογής, τις παραμέτρους γύρω από την απόρριψη και την κατανομή των στερεών υλικών, καθώς και τη μεταφορά και προηγούμενη επεξεργασία του υλικού. Είναι σημαντικό να εξεταστεί κάθε ένας από αυτούς τους παράγοντες ξεχωριστά για τις αλλαγές που μπορούν να προκληθούν προς μια πιο πράσινη εναλλακτική.

Οι **μηχανές διαλογής** αποτελούν τα άκρα της βιομηχανίας που είναι σχεδόν εξ' ολοκλήρου εντός του πεδίου εκμετάλλευσης και έρχονται σε άμεση επαφή με αυτό. Η μείωση της διαταραχής στο περιβάλλον είναι άμεσα συνδεδεμένη με αυτήν την επαφή καθώς και το διαχωρισμό που προέχουν στο οικοσύστημα κατά τη διαλογή. Για ένα επιτυχές αποτέλεσμα, η βέλτιστη λύση είναι η απόληψη πρώτων υλών σε μικρή απόσταση από την επιφάνεια του πυθμένα, καθώς και η ελάττωση της διάδρασης που θα έχει το μηχανήμα με αυτήν. Η αποσπασματική διαλογή σε λωρίδες (Strip- Wise Mining) είναι μια ακόμη μέθοδος, κατά την εφαρμογή της οποίας η επιφάνεια απόθεσης θα χωρίζεται σε ευθύγραμμα τμήματα στα οποία θα πραγματοποιείται μερική απόσπαση αφήνοντας μια ενδιάμεση λωρίδα ανέπαφη, μεταξύ άλλων δυο (Rahul Sharma, 2015).

Η **αποβολή του ιζηματικού «χυλού» των στείρων** είναι μια ακόμη σοβαρή παράμετρος που μπορεί να επιφέρει καταστροφικά αποτελέσματα στην περίπτωση που γίνει λάθος διαχείριση αποβλήτων. Βασικό ρόλο κατέχει η ευδιαλυτότητα του ιζήματος μέσα στο νερό, καθώς και η έκταση της επιφάνειας που πρέπει να αποθεθεί. Το πιο βέλτιστο αποτέλεσμα αποδίδεται όταν πραγματοποιείται αποβολή στα χαμηλότερα στρώματα της θάλασσας και σε σχετικά μεγάλη έκταση με ομοιογενή ρυθμό, επιτρέποντας έτσι το ηλιακό φως να είναι περατό στα άνω στρώματα, την ισοκατανομή και γρήγορη απόθεσή του ξανά στον πυθμένα.

Η **επεξεργασία και μεταφορά** των πρώτων υλών προς την επιφάνεια μπορεί επίσης να δεχθεί αλλαγές για τη μείωση της περιβαλλοντικής διαταραχής που μπορεί να προκαλέσει. Το ενδεχόμενο εφαρμογής μεθόδων φιλικών προς το περιβάλλον όπως η χρήση βιοδιασπώμενων ενώσεων για το διαχωρισμό του ιζήματος από το κοίτασμα. Το στάδιο της επεξεργασίας πραγματοποιείται πριν την αποβολή στείρων. Κατά τη μεταφορά του

πολυμεταλλικού υλικού θα πρέπει να δοθεί ανάλογη προσοχή για να μην υπάρξουν τυχόν διαρροές είτε αυτού είτε λιπαντικών μέσων και καυσίμων από τα μηχανήματα και το πλοίο.

Υπάρχουν επίσης επιπρόσθετοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν, από όσους επιθυμούν να εκμεταλλευτούν τα πολυμεταλλικά κοιτάσματα του πυθμένα. Σημαντικός είναι:

- **Ο λόγος της περιοχής που υπόκειται σε αλλοίωση σε σχέση με το σύνολο του υδάτινου σώματος.**
- **Η μεταβολές και οι επιδράσεις που παρουσιάζουν τα ρεύματα νερού, ένας παράγοντας που επηρεάζεται άμεσα από την αλλαγή των εποχών και τη θέση της σελήνης (twilight zone).**
- **Η απόσταση της εκμετάλλευσης από την όποια κατοικήσιμη περιοχή.**
- **Τέλος, ο περιορισμός της εκμετάλλευσης από αλιευτικές ζώνες ή θαλάσσιες ζώνες κερδοσκοπικού χαρακτήρα.**

#### 4.4 Σύγκριση της εξόρυξης βαθιάς θάλασσας με επιφανειακές εξορύξεις

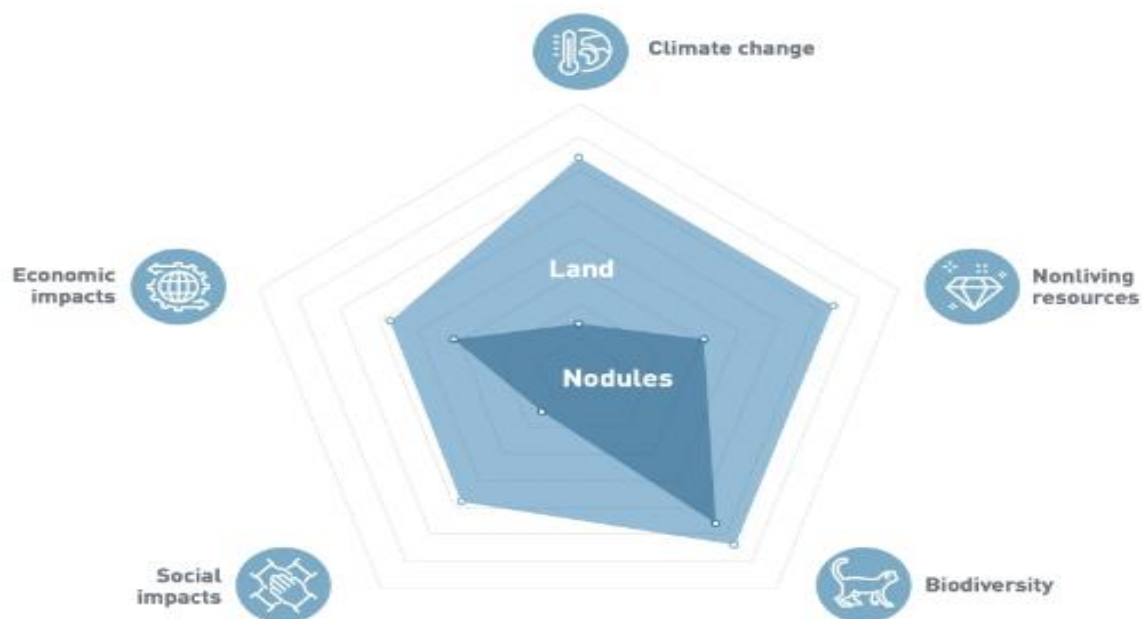
Η εξόρυξη βαθιάς θάλασσα αποτελεί ένα από τα πιο πολυσυζητημένα θέματα της δεκαετίας. Το σχέδιο για την πράσινη μετάβαση και την αποστασιοποίησή μας από την καθημερινή χρήση υδρογονανθράκων έχει την ανάγκη από μεγάλες ποσότητες κρίσιμων μετάλλων. Τα κοιτάσματα της βαθιάς θάλασσας αποτελούνται από αποθέσεις πολυμεταλλικών σχηματισμών, πλούσιων στις πρώτες ύλες που αναζητά η σύγχρονη αγορά. Το μείζον ζήτημα που εμποδίζει την έναρξη δραστηριοτήτων εκτός από την έλλειψη ενός κανονιστικού πλαισίου είναι μια καθαρή οπτική στην εικόνα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που θα επιφέρουν. Πολλοί δε διστάζουν να διεξάγουν λεπτομερείς συγκρίσεις αναμεσα στα υπέρ και τα κατά των υποθαλάσσιων δραστηριοτήτων σε σχέση με τις παλιές επιφανειακές εκμεταλλεύσεις. Η σύγκριση αυτή πραγματοποιείται σε διάφορους δείκτες που είναι άμεσα μεταβαλλόμενοι από τέτοιου είδους εγχειρήματα, όπως η κλιματική αλλαγή, το σύνολο των πρώτων υλών, τα οικοσυστήματα και η βιοποικιλότητα των στενευμένων περιοχών, το κοινωνικό και οικονομικό αντίκτυπο.

Πολλές μεταλλευτικές εταιρίες προτάθηκαν υπέρ της εξόρυξης βαθιάς θάλασσας, πραγματοποιώντας συγκριτικές έρευνες ανάμεσα στους δύο τύπους εκμετάλλευσης, στην προσπάθειά τους να ξεκινήσουν την αξιοποίηση των πολυμεταλλικών κοιτασμάτων. Μια εξ αυτών είναι η Deep Green Metals Inc, ο προκάτοχος της Καναδέζικης εταιρίας The Metals

Company, η οποία χρηματοδότησε την έρευνα πίσω από το δημοσίευμα «Where should metals for the green transition come from?».

Το άρθρο αυτό πραγματεύεται την άμεση ανάγκη του ανθρώπου για μεγαλύτερες ποσότητες κρίσιμων μετάλλων, για την επιτέλεση των πράσινων στόχων που έχει θέσει. Υπολογίζεται ότι οι βιομηχανίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ηλεκτρικής αυτοκίνησης και κατασκευής μπαταριών θα παρουσιάσουν μεγάλη ζήτηση σε μεταλλικά στοιχεία όπως το Νικέλιο (Ni), το Μαγγάνιο (Mg), το Κοβάλτιο και ο Χαλκός (Cu) (Daina Paulikas et al., 2020).

Εμφανίσεις των ζωτικών αυτών μετάλλων έχουν παρατηρηθεί τόσο σε επιφανειακά / υπόγεια κοιτάσματα όσο και σε πολυμεταλλικές αποθέσεις στον πυθμένα, χωρίς κάποια συνοχή στην περιεκτικότητά τους ανά κάθε εμφάνιση. Έχει υπολογισθεί ότι τα κοιτάσματα της βαθιάς θάλασσα προσφέρουν σε αφθονία τα προαναφερθέντα στοιχεία, παρουσιάζοντας επίσης λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σύγκριση με τις κλασικές απολήψεις.



Εικόνα 4.9: Σύγκριση περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ ξηράς και θάλασσας  
(Πηγή: [https://deepseamining.ac/comparing\\_land\\_to\\_subsea\\_mining#gsc.tab=0](https://deepseamining.ac/comparing_land_to_subsea_mining#gsc.tab=0))

Ειδικότερα, παρά την εμφανή διαφορά στο επίπεδο γνώσεων που υπάρχει και κάθε ένα από τα δύο εγχειρήματα, μπορούμε να παρατηρήσουμε εμπειριστωμένα ότι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που παρουσιάζει μια εν' δυνάμει απόσπαση πρώτων υλών στον πυθμένα της θάλασσας είναι μικρότερης κλίμακας από τις αντίστοιχες στην ξηρά, με τα

δεδομένα που υπάρχουν προς στιγμήν. Σε δείκτες όπως η ανάγκη ενέργειας, οι ποσότητες ρύπων και αέριων του θερμοκηπίου, η συνεισφορά στην κλιματική αλλαγή και στα αντίτιμα οικονομικής ή κοινωνικής φύσεως, παρατηρείται ότι οι επιφανειακές / υπόγειες εξορύξεις τείνουν να είναι αρκετά πιο επιβλαβείς, για συγκριτικά μικρότερες ποσότητες των αναζητούμενων πόρων.

ECOSYSTEM SERVICE CATEGORY	LAND MINING	DEEP-OCEAN NODULES
<b>PROVISIONING</b>		
Food	<span style="color:red">■</span> Habitat cleared, erosion, toxins	<span style="color:gray">■</span> Low or none
Water	<span style="color:red">■</span> Excessive withdrawal, pollution	<span style="color:gray">■</span> Little water for processing
Raw materials (e.g., wood, fiber)	<span style="color:orange">■</span> Loss of trees and vegetation	<span style="color:gray">■</span> Low second-order effects
Genetic resources	<span style="color:orange">■</span> Potential loss of endemic species	<span style="color:orange">■</span> Possible, but uncertain
Medicinal Resources	<span style="color:orange">■</span> Potential loss of endemic species	<span style="color:orange">■</span> Possible but uncertain
Ornamental Resources	<span style="color:orange">■</span> Damage to vegetation and species	<span style="color:gray">■</span> Low or none
<b>REGULATING</b>		
Air-quality regulation	<span style="color:red">■</span> Blasting and toxic dusts	<span style="color:orange">■</span> Some from vessels, refining
Climate regulation	<span style="color:orange">■</span> Loss of soil and vegetation	<span style="color:gray">■</span> Low or none
Moderation of extreme events	<span style="color:orange">■</span> Loss of soil and vegetation	<span style="color:gray">■</span> Low or none
Regulation of water flows	<span style="color:red">■</span> Water drawdown and pollution	<span style="color:orange">■</span> Water for processing
Waste Treatment	<span style="color:orange">■</span> Loss of soil and vegetation	<span style="color:gray">■</span> Low or none
Erosion prevention	<span style="color:orange">■</span> Loss of soil and vegetation	<span style="color:gray">■</span> Low or none
Maintenance of soil fertility	<span style="color:red">■</span> Toxic dusts, polluted water, vegetation	<span style="color:gray">■</span> Low or none
Pollination	<span style="color:orange">■</span> Vegetation loss, toxic dusts, water impact	<span style="color:gray">■</span> Low or none
Biological control	<span style="color:orange">■</span> Harm to vegetation and aquatic life	<span style="color:orange">■</span> Possible but uncertain
<b>SUPPORTING</b>		
Resident/migrating species	<span style="color:red">■</span> Habitat loss, noise, pollution	<span style="color:red">■</span> Habitat loss, noise, light
Maintenance of genetic diversity	<span style="color:red">■</span> Species extinction risk	<span style="color:red">■</span> Species extinction risk
<b>CULTURAL</b>		
Aesthetic information	<span style="color:red">■</span> Excavation, noise, species loss	<span style="color:gray">■</span> None
Recreation and tourism	<span style="color:red">■</span> Exclusion areas, fish kills, noise	<span style="color:gray">■</span> None
Inspirational culture, arts, design	<span style="color:teal">■</span> Jewelry, tools, lore, books, films	<span style="color:teal">■</span> Some books written
Spiritual experience	<span style="color:red">■</span> Harm to/exclusion from sacred sites	<span style="color:gray">■</span> None
Cognitive development impact	<span style="color:teal">■</span> Technological developments	<span style="color:teal">■</span> Science, knowledge, tech

Εικόνα 5.10: Πίνακας βαθμού αλλοίωσης δεικτών από τις αντίστοιχες εξορύξεις (EN) (Πηγή:

[https://deepseamining.ac/comparing\\_land\\_to\\_subsea\\_mining#gsc.tab=0](https://deepseamining.ac/comparing_land_to_subsea_mining#gsc.tab=0) )

## Κεφάλαιο 5: Τεχνολογία, Ανάπτυξη και Εξοπλισμός

Η ανθρωπότητα βρίσκεται ξανά στο στάδιο μετάβασης προς μια νέα εποχή, που θα μπορούσε κάποιος να χαρακτηρίσει ως την «Πράσινη Βιομηχανική Επανάσταση». Τα πολυμεταλλικά κοιτάσματα στον πυθμένα των ωκεανών κατέχουν διπλό ρόλο για τον άνθρωπο. Από την μία άποψη, αποτελούν την αναγκαία πρώτη ύλη που δίνει λύση στην εξέλιξη και διαβίωσή μας, διακόπτοντας σχεδόν εξ ολοκλήρου τη χρήση ορυκτών καυσίμων από τον άνθρωπο. Από την άλλη η απόκτηση των κοιτασμάτων αυτών αποτελεί ένα νέο πρόβλημα που καλούμαστε να λύσουμε, καθώς η ανάγκη για νέα μέσα και τεχνικές απόσπασης τείνει να γίνει η νέα πραγματικότητα.

### 5.1 Η διαδικασία εξόρυξης βαθιάς θάλασσας και τα δομικά της μέρη

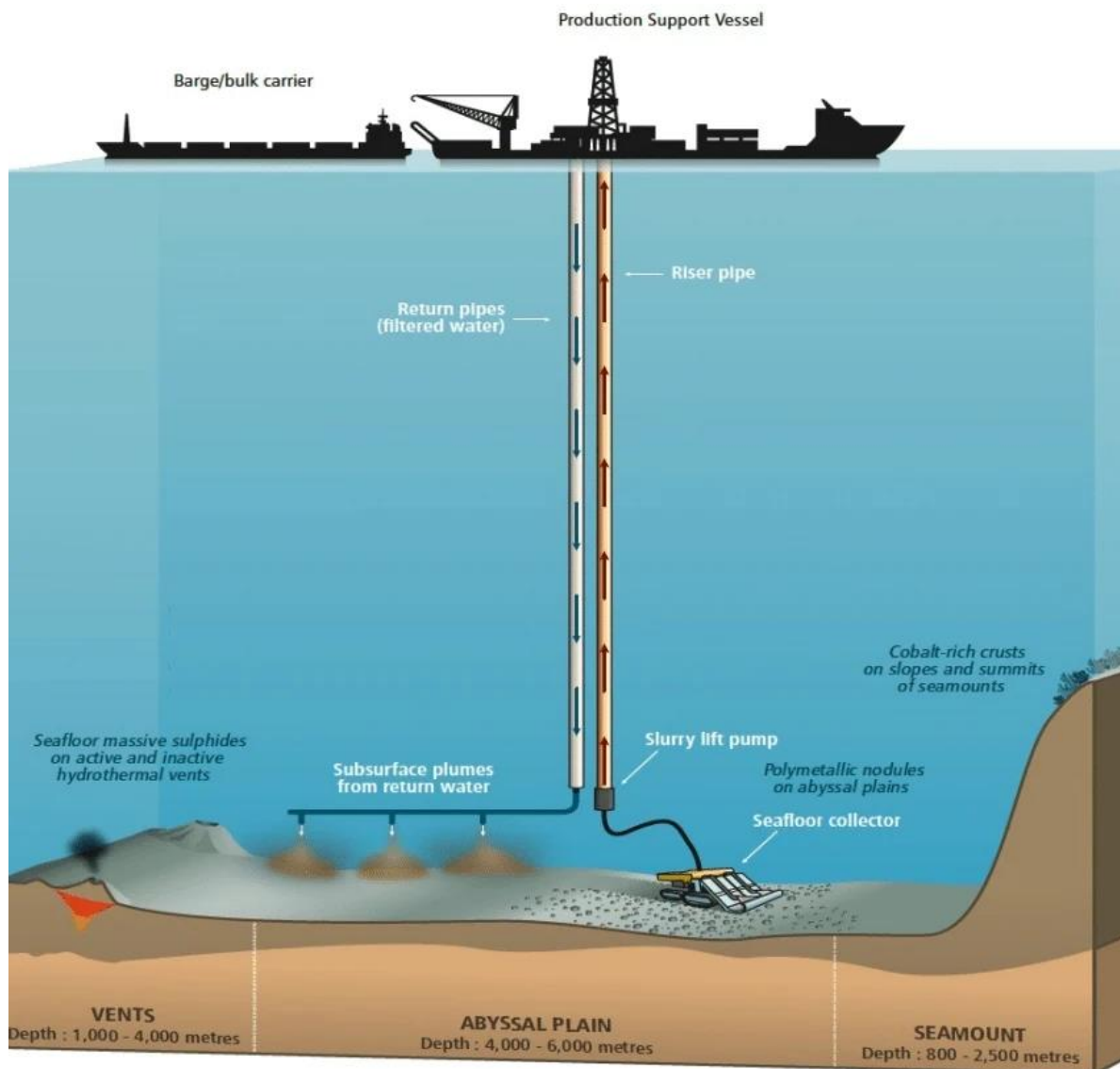
Η εξόρυξη βαθιάς θάλασσας, όπως και κάθε εκμετάλλευση, αποτελεί κατά το σύνολό της μια περίπλοκη διαδικασία που χωρίζεται σε επιμέρους τμήματα για να επιτευχθεί ο τελικός στόχος. Μια πιθανή εξόρυξη βαθιάς θάλασσα μπορεί να διαιρεθεί σε παρόμοια διακριτά στάδια όπως οι αντίστοιχες επιφανειακές / υπόγειες εκμεταλλεύσεις.

Κατά το σύνολό της μια εξόρυξη ξεκινά **με την έρευνα του κοιτάσματος**. Η συλλογή στοιχείων όπως οι διαστάσεις, οι φυσικοχημικές και μηχανικές ιδιότητές του, καθώς και άλλες παράμετροι όπως η μέθοδος εξόρυξης, η οικονομική αξία και οι αντίστοιχες επιπτώσεις, μπορούν να επηρεάσουν άμεσα το μέλλον του κοιτάσματος και πως θα το προσεγγίσουμε.

Μετά την περάτωση των ερευνών **ακολουθεί η αγορά, η εγκατάσταση και η έναρξη λειτουργίας του εξοπλισμού**. Στην περίπτωση της βαθιάς θάλασσας το στάδιο αυτό χωρίζεται ξανά σε μικρότερα τμήματα:

- Η διαλογή των πολυμεταλλικών κοιτασμάτων, όπως οι σβόλοι, με τη χρήση συλλεκτών.
- Η μεταφορά τους μέσω σωληνώσεων προς το πλοίο που πραγματοποιεί την επεξεργασία πρώτου βαθμού.
- Ο διαχωρισμός τους από το θαλασσίνο νερό και των διάφορων ιζημάτων από τον σωλήνα.
- Η αποθήκευση τους στο πλοίο.
- Η απόθεση του χυλού πίσω στην θάλασσα.

- Η μεταπόθεση της πρώτης ύλης σε πλοίο για την επεξεργασία τους σε εν ξηρά εγκαταστάσεις.



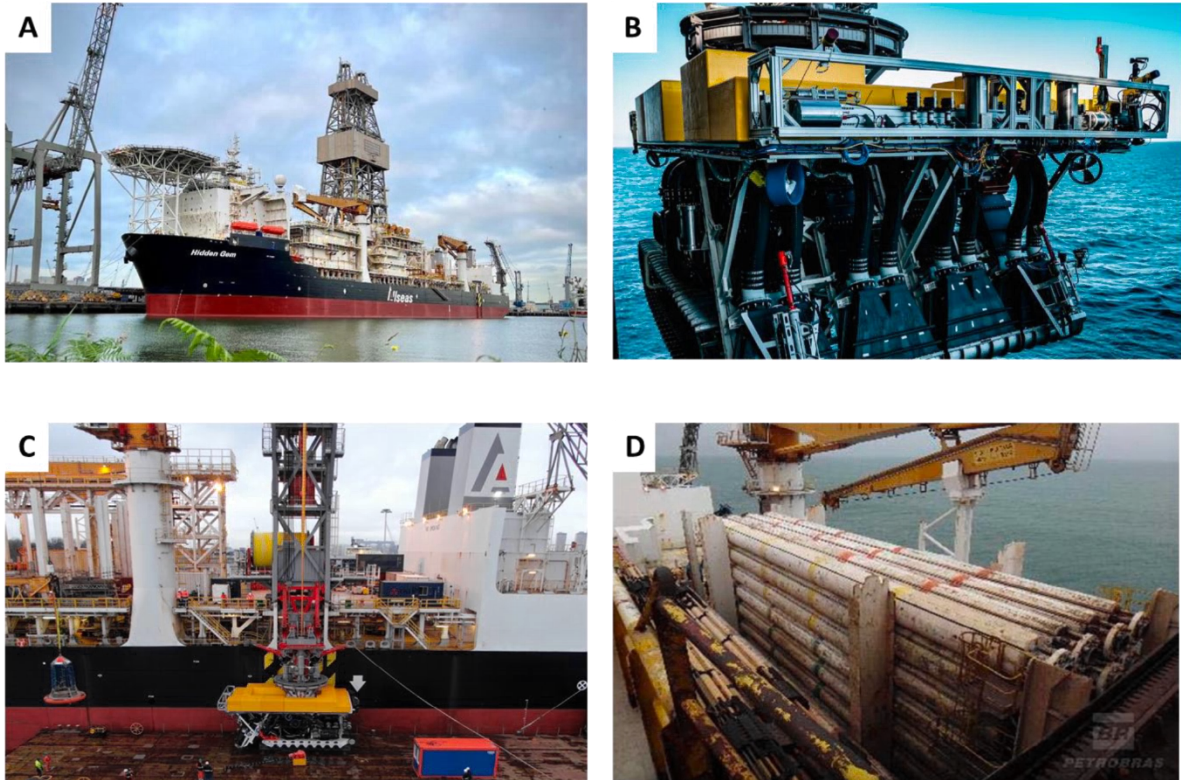
Εικόνα 5.1: Εξόρυξη βαθιάς θάλασσας και ο εξοπλισμός της (Πηγή: [https://deepseamining.ac/deep\\_sea\\_mining\\_equipment#gsc.tab=0](https://deepseamining.ac/deep_sea_mining_equipment#gsc.tab=0) )

Και τέλος η **οικονομική απόσβεση** από την πώληση του εξορυγμένου υλικού και του εξοπλισμού.

Για την εξόρυξη βαθιάς θάλασσας και την επιτυχή εκτέλεση των βημάτων της πρέπει να υπάρχουν:

- Οι υποθαλάσσιοι συλλέκτες.

- Το σύστημα άντλησης των προϊόντων του συλλέκτη.
- Το πλοίο διαχωρισμού και αποθήκευσης.
- Το σύστημα ελέγχου του συλλέκτη κατά την καταβύθιση ή την ανάσυρσή του από τον πυθμένα.



Εικόνα 5.2 : Ο εξοπλισμός για την εξόρυξη βαθιάς θάλασσας (Πηγή: [https://deepseamining.ac/deep\\_sea\\_mining\\_equipment#gsc.tab=0](https://deepseamining.ac/deep_sea_mining_equipment#gsc.tab=0) )

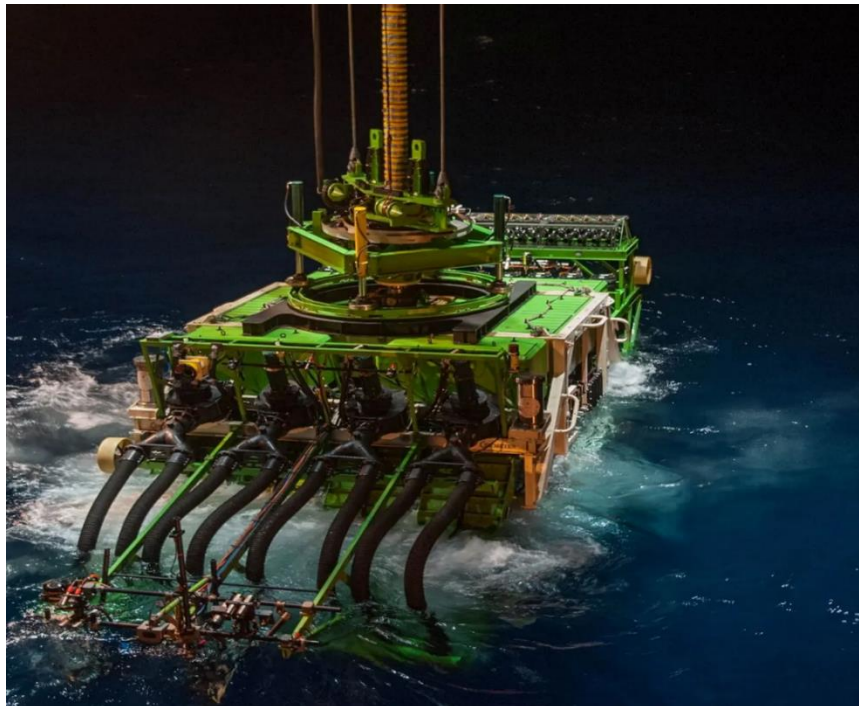
## 5.2 Υποθαλάσσιοι Συλλέκτες

Οι υδραυλικοί συλλέκτες αποτελούν τα χέρια μιας εξόρυξης βαθιάς θάλασσας. Με τον όρο αυτό αναφερόμαστε στο όχημα που απελευθερώνεται από την πλατφόρμα ενός πλοίου και ξεκινά την απόσπαση των πολυμεταλλικών κοιτασμάτων όταν εδραιωθεί στον πυθμένα.



Εικόνα 5.3 Υποθαλάσσιος Συλλέκτης (Πηγή: [https://deepseamining.ac/deep\\_sea\\_mining\\_equipment#gsc.tab=0](https://deepseamining.ac/deep_sea_mining_equipment#gsc.tab=0) )

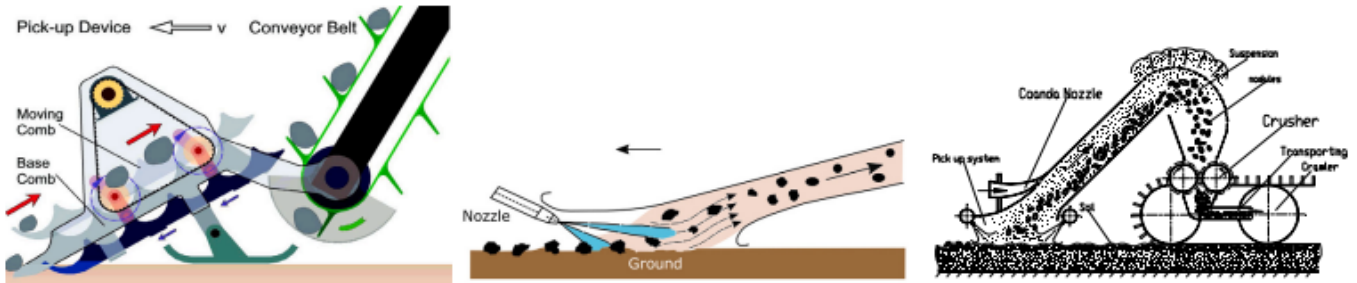
Ο συλλέκτης τροφοδοτείται με ενέργεια και ελέγχονται οι κινήσεις του μέσου καλωδίωσης από αντίστοιχο πλοίο.



Εικόνα 5.4 Υποθαλάσσιος Συλλέκτης (Πηγή: [https://deepseamining.ac/deep\\_sea\\_mining\\_equipment#gsc.tab=0](https://deepseamining.ac/deep_sea_mining_equipment#gsc.tab=0) )



Στην περίπτωση που η εξόρυξη αφορά την απόσπαση Μαγγανιούχων σβόλων, οι συλλέκτες μπορούν να φέρουν ένα από τα τρία υπάρχοντα συστήματα διαλογής, Υδραυλικό, Μηχανικό και Υβριδικό.



Εικόνα 5.5: Αριστερά: Μηχανικός Συλλέκτης, Μέση: Υδραυλικός Συλλέκτης, Δεξιά Υβριδικός Συλλέκτης (Πηγή: Mining of deep-seabed nodules using a Coanda-effect-based collector)

### 5.1.1 Συλλέκτες σβόλων με υδραυλικό σύστημα διαλογής

Η φιλοσοφία πίσω από τη λειτουργία των υδραυλικών συστημάτων διαλογής βρίσκεται στη χρήση πεπιεσμένου νερού για την αποκόλληση των σβόλων από τον πυθμένα της θάλασσας και η μετέπειτα μεταφορά τους από ένα κύκλωμα σωληνώσεων που τους οδηγεί στο πλοίο συγκέντρωσης και επεξεργασίας. Για την επίτευξη την αποκόλλησης και περισυλλογής, ένα υδραυλικό σύστημα αποτελείται από αντλίες νερού, σωλήνες για αναρρόφηση, και δοχεία επιφανειακής στήριξης.

Ένα υδραυλικό σύστημα διακρίνεται για τους υψηλούς βαθμούς αποδοτικότητάς του στην ταχεία αποκόλληση σβόλων και προσαρμοστικότητα στα ιζηματογενή και βαλτώδη εδάφη που εδράζονται πολλά πολυμεταλλικά κοιτάσματα καθώς και στις διαστάσεις από την έκταση εκμετάλλευσης. Ο αντίποδας σε αυτά τα πλεονεκτήματα περιστρέφεται κυρίως στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα που αφήνουν τα εν λόγω συστήματα. Οι υδραυλικοί συλλέκτες κατά τη λειτουργία τους τείνουν να αναδεύουν το υλικό του πυθμένα με τα θαλάσσια ύδατα δημιουργώντας νέφη που μπορούν να διαταράξουν τα γύρω οικοσυστήματα. Επίσης αποτελούν περίπλοκα συστήματα που καταναλώνουν υψηλά ποσοστά ενέργειας όταν χρησιμοποιούνται.

### 5.1.2 Συλλέκτες σβόλων με μηχανικό σύστημα διαλογής

Σε αντίθεση με τα υδραυλικά συστήματα, οι μηχανικοί συλλέκτες έχουν άμεση επαφή με το πέτρωμα κατά τη διαλογή. Αυτό είναι επιτεύξιμο με τη χρήση αποξεστήρων, τσουγκράνων και κουβάδων για τη διαλογή. Ένας μηχανικός συλλέκτης αποτελείται από κεφάλες βυθοκόρησης, μάντες για την μεταφορά του υλικού και μηχανισμούς επιφανειακής εξισορρόπησης.

Οι μηχανικοί συλλέκτες τείνουν να είναι πιο ανθεκτικοί από άλλα συστήματα συλλογής και μπορούν να προσαρμοστούν ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο μέτωπο εξόρυξης, χωρίς να παρουσιάζουν ιδιαίτερη κατανάλωση ενέργειας. Όμως και αυτοί παρουσιάζουν ανάλογες περιβαλλοντικές επιπτώσεις λόγω της αναπόφευκτης διαταραχής που προκαλούν στον πυθμένα, καθώς και με εκτεταμένη χρήση να παρουσιάσουν μείωση της απόδοσης και αύξηση των φυσικών φθορών στα εξαρτήματά τους.

### 5.1.3 Συλλέκτες σβόλων με ρομποτικά συστήματα διαλογής

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας έφερε στο προσκήνιο ένα νέο σύστημα διαλογής. Τα ρομποτικά συστήματα διαλογής πρόκειται για μη επανδρωμένα οχήματα εξοπλισμένα με ρομποτικούς βραχίονες για την απόσπαση υλικού από τον πυθμένα. Τα ρομποτικά συστήματα φέρουν συστήματα AUVs ή ROVs, βραχίονες, κάμερες και αισθητήρες παρακολούθησης και συστήματα ελέγχου κίνησης.

Λόγω του σχεδιασμού τους φέρουν μεγάλη ακρίβεια κατά τη συλλογή σβόλων μειώνοντας έτσι τη διαταραχή που προκαλούν και συνεπώς και το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα. Η ιδιότητά τους αυτή μπορεί να παρατηρηθεί σε διάφορες συνθήκες και οικοσυστήματα που εντοπίζονται πολυμεταλλικά κοιτάσματα. Τα προβλήματα που παρουσιάζουν τα ρομποτικά συστήματα έχουν να κάνουν κυρίως με την αποδοτικότητα / ταχύτητα παροχής πρώτης ύλης και της αντίστοιχης εξειδίκευσης που χρειάζεται για το χειρισμό τους. Λόγω αυτών των παραγόντων τα ρομποτικά συστήματα αποτελούν την πιο οικολογικά φιλική και οικονομικά εχθρική επιλογή.

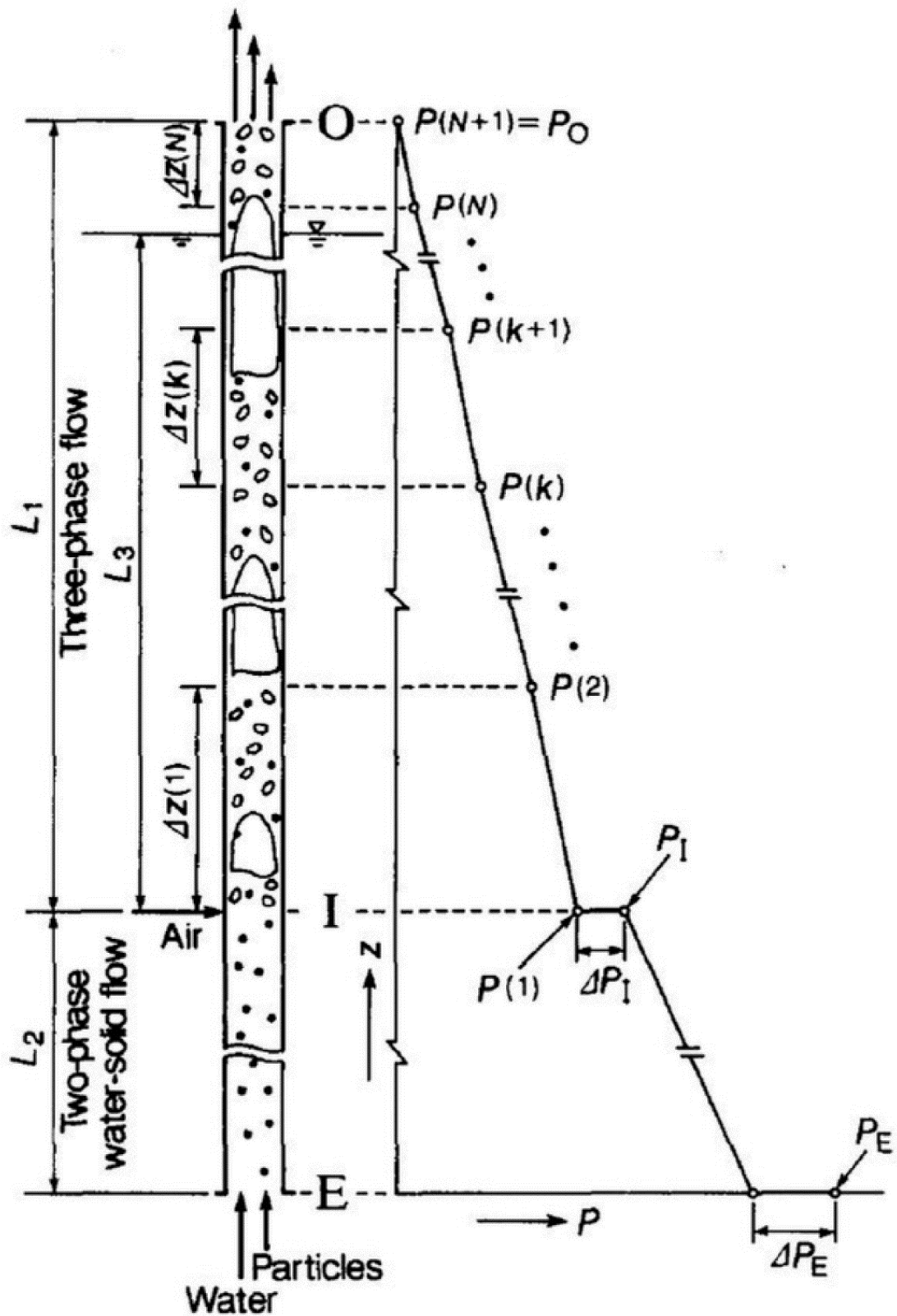
Παράμετρος	Υδραυλικά Συστήματα	Μηχανικά Συστήματα	Ρομποτικά Συστήματα
<b>Αποδοτικότητα</b>	Υψηλός όγκος, γρήγορη επεξεργασία	Μέτρια, εξαρτάται από τις συνθήκες βυθού	Χαμηλή έως μέτρια, υψηλή ακρίβεια
<b>Περιβαλλοντική Επίπτωση</b>	Υψηλή ανάρτηση ιζημάτων	Φυσική διαταραχή του βυθού	Χαμηλή, ελάχιστη διαταραχή ιζημάτων
<b>Κατανάλωση Ενέργειας</b>	Υψηλή	Μέτρια	Χαμηλή έως μέτρια
<b>Λειτουργική Πολυπλοκότητα</b>	Υψηλή πολυπλοκότητα, πολλά εξαρτήματα	Μέτρια, επιρρεπής σε φθορά	Υψηλή, απαιτεί προηγμένη τεχνολογία
<b>Προσαρμοστικότητα</b>	Καλύτερη για μαλακές περιοχές βυθού	Ευέλικτη, κατάλληλη για σκληρά υποστρώματα	Ευέλικτη, προσαρμόσιμη σε πολύπλοκα εδάφη
<b>Κόστος</b>	Μέτριο προς υψηλό	Μέτριο	Υψηλό

Πίνακας 5.1: Σύγκριση Συστημάτων Διαλογής

## 5.2 Σύστημα αναρρόφησης και μεταφοράς υλικού

### 5.2.1 Σύστημα μεταφοράς RAS (Riser Air Lift System)

Το σύστημα RAS αποτελεί ένα σύστημα μεταφοράς πολυμεταλλικών σβόλων από τον πυθμένα. Το κύριο χαρακτηριστικό του είναι η ανάσυρση υλικού μέσω ενός μείγματος νερού και αέρα. Επρόκειτο για έναν απλό αλλά αξιόπιστο όργανο μεταφοράς με υψηλή αποδοτικότητα για μεγάλους όγκους υλικού. Παρουσιάζει όμως αντίστοιχες ανάγκες για ενέργεια και ρύθμιση στις αναλογίες του μείγματος νερού - αέρα.



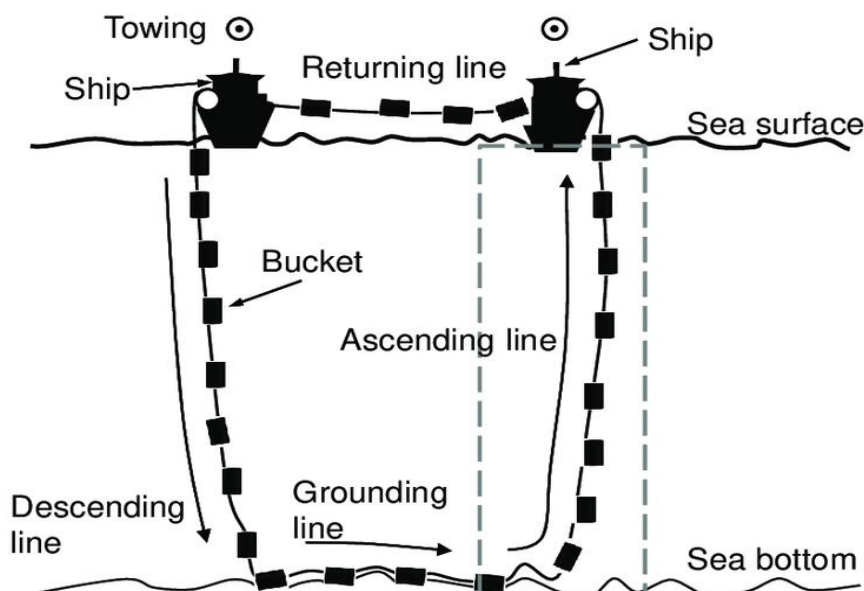
Εικόνα 5.6 Σύστημα RAS (Πηγή: [https://deepseamining.ac/deep\\_sea\\_mining\\_equipment#gsc.tab=0](https://deepseamining.ac/deep_sea_mining_equipment#gsc.tab=0))

### 5.2.2 Υδραυλικό σύστημα μεταφοράς

Το υδραυλικό σύστημα μεταφοράς μοιάζει με τους υδραυλικούς συλλέκτες. Κάνει χρήση πεπιεσμένου νερού μέσω αντλιών και σωληνώσεων για την ανοδική μεταφορά του υλικού. Όπως και το σύστημα RAS, το υδραυλικό σύστημα παρουσιάζει υψηλή απόδοση στη μεταφορά υλικού, δίνοντας τον πλήρη έλεγχο ροής από το συλλέκτη στο πλοίο. Πάρα τις μεγάλες δυνατότητές του ένα υδραυλικό σύστημα απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας για τη συνεχή λειτουργία του καθώς και τακτικούς ελέγχους για την εμφάνιση φθορών και την ανάγκη για συντήρηση.

### 5.2.3 Σύστημα μεταφοράς με τη χρήση κάδων

Σε αντίθεση με τα άλλα συστήματα η γραμμή παραγωγής σουρωμένων κάδων (Continuous Line Buckle System) αποτελεί μια θεωρητική προσέγγιση στο πρόβλημα της απόσπασης σβόλων από τον πυθμένα χωρίς την παρουσία συλλέκτη και συστήματος αναρρόφησης. Η γραμμή απαρτίζεται από τον μάντα/αλυσίδα κίνησης, τις κινητήριες μηχανές και τους κάδους που σκάβουν για πρώτη ύλη. Εκ πρώτης όψεως φαντάζει ως ένας αξιόπιστος μηχανισμός με υψηλή ανθεκτικότητα στις φθορές καθώς τα μηχανικά μέρη του συστήματος θα βρίσκονται πάνω στο πλοίο διαλογής. Όμως η χρήση κάδων υπόκειται στη χωρητικότητα των επιλεγμένων κάδων και στην ανάγκη για συντήρηση λόγω της φθοράς του από τη συνεχή εκσκαφή.



Εικόνα 5.7: Σύστημα Συλλογής με Κάδους (Πηγή: [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-a-two-ship-continuous-line-bucket-CLB-system-The-circular-cable-comprises\\_fig1\\_335581456](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-a-two-ship-continuous-line-bucket-CLB-system-The-circular-cable-comprises_fig1_335581456) )

#### 5.2.4 Σύστημα μεταφοράς με πεπιεσμένο αέρα

Το πνευματικό σύστημα μεταφοράς παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με το σύστημα RAS και το υδραυλικό, όμως σε αυτήν την περίπτωση η μεταφορά των σβόλων πραγματοποιείται μόνο με τη χρήση πεπιεσμένου αέρα. Αποτελείται από παρόμοια επίσης τμήματα όπως ένας σωλήνας μεταφοράς και τα μηχανήματα για συμπίεση και εκτόνωση του αέρα. Σε σχέση με τα προαναφερθέντα συστήματα το πνευματικό έχει απλή και ανθεκτική δομή κάτι που του επιτρέπει να έχει και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Το πρόβλημα με τη χρήση του βρίσκεται στο βαθμό απόδοσης καθώς είναι αντίστροφος ανάλογο με το βάθος της εκμετάλλευσης. Όσο αυξάνεται το βάθος τόσο πιο δύσκολη είναι η μεταφορά των σβόλων διότι μειώνεται η δυνατότητα του συστήματος να παρέχει μια σταθερή ροή.

Πίνακας 5.2: Σύγκριση Συστημάτων Μεταφοράς.

Παράμετρος	Riser Air Lift System (RAS)	Hydraulic Lift System	Continuous Line Bucket System (CLB)	Pneumatic Lift System
<b>Τεχνολογία</b>	Χρήση αέρα και νερού για ανάβαση	Αντλίες υψηλής πίεσης	Συνεχής γραμμή με κάδους	Χρήση πεπιεσμένου αέρα
<b>Ανυψωτικός Μηχανισμός</b>	Αέρας εγχέεται στον σωλήνα ανάβασης	Αντλίες στον σωλήνα ανάβασης	Κάδοι σε αλυσίδα ή καλώδιο	Πεπιεσμένος αέρας στον σωλήνα ανάβασης
<b>Απλότητα Σχεδιασμού</b>	Απλός	Μέτρια πολυπλοκότητα	Στιβαρός και ανθεκτικός	Απλός και αξιόπιστος
<b>Αξιοπιστία</b>	Υψηλή	Μέτρια	Υψηλή	Υψηλή
<b>Απόδοση</b>	Καλή απόδοση για μεγάλα βάθη	Υψηλή αποδοτικότητα	Περιορισμένη χωρητικότητα ανά κύκλο	Λιγότερο αποδοτικό σε μεγάλα βάθη
<b>Ενεργειακή Κατανάλωση</b>	Υψηλή λόγω συμπιεστών αέρα	Υψηλή λόγω αντλιών	Μέτρια	Χαμηλή
<b>Συντήρηση</b>	Μέτρια	Υψηλή λόγω φθοράς αντλιών	Υψηλές απαιτήσεις λόγω φθοράς	Χαμηλή
<b>Περιβαλλοντική Επίπτωση</b>	Μέτρια ανάρτηση ιζημάτων	Μέτρια ανάρτηση ιζημάτων	Σημαντική διαταραχή του βυθού	Χαμηλή ανάρτηση ιζημάτων
<b>Χωρητικότητα</b>	Υψηλή για μεγάλες ποσότητες	Υψηλή για μεγάλες ποσότητες	Περιορισμένη	Μέτρια
<b>Κόστος</b>	Μέτριο προς υψηλό	Υψηλό λόγω τεχνολογίας αντλιών	Μέτριο	Χαμηλό

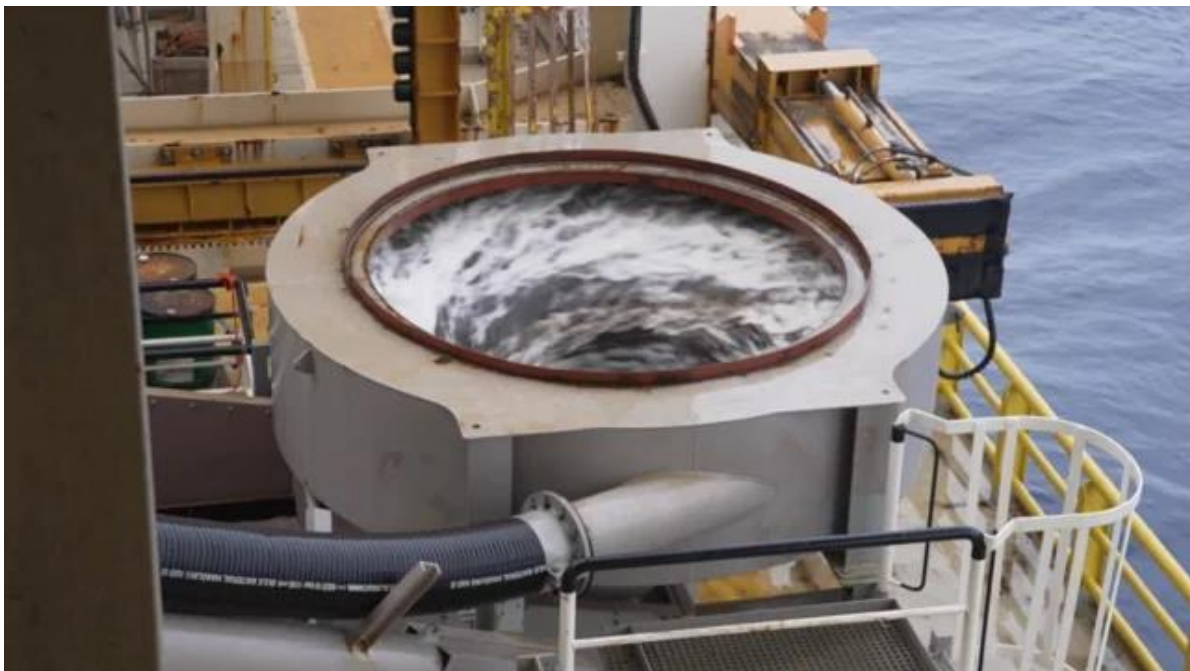
### 5.3 Πλοίο/α συγκέντρωσης, επεξεργασίας και διαχωρισμού

Η απόσπαση των πολυμεταλλικών σβόλων αλλά και κάθε άλλου πολυμεταλλικού κοιτάσματος αποτελεί μια πολύπλοκη διαδικασία μέχρι να μπορέσουμε να επιτύχουμε την ανάκτηση μεταλλεύματος. Τα πλοία λειτουργούν ως βοηθητικά μέσα σε διάφορες φάσεις της εκμετάλλευσης και φέρουν τον τίτλο Deep-Sea mining Support Vessels.

#### 5.3.1 Βασικές αρμοδιότητες βοηθητικών πλοίων

Τα βοηθητικά πλοία κατέχουν πολλούς ρόλους μέσα σε μια εκμετάλλευση. Κάθε ένα μπορεί να αναλάβει είτε ένα ρόλο είτε παραπάνω. Στο σύνολό τους είναι αρμόδια για ενέργειες όπως:

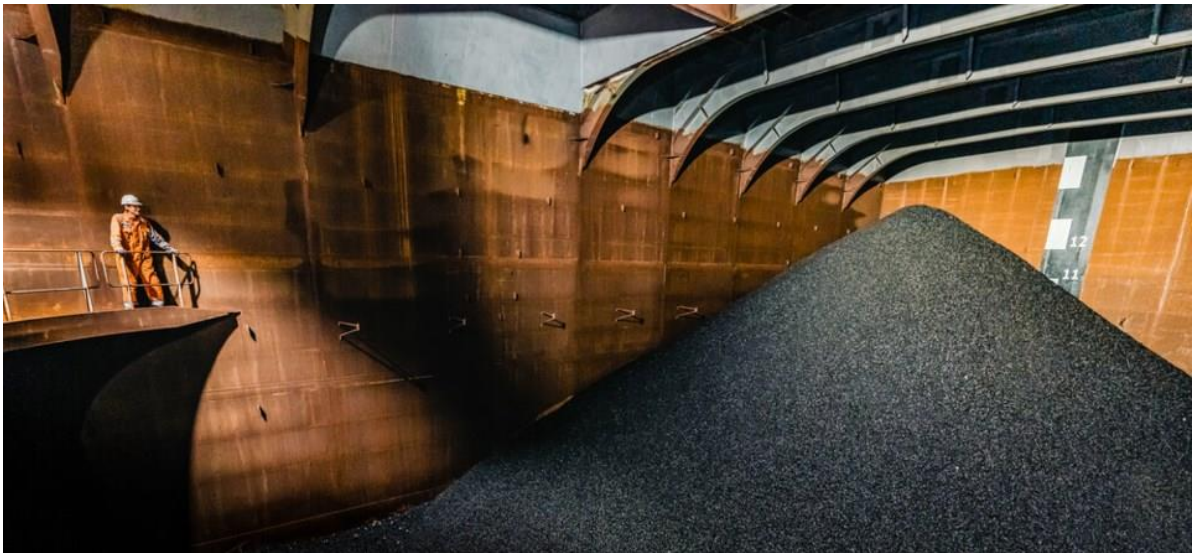
- Τη συγκέντρωση του αναλυόμενου υλικού από τα συστήματα μεταφοράς.
- Την εκτέλεση διαχωρισμού και επεξεργασίας του μεταλλεύματος από το πρώιμο στάδιο του χυλού στην αυτοφυή του μορφή.
- Την αποθήκευση του καθαρού πρώτου προϊόντος είτε εντός χώρων του ιδίου πλοίου είτε τη μεταφορά του σε αντίστοιχα αποθηκευτικά που τα οδηγούν σε εν ξηρά μονάδες επεξεργασίας για τον επιμελή διαχωρισμό των μεταλλικών στοιχείων.



Εικόνα 5.8 Φυγοκεντρικός Διαχωριστής (Πηγή: [https://deepseamining.ac/deep\\_sea\\_mining\\_equipment#gsc.tab=0](https://deepseamining.ac/deep_sea_mining_equipment#gsc.tab=0) )



Εικόνα 5.8 Κυκλικός Διαχωριστής (Πηγή: [https://deepseamining.ac/deep\\_sea\\_mining\\_equipment#gsc.tab=0](https://deepseamining.ac/deep_sea_mining_equipment#gsc.tab=0) )



Εικόνα 5.9 Αποθηκευτικός Χώρος(Πηγή: [https://deepseamining.ac/deep\\_sea\\_mining\\_equipment#gsc.tab=0](https://deepseamining.ac/deep_sea_mining_equipment#gsc.tab=0) )



Πέρα από την εξόρυξη υπάρχουν πλωτές μονάδες υπεύθυνες για την παρακολούθηση διάφορων περιβαλλοντικών δεικτών όπως αιωρούμενα σωματίδια πάνω από τις μηχανές διαχωρισμού και την επανα-εισαγωγή του ιζηματικού χυλού πίσω στον ωκεανό, καθώς και μονάδες που είναι υπεύθυνες για την πλοήγηση, παρακολούθηση και συντήρηση του υποθαλάσσιου εξοπλισμού βιντεοσκόπησης, καταγραφής και συλλογής μεταλλεύματος.

### 5.3.2 Εξοπλισμός βοηθητικών πλοίων και παραδείγματα ενεργών μονάδων

Για την επίτευξη των αρμοδιοτήτων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα πρέπει να υπάρχουν και οι ανάλογες υποδομές. Οι αρμοδιότητες αυτές μπορούν να πραγματοποιηθούν σε μια πλωτή μονάδα ή περισσότερες. Όμως για την επιτυχή απόσπαση και εμπλουτισμό των πολυμεταλλικών κοιτασμάτων πρέπει να υπάρχουν ειδικά διαμορφούμενοι χώροι που θα μπορούν να αποθηκεύουν το μετάλλευμα, μηχανήματα διαχωρισμού των ιζηματικών διαλυμάτων από το μετάλλευμα, μονάδες φυγοκεντρικής, άλλα και υποθαλάσσια οχήματα εξερεύνησης και εγκαταστάσεις για τη μετακίνηση τόσο αυτών όσο και άλλων βαρέων αντικειμένων.

Παραδείγματα αντίστοιχων πλοίων που έχουν χρησιμοποιηθεί για υποθαλάσσιες εκμεταλλεύσεις είναι:

- Το πλοίο της Nautilus Minerals, Nautilus New Era για την έρευνα και μελλοντική εξόρυξη πολυμεταλλικών σβόλων στον Ειρηνικό Ωκεανό.
- Το ρωσικής προέλευσης MV Yuzhmorgeologiya με τους ίδιους στόχους που έχει και το Nautilus N.E..
- Το MV SS Nujoma για την εξόρυξη διαμαντιών στην Ναμίμπια.

## 5.4 Υποθαλάσσια συστήματα εξερεύνησης και παρακολούθησης του βυθού

Η παρακολούθηση των υποθαλάσσιων εξορυκτικών δραστηριοτήτων αποτελεί ενέργεια υψίστης ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση των επιπτώσεων, του περιβαλλοντικού αποτυπώματος την ασφάλεια των εργασιών που πραγματοποιούνται στην εξόρυξη βαθιάς θάλασσας. Τα συστήματα παρακολούθησης που πρέπει να χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν διάφορες τεχνολογίες και εξοπλισμό για τη λεπτομερή καταγραφή και εκτεταμένη ανάλυση των χαρακτηριστικών του βυθού, σε πραγματικό χρόνο.

#### 5.4.1 Οπτικά συστήματα παρακολούθησης

Τα οπτικά συστήματα παρατήρησης απαρτίζονται κυρίως από υποθαλάσσιες κάμερες υψηλής ευκρίνειας και φασματικούς αισθητήρες για την καταγραφή οπτικών δεδομένων από τα βαθιά και σκοτεινά νερά του πυθμένα. Η συλλογή δεδομένων σε αυτές τις συνθήκες είναι ιδιαίτερα δύσκολη, με αποτέλεσμα την ανάγκη για οπτικά και θερμικά εργαλεία που μπορούν να καταγράψουν πράγματα πέρα από το ανθρώπινο μάτι.

Συνήθως βρίσκουν χρήση στην παρακολούθηση των εργασιών εξόρυξης και την καταγραφή των επιπτώσεων σε υπάρχοντα οικοσυστήματα και στο γύρω περιβάλλον. Τα δεδομένα από τις κάμερες μπορούν να επεξεργάζονται σε πραγματικό χρόνο για την ανίχνευση πιθανών αλλαγών σε δείκτες φυσικής ισορροπίας (π.χ. σωματίδια ανά κυβικό νερό, δείκτης pH).

#### 5.4.2 Συστήματα παρακολούθησης ήχων και υπέρηχων

Με το όρο ηχητικά συστήματα παρακολούθησης αναφερόμαστε σε συστήματα όπως υδροφόρα και συστοιχίες ηχομέτρων που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή των ηχητικών και υπερηχητικών δεδομένων από την περιοχή της εξόρυξης και τα περιβάλλοντα οικοσυστήματα.

Ως κύριος ρόλος τους είναι ότι, βοηθούν στην ανίχνευση και αξιολόγηση των επιπτώσεων των εξορυκτικών δραστηριοτήτων που προκαλούν δονήσεις και ηχητικά κύματα, δύο φαινόμενα που αξιοποιούνται και από διάφορους οργανισμούς για την επικοινωνία μεταξύ τους, την αναζήτηση τροφής και πλοήγηση στο περιβάλλον γύρω τους.

#### 5.4.3 Συστήματα παρακολούθησης ιζημάτων

Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της διασποράς των ιζημάτων που προκαλούνται από τις εξορυκτικές δραστηριότητες. Απαρτίζονται κυρίως από αισθητήρες αγωγιμότητας, θερμοκρασίας και βάθους (CTD). Με αυτά τα δεδομένα οι εν δυνάμει ερευνητικές ομάδες μπορούν να δημιουργήσουν μοντέλα πρόβλεψης για την έκταση και τη συγκέντρωση των ιζημάτων στα διάφορα υδάτινα στρώματα, τον πυθμένα και ποιες επιπτώσεις θα επιφέρει αυτή η διασπορά.

#### 5.4.4 Ηλεκτρικά Συστήματα Αντίστασης και Δυναμικού

Τα εν λόγω συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως για την παρακολούθηση θερμοκρασιακών μεταβολών και αλλαγές στην αγωγιμότητα κάτω από τον βυθό της

θάλασσας. Αυτά τα συστήματα παρέχουν λεπτομερείς πληροφορίες για τις γεωλογικές και γεωχημικές συνθήκες μιας περιοχής.

#### 5.4.5 Συστήματα Συνεργατικής Λειτουργίας Υποβρυχίων (Comparative Submersible Systems)

Τα συστήματα συνεργατικής λειτουργίας υποβρυχίων πραγματοποιούν συνδυαστική χρήση επανδρωμένων και μη επανδρωμένων υποβρυχίων για την αποτελεσματική παρακολούθηση και ανάλυση περιοχών σε μεγάλες και μικρές κλίμακες. Χρησιμοποιούν συντονισμένη λειτουργία μεταξύ διαφόρων οχημάτων για την καταγραφή δεδομένων και την αξιολόγηση των αντίστοιχων περιβαλλοντικών επιπτώσεων που μπορεί να επιφέρει η διαταραχή από την εκμετάλλευση των πολυμεταλλικών κοιτασμάτων.

## Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα για την εξόρυξη βαθιάς θάλασσας

Η εξόρυξη βαθιάς θάλασσας αποτελεί ένα από τα πιο σύγχρονα και σοβαρά ζητήματα που είναι άμεσα συνδεδεμένο με τις αυξανόμενες ανάγκες της ανθρωπότητας για πρώτες ύλες, ειδικότερα τα κρίσιμα μεταλλικά στοιχεία μέσα στα πολυμεταλλικά κοιτάσματα. Ταυτόχρονα δημιουργεί σημαντικές θεσμικές προκλήσεις ανάμεσα στους αρμόδιους οργανισμούς και τους ενδιαφερόμενους, καθώς παρά τα ποικίλα και πολυετή πειράματα που διεξήχθησαν στα σημεία του πυθμένα που εντοπίζονται αυτά τα κοιτάσματα, η ανθρωπότητα και οι ερευνητές της δεν έχουν πλήρως κατανοήσει τη βαρύτητα ή και τις επιπρόσθετες συνέπειες που μπορούν να παρουσιαστούν κατά ή και μετά από την απόσπαση των πολυμεταλλικών κοιτασμάτων.

Ο αντίποδας στο εν λόγω εγχείρημα είναι οι υπάρχουσες επιφανειακές και υπόγειες εκμεταλλεύσεις. Υποστηρίζεται από ειδικούς ότι η αξιοποίηση των υποθαλάσσιων κοιτασμάτων θα φέρει περισσότερα θετικά σε σχέση με τα επιφανειακά έργα καθώς όχι μόνο οι περιεκτικότητες των αποθέσεων ανά τετραγωνικό είναι πολλαπλάσιες στον πυθμένα, αλλά επιφέρουν και λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ένα συμπέρασμα που μας οδηγεί ένα βήμα πιο κοντά στην ανεξαρτητοποίηση από τις ενεργειακές και πρακτικές μας ανάγκες από τα ορυκτά καύσιμα.

Η πολυδιάστατη φύση από ένα εγχείρημα μεταλλευτικών δραστηριοτήτων και πόσο μάλλον αυτών που εν δυνάμει θα πραγματοποιούνται σε χιλιάδες μέτρα βάθος οδηγεί σε συμπεράσματα που δεν έχουν ξεκάθαρα πλαίσια στο αν αυτές θα είναι περισσότερο πρόσφορες ή επιβλαβείς, μέχρι να μετρηθούν οι ανάλογοι δείκτες στην πράξη.

Το κεφάλαιο των συμπερασμάτων θα διαιρεθεί σε ενότητες που θα αποδίδουν συμπεράσματα για κάθε ένα από τα κεφάλαια / ζητήματα που συντελούν αυτήν την διπλωματική.

### 6.1 Συμπεράσματα για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εξόρυξης βαθιάς θάλασσας είναι ένα από τα κυριότερα ζητήματα που απασχολούν το μέλλον του ανθρώπου και τη μοίρα των πολυμεταλλικών κοιτασμάτων. Τείνουν να επηρεάσουν τόσο τη θαλάσσια ζωή όσο και τα οικοσυστήματα που τη φιλοξενούν.

### 6.1.1 Διατάραξη του Θαλάσσιου Πυθμένα

Η μελέτη της αρχικής και τελικής κατάστασης του πυθμένα αποτελεί ένα από τα πρώτα στάδια για τη μέτρηση του βαθμού διαταραχής που προκαλείται κατά την απόσπαση της πρώτης ύλης. Η καταβύθιση των μηχανικών συλλεκτών και η λειτουργία του εξοπλισμού προκαλούν σημαντικές δονήσεις και θορύβους που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά τους θαλάσσιους οργανισμούς. Η απόσπαση υλικών από το θαλάσσιο πυθμένα μπορεί να προκαλέσει σημαντική αλλοίωση στα υποθαλάσσια οικοσυστήματα, τα οποία λόγω του χώρου δημιουργίας τους χρειάζονται χιλιάδες χρόνια για να ανακάμψουν και να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση, καθώς σε πολλά από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν, τα ίχνη από τους συλλέκτες και τη δράση τους ήταν εμφανή ακόμη και δεκαετίες μετά την απόσπαση της πρώτης ύλης.

### 6.1.2 Απελευθέρωση Ρύπων

Ένας ακόμη παράγοντας που ενδέχεται να κάνει την εμφάνισή του κατά την εξόρυξη και την επεξεργασία των υλικών είναι η αποβολή ή και τυχαία διαρροή ρυπογόνων ουσιών στο περιβάλλον. Η καθημερινή ή και αδιάκοπη λειτουργία του μεταλλευτικού εξοπλισμού μπορεί να οδηγήσει στην απελευθέρωση τοξικών ρύπων, λιπαντικών ουσιών (λόγω διαρροών) και βαρέων μετάλλων στο θαλάσσιο περιβάλλον, θέτοντας σε κίνδυνο τη θαλάσσια χλωρίδα και πανίδα και τους φυσικοχημικούς μηχανισμούς που συγκροτούν τα υποθαλάσσια οικοσυστήματα. Πέρα από αυτές τις ουσίες, η επαναπόθεση του ιζήματος που προκύπτει από τον καθαρισμό της πρώτης ύλης, ενδέχεται να προκαλέσει παρόμοιες διαταραχές, οι οποίες είναι άμεσα εξαρτώμενες από το ύψος απελευθέρωσης σε σχέση με τον πυθμένα.

## 6.2 Τεχνολογικές Προκλήσεις

Η εξόρυξη βαθιάς θάλασσας μπορεί να έχει πραγματοποιηθεί σε πειραματική κλίμακα όμως ο άνθρωπος είναι ακόμη σε πρώιμα στάδια του εγχειρήματος, με απώτερο στόχο να πέτυχει τις περιβαλλοντικές βλέψεις που επιβάλλονται. Η επίτευξη όλων αυτών απαιτεί την ανάπτυξη από νέες τεχνολογίες και καινοτόμα συστήματα που θα μπορούν να αποσπάσουν τον στόχο τους, από την αρχική του θέση προκαλώντας όσο λιγότερες επιπτώσεις γίνεται στον περιβάλλοντα χώρο.

### 6.2.1 Υποθαλάσσιοι Συλλέκτες

Οι υποθαλάσσιοι συλλέκτες κατέχουν κεντρικό ρόλο σε μια εκμετάλλευση βαθιάς θάλασσας. Για την εύρεση του πιο αποδοτικού μέσου, έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι συλλεκτών, όπως υδραυλικοί και μηχανικοί, που μπορούν να συλλέξουν πολυμεταλλικά κοιτάσματα με αποτελεσματικότητα και ελάχιστη περιβαλλοντική επιβάρυνση. Εντός αυτών, τα ρομποτικά συστήματα διαλογής προσφέρουν ακριβέστερη και πιο βιώσιμη λύση για την εξόρυξη των πρώτων υλών, έχοντας όμως και τις περισσότερες απαιτήσεις για να λειτουργήσουν.

### 6.2.2 Συστήματα Μεταφοράς Υλικών

Οι καινοτόμες τεχνολογίες ανάσυρσης σβόλων και άλλων τύπων πολυμεταλλικών κοιτασμάτων, όπως το Riser Air Lift System (RAS) και τα υδραυλικά συστήματα μεταφοράς, βελτιώνουν την απόδοση στην απόληψη των πρώτων υλών και μειώνουν τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο της διαδικασίας εξόρυξης.

## 6.3 Θεσμικό Πλαίσιο και τι θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη οι αρμόδιοι

Όπως και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, έτσι και το θεσμικό πλαίσιο αποτελεί ένα από τα βασικότερα εμπόδια στην έναρξη των εξορυκτικών ενεργειών. Η εξόρυξη βαθιάς θάλασσας απαιτεί ένα ισχυρό και σαφές πλαίσιο οδηγιών που θα διασφαλίζει την ισορροπία μεταξύ της εκμετάλλευσης των πόρων, της προστασίας του περιβάλλοντος και την υγιή ανάπτυξη σχέσεων συνεργασίας ανάμεσα στα κράτη που κατέχουν πολυμεταλλικές εκτάσεις και τις ενδιαφερόμενες μεταλλευτικές εταιρίες που επιθυμούν να εμπορευτούν τα κοιτάσματα αυτά.

### 6.3.1 Διεθνείς Κανονισμοί

Οι διεθνείς οργανισμοί, όπως η Διεθνής Αρχή για τη διαχείριση του θαλάσσιου πυθμένα (ISA), οφείλουν να διαμορφώσουν κανονισμούς και πρότυπα για την ασφαλή και βιώσιμη εξόρυξη των θαλάσσιων πόρων. Κατά τη σύνταξη του όποιου πλαισίου πρέπει να παρουσιάζεται μια εμφανή ισορροπία ανάμεσα στους παράγοντες και τα πρόσωπα τα οποία αφορά.

### 6.3.2 Εθνικές Νομοθεσίες

Εκτός των διεθνών αρμόδιων οργανισμών κάθε χώρα που εμπλέκεται στην εξόρυξη βαθιάς θάλασσας πρέπει να αναπτύξει εθνικές πολιτικές και κανονισμούς / νόμους που θα συμμορφώνονται με τα διεθνή πρότυπα και θα προστατεύουν τα εθνικά της συμφέροντα.

## 6.4 Τελικά συμπεράσματα

Η εξόρυξη βαθιάς θάλασσας προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες για την άντληση πολύτιμων και «άφθονων» πρώτων υλών, απαραίτητων για την τεχνολογική και οικονομική ανάπτυξη. Ωστόσο, συνοδεύεται από σοβαρές περιβαλλοντικές και θεσμικές προκλήσεις που απαιτούν προσεκτικό σχεδιασμό και διεθνή συνεργασία για την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων. Η βιώσιμη ανάπτυξη, αλλά και η διατήρηση της αρχικής περιβαλλοντικής ισορροπίας πρέπει να παραμείνουν στον πυρήνα κάθε προσπάθειας για την εκμετάλλευση των θαλάσσιων πόρων, χωρίς αυτές να επισκιάζονται από βραχυπρόθεσμες και βιαστικές αποφάσεις στο όνομα της πράσινης ανάπτυξης και άλλων εγχειρημάτων που τείνουν να αναστρέψουν τη δυσχερή εικόνα περιβαλλοντικής, μεταλλευτικής, κοινωνικής και νομικά θεσμικής σύγχυσης που επικρατεί γύρω από κάθε νέο και παλαιό εγχείρημα αξιοποίησης ορυκτών πόρων.

## Βιβλιογραφία

- Alhaddad, S., Mehta, D., Helmons, R., (2023) Mining of deep-seabed nodules using a Coanda-effect-based collector
- Amann, H., 1982. Technological trends in ocean mining. *Philos. Trans. R. Soc. London*, A(307)1499: 377--403.
- Amann, H., 1985. Development of ocean mining in the Red Sea. *Mar. Min.*, 5: 103-I 16.
- Ardon, J.A., (2008) The challenge of assessing whether the OSPAR Network of Marine Protected Areas is ecologically coherent
- Attard, D.J., Fitzmaurice, M., Norman A. Martínez Gutiérrez, (2014) IMO International Maritime Law Institute
- Baillon, S., Hamel, J. F., Wareham, V. E., and Mercier, A. (2012). Deep cold-water corals as nurseries for fish larvae. *Front. Ecol. Environ.* 10:351–356.
- Barnes, R., Barrett, R., (2016) The Continuing Vitality of UNCLOS
- Cairncross, B., Beukes, N.J., (2013) The Kalahari Manganese Field. Struik Nature Ltd., Cape Town, 383 p
- Chenjie, X., Chen, Y., Zhang, W., Lin, C., Tao, J., Lin, Y., Li, J., Kolosov, O.V., Huang, Z., 2023, Tunable electrical field-induced metal-insulator phase separation in LiCoO<sub>2</sub> synaptic transistor operating in post-percolation region
- Chester, R. & Jickells, T. (2012) *Marine geochemistry*. 3<sup>rd</sup> edition edn Oxford: Wiley-Blackwell
- Cherkashov, G., Smyslov A., Soreide F. (2013) Fe-Mn nodules of the Finnish bay (Baltic Sea): exploration and exploitation experience. In: Morgan CL (ed) Recent developments in Atlantic seabed minerals exploration and other topics of timely interest. The Underwater Mining Institute, Rio de Janeiro, 4 p
- Boehlert, G. W., and Genin, A. (2013). A review of the effects of seamounts on biological processes. *Geophys. Monogr.* 43, 319–334.
- Brown, A., and Thatje, S. (2014). Explaining bathymetric diversity patterns in marine benthic invertebrates and demersal fishes: physiological contributions to adaptation of life at depth. *Biol. Rev.* 89, 406–426.



- Costello, M. J., and Breyer, S. (2017). Ocean depths: the mesopelagic and implications for global warming. *Curr. Biol.* 27, R36–R38.
- Creasey, S. S., and Rogers, A. D. (2008). Population genetics of bathyal and abyssal organisms. *Adv. Mar. Biol.* 35, 1–151.
- Danovaro, R., Corinaldesi, C., Dell'Anno, A., and Snelgrove, P. V. R. (2017). The deep-sea under global change. *Curr. Biol.* 27, R461–R465.
- Desbruyères, D., Segonzac, M., and Bright, M. (2006). *Handbook of Deep-Sea Hydrothermal Vent Fauna*. Linz: Biologiezentrum der Oberösterreichischen Landesmuseen
- Fuchida S. et al., (2018). Onboard experiment investigating metal leaching of fresh hydrothermal sulfide cores into seawater. *Geochem. Trans.* 19, 15
- Gage, J. D., and Tyler, P. A. (1992). *Deep-Sea Biology: A Natural History of Organisms at the Deep-Sea Floor*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Glasby, GP, (2006) Manganese: predominant role of nodules and crusts. In: Schulz HD, Zabel M(eds) *Marine geochemistry*. Springer, Heidelberg, pp 371–428
- Glasby, GP, Emelyanow EM, Zhamoida VA, Baturin GN, Leipe T, Bahlo R and Bonacker P (1997) Environments of formation of ferromanganese concretions in the Baltic Sea: a critical review. In: Nickelson K., Hein J.R., Bühn B., Dasgupta S. (eds) *Manganese mineralization: geochemistry and mineralogy of terrestrial and marine deposits*. *Geol. Soc. Spec. Publ. No. 119*, pp 213–238
- González, F.J., Somoza, L, Leon R., Medialdea, T., de Torres, T., Ortiz JE, Lunar R, Martínez-Frías, J., Merinero, R., (2012) Ferromanganese nodules and micro-hardgrounds associated with the Cadiz Contourite Channel (NE Atlantic): palaeoenvironmental records of fluid venting and bottom currents. *Chem Geol* 310–311:56–78
- González, J., Somoza, L., Lunar R., Martínez-Frías, J., Medialdea, T., León, R., Martín-Rubí, J.A., Torres, T., Orti, J.E., Marino, E., (2014) Polymetallic ferromanganese deposits research on the Atlantic Spanish continental margin. In: Hein JR, Barriga FJAS, Morgan, CL (eds) *Harvesting seabed minerals resources in harmony with nature*. UMI, Lisbon, Portugal

- Gray, J. S. (1997). Marine biodiversity: patterns, threats and conservation needs. *Biodivers. Conserv.* 6, 153–175.
- Gunderson, L. H. (2002). Ecological Resilience—In theory and application. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 31, 425–439.
- Halbach, P. (1984) 'Deep-sea metallic deposits'. *Ocean Management*, 9 (1), pp. 35-60.
- Halbach, P., Friedrich, G. & von Stackelberg, U. (1988) The manganese nodule belt of the Pacific Ocean: Geological environment, nodule formation, and mining aspects. Stuttgart: F. Enke.
- Halbach, P., Scherhag, C., Hebisch, U. & Marchig, V. (1981) 'Geochemical and mineralogical control of different genetic types of deep-sea nodules from the Pacific Ocean'. *Mineralium Deposita*, 16 (1), pp. 59-84.
- Halbach, P. E., Jahn, A. & Cherkashov, G. (2017a) 'Marine Co-rich ferromanganese crust deposits: Description and formation, occurrences and distribution, estimated worldwide resources', *Deep-Sea Mining*. Springer, pp. 65-141.
- Halbach, P. E., Jahn, A. & Cherkashov, G. (2017b) 'Marine Co-rich ferromanganese crust deposits: Description and formation, occurrences and distribution, estimated worldwide resources', in223 Sharma, R. (ed.) *Deep-Sea Mining: Resource Potential, Technical and Environmental Considerations*. Cham: Springer International Publishing, pp. 65-141
- Hein, J. R., Mizell, K., Koschinsky, A. & Conrad, T. A. (2013) 'Deep-ocean mineral deposits as a source of critical metals for high- and green-technology applications: Comparison with landbased resources'. *Ore Geology Reviews*, 51 pp. 1-14.
- Hein, J. R. & Petersen, S. (2013) The geology of manganese nodules. Secretariat of the Pacific Community.
- Hein, J. R. Spinardi, F., Okamoto N., Mizell, K., Thorburn, D., Tawake, A., (2015) Critical metals in manganese nodules from the Cook Islands EEZ, abundances and distributions
- Herzig, Peter M., Hannington Mark D. (1995) Polymetallic massive sulfides at the modern seafloor

- Holling, C. S. (1996). "Engineering resilience versus ecological resilience," in *Engineering Within Ecological Constraints*, ed. P. Schulze (Washington DC: National Academy of Sciences).
- ISA (2023) *The Contribution of the International Seabed Authority to the Achievement of the 2030 Agenda for the Sustainable Development*
- Kanazawa, Y. & Kamitani, M. (2006) 'Rare earth minerals and resources in the world'. *Journal of alloys and compounds*, 408 pp. 1339-1343
- Koschinsky, A. & Hein, J. R. (2003) 'Uptake of elements from seawater by ferromanganese crusts: solid-phase associations and seawater speciation'. *Marine Geology*, 198 (3), pp. 331-351
- Kuhn, T., Bau, M., Blum, N., Halbach, P., (1998) Origin of negative Ce anomalies in mixed hydrothermalhydrogenetic Fe–Mn crusts from the Central Indian Ridge. *Earth Planet Sci Lett* 163:207–220
- Kuhn, T., Burger, H., Castradori, D., Halbach, P., (2000) Tectonic and hydrothermal evolution of ridgesegments near the Rodrigues Triple Junction (Central Indian Ocean) deduced from sediment geochemistry. *Mar Geol* 169:391–409
- Kuhn, T., Bostick, B.C., Koschinsky, A., Halbach, P., Fendorf, S., (2003) Enrichment of Mo in hydrothermal Mn precipitates: possible Mo sources, formation process and phase associations. *Chem Geol* 199:29–43
- Levin, L. A., Sibuet, M., Gooday, A. J., Smith, C. R., and Vanreusel, A. (2010). The roles of habitat heterogeneity in generating and maintaining biodiversity on continental margins: an introduction. *Mar. Ecol.* 31, 1–5.
- Lilley, M.D., Feely, R.A., Trefry, J.H., (1995) Chemical and biochemical transformations in hydrothermal plumes. In: Humphris SE, Zierenberg RA, Mullineaux LS, Thomson RE (eds)
- Seafloor hydrothermal systems. Geophys. Monogr.* 91, Am. Geophys. Union, Washington, pp 369–391
- Martin A. et al., (2020) The oceans' twilight zone must be studied now, before it is too late. *Nature* 580, 26–28.

- Mero, J.L., (1977) Economic Aspects of Nodule Mining
- Molenaar, E.J., Elferink A.G.O., (2009) Marine protected areas in areas beyond national jurisdiction. The pioneering efforts under the OSPAR Convention
- Mora, C., Tittensor, D. P., Adl, S., Simpson, A. G., and Worm, B. (2011). How many species are there on earth and in the ocean?
- Murray, J. & Renard, A. (1891a) Report on deep sea deposits based on the specimens collected during the voyage of HMS Challenger in the years 1872-1876'. ed. nodules, O.o.t.m.a.m., Report on deep sea deposits based on the specimens collected during the voyage of HMS Challenger in the years 1872-1876
- Murray, J. & Renard, A. F. (1891b) Report on deep-sea deposits based on the specimens collected during the voyage of HMS Challenger in the years 1872 to 1876. HM Stationery Office
- Mustafa, H.E., Nawab, Z., Horn, R. and Le Mann, F., 1984. Economic interest of hydrothermal deposits: Atlantis II project. Proc. 2nd Int. Seminar Offshore Mineral Resources. Brest, France, pp. 509-539
- Oliver, T. H., Heard, M. S., Isaac, N. J. B., Roy, D. B., Procter, D., Eigenbrod, F., et al. (2015). Biodiversity and resilience of ecosystem functions. *Trends Ecol. Evol.* 30, 673–684
- Paulikas, D., Katona, S., Ilves, E., Stone, G., O'Sullivan, A., (2020) WHERE SHOULD METALS FOR THE GREEN TRANSITION COME FROM? Comparing Environmental, Social and Economic Impacts of Supplying Base Metals from Land Ores and Seafloor Polymetallic Nodules
- Prasad M.S., Indian exploration for polymetallic nodules in the Central Indian Ocean, Goa403004
- Roberts, J., (2022) Harmful Marine Extractives: Understanding the risks & impact if financing non-renewable extractive industries
- Roberts, C. M. (2002). Deep impact: the rising toll of fishing in the deep sea. *Trends Ecol. Evol.* 17, 242–245

- Rogers, T.D.S., Hodkinson, R.A., Cronan, D.S., (2001) Hydrothermal manganese deposits from the Tonga-Kermadec Ridge and Lau Basin Region, Southwest Pacific. *Mar Geores Geotechnol* 19:245–268
- Rudnick, R. L., & Gao, S. (2003). Composition of the continental crust. In H. D. Holland, & K. K. Turekian (Eds.), *Treatise on Geochemistry* (pp. 1–64). B.V.: Elsevier
- Sharma, R., (2015) *Environmental Issues of Deep Sea Mining*
- Sharma, R., (2018) *Deep-Sea Mining: Resource Potential, Technical and Environmental Considerations*
- Smith, C. R., and Demopoulos, A. W. J. (2003). “The deep Pacific Ocean floor,” in *Ecosystems of the Deep Oceans*, ed. P. A. Tyler (Amsterdam: Elsevier), 179–218.
- Smith, C. R., De Leo, F. C., Bernardino, A. F., Sweetman, A. K., and Arbizu, P. M. (2008). Abyssal food limitation, ecosystem structure and climate change. *Trends Ecol. Evol.* 23, 518–528.
- Steneck, R. S., Graham, M. H., Bourque, B. J., Corbet, D., and Erlandson, J. M. (2002). Kelp forest ecosystems: biodiversity, stability, resilience and future. *Environ. Conserv.* 29, 436–459.
- Stocks, K. I., and Hart, P. J. (2007). “Biogeography and biodiversity of seamounts,” in *Seamounts: Ecology, Fisheries, and Conservation*, Vol. 12, eds T. J. Pitcher, T. Morato, P. J. B. Hart, M. R. Clark, N. Haggan, and R. S. Santos (Oxford: Blackwell), 255–281.
- Stumm, W., Morgan, J.J., (1981) *Aquatic chemistry: an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters*, 2nd edn. Wiley, New York, p 780
- Thiel, H., Umweltschutz F.T., (2001) Evaluation of the environmental consequences of polymetallic nodule mining based on the results of the TUSCH Research Association
- Thistle, D. (2003). “The deep-sea floor: an overview,” in *Ecosystems of the Deep Oceans*, ed. P. A. Tyler (Amsterdam: Elsevier), 5–38
- Van Dover, C.L., Arnaud-Haond, S., Gianni, M., Helmreich, S., Huber, J.A., Jaekel, A.I., Metaxas, A., Pendleton, L.H., Petersen, S., Ramirez-Llodra, E., Steinberg, P.E., Tunnicliffe, V., Yamamoto, H., (2018) Scientific rationale and international

obligations for protection of active hydrothermal vent ecosystems from deep-sea mining

Visbeck, M., Kronfeld-Goharani, U., Neumann, B., Rickels, W., Schmidt, J., van Doorn, E., Matz-Lück, N. & Proelss, A. (2014) 'A sustainable development goal for the ocean and coasts: global ocean challenges benefit from regional initiatives supporting globally coordinated solutions'. *Marine Policy*, 49 pp. 87-89.

Webb T. J., Vanden Berghe E., O'Dor R., (2010). Biodiversity's big wet secret: The global distribution of marine biological records reveals chronic under-exploration of the deep pelagic ocean. *PLoS One* 5, e10223

Wegorzewski, A., Kuhn, T., Dohrmann, R., Wirth, R. & Grangeon, S. (2015) 'Mineralogical characterization of individual growth structures of Mn nodules with different Ni+Cu content from the Pacific Ocean'. *American Mineralogist*, 100 pp. 2497-2508.

Wegorzewski, A. V. & Kuhn, T. (2014) 'The influence of suboxic diagenesis on the formation of manganese nodules in the Clarion Clipperton nodule belt of the Pacific Ocean'. *Marine Geology*, 357 pp. 123-138

Wycliff, T. (2021) Rare metal resources in polymetallic nodules from the Eastern Equatorial Pacific Ocean

Zorpette, G., (2022) The Seabed Solution: After 150 years, is the time finally right for deep-ocean mining?