



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών  
Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
*«Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»*

---

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

## *«ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΠΟ ΔΙΑΡΡΟΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΕΙΔΩΝ»*

του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

**Παπαγιαννάκη Αναστάσιου**

Επιβλέπων

**Ζαννίκος Φανούριος**

Καθηγητής Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.



<b>ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:</b>	<b>«ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΠΟ ΔΙΑΡΡΟΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΕΙΔΩΝ»</b>
<b>ΦΟΙΤΗΤΗΣ:</b>	<b>Παπαγιαννάκης Αναστάσιος</b>
<b>ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:</b>	<b>Ζαννίκος Φανούριος</b>
	<b>Καθηγητής Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.</b>
<b>ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ:</b>	<b>2021-2022</b>

## Σύνοψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία πραγματεύεται ζητήματα πρωταρχικής σημασίας που ανακύπτουν κατόπιν της επέλευσης ενός συμβάντος διαρροής πετρελαιοειδών στη θάλασσα. Πρώτα, διερευνάται το ρυθμιστικό πλαίσιο που διέπει την έγκριση «τύπου» των Χημικών Διασκορπιστικών Ουσιών (Χ.Δ.Ο.) ως μέσου αντιμετώπισης θαλάσσιας ρύπανσης σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και σε έτερες χώρες με σημαντικό μερίδιο διακίνησης προϊόντων πετρελαίου. Για αυτόν τον σκοπό παρατίθενται οι απαιτούμενες φυσικές ιδιότητες των Χ.Δ.Ο. όπως και λεπτομέρειες διεξαγωγής των δοκιμών αποτελεσματικότητας IFP (Institut National du Pétrole), MNS (Mackay – Nadeau - Steelman), WSL (Warren Spring Laboratory), BFT (Baffled Flask Test) και SFT (Swirling Flask Test), οι δοκιμές τοξικότητας και βιοαποικοδόμησης στις οποίες υποβάλλονται οι Χ.Δ.Ο. Επιπρόσθετα, αναλύονται οι συνιστώσες κόστους ενός περιστατικού διαρροής πετρελαίου, ήτοι το κόστος απορρύπανσης, οι κοινωνικοοικονομικές απώλειες και τα περιβαλλοντικά κόστη. Στη συνέχεια παρατίθενται βιβλιογραφικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν για τον υπολογισμό των ανωτέρω κατηγοριών κόστους καθώς και οι προτεινόμενοι από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (ΙΜΟ) σχετικοί τύποι υπολογισμού στα πλαίσια εκπόνησης μιας μελέτης FSA (Formal Safety Assessment), ενώ γίνεται και σχετική μνεία για τις ποινικές και διοικητικές κυρώσεις εναντίων των υπαιτίων θαλάσσιας ρύπανσης στην Ελλάδα. Τέλος, ως ένα σημαντικό μέρος του κόστους μιας πετρελαιοκηλίδας, διερευνώνται τα είδη των αποβλήτων που δημιουργούνται συνέπεία της καθώς και οι τρόποι χειρισμού, μεταφοράς επεξεργασίας και τελικής διάθεσής τους.

## Περίληψη

Στη σημερινή εποχή, η μεταφορά της μεγαλύτερης ποσότητας του πετρελαίου πραγματοποιείται δια θαλάσσης και συγκεκριμένα μέσω των δεξαμενοπλοίων. Τα ναυτικά ατυχήματα αυτών των πλοίων μπορούν να αποτελέσουν την αιτία απόρριψης μεγάλων ποσοτήτων πετρελαιοειδών προϊόντων στη θάλασσα. Θαλάσσια ρύπανση μπορεί να προκληθεί και από λειτουργικές διαδικασίες των δεξαμενόπλοιων και ως συνέπεια ατυχήματος σε εξέδρες άντλησης πετρελαίου υποθαλάσσιων κοιτασμάτων.

Η ρύπανση από πετρελαιοειδή αποτελεί μια από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές απειλές του πλανήτη, προκαλώντας αρνητικές επιδράσεις στη χλωρίδα, την πανίδα και σε τομείς ανθρώπινης δραστηριότητας όπως η αλιεία και ο τουρισμός. Η αντιμετώπιση της θαλάσσιας ρύπανσης αποτελεί συχνά αντικείμενο ενός εκ των προτέρων εκπονημένου Σχεδίου Έκτακτης Ανάγκης και απαιτεί την κινητοποίηση σημαντικού αριθμού προσωπικού και μέσων.

Η χημική σύσταση των διακινούμενων πετρελαιοειδών προϊόντων συνιστά τον κυριότερο παράγοντα πρόβλεψης της συμπεριφοράς τους όταν διαρρεύσουν στο θαλάσσιο περιβάλλον. Με την χρησιμοποίηση του όρου «συμπεριφορά» νοείται η «γήρανση» του πετρελαίου, δηλαδή μια σειρά διεργασιών (όπως η εξάτμιση, ο διασκορπισμός, η φωτοχημική οξειδωση) που επιβάλλουν αλλαγή των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του, που με τη σειρά της καθορίζει σε ισχυρό βαθμό τις μεθόδους καταπολέμησης μιας πετρελαιοκηλίδας.

Μια από τις πρωταρχικές μεθόδους αντιμετώπισης της πετρελαϊκής ρύπανσης, που εφαρμόστηκε κατά κόρον στην πετρελαιοκηλίδα του Deerpwater Horizon το 2010, είναι η χρήση Χημικών Διασκορπιστικών Ουσιών (Χ.Δ.Ο.), οι οποίες προάγουν τον διασκορπισμό του πετρελαίου στην στήλη του ύδατος μέσω της δράσης των επιφανειοδραστικών παραγόντων που περιέχουν. Ωστόσο, η χρήση Χ.Δ.Ο. απαιτεί συχνά την προηγούμενη έγκρισή τους από το κράτος στα χωρικά ύδατα του οποίου λαμβάνει χώρα μια ρύπανση από πετρέλαιο. Η έγκριση «τύπου» αποτελείται κυρίως από δοκιμές αποτελεσματικότητας, στις οποίες οι εν λόγω ουσίες υποβάλλονται για να επιδείξουν ένα ελάχιστο όριο αποτελεσματικότητας και από δοκιμές τοξικότητας κατά τις οποίες θαλάσσιοι οργανισμοί εκτίθενται στις Χ.Δ.Ο. με σκοπό να διαπιστωθεί αν πληρούν τα κριτήρια ενός μέγιστου αποδεκτού επιπέδου τοξικής συγκέντρωσης. Οι κυριότερες δοκιμές αποτελεσματικότητας είναι οι IFP (Institut National du Pétrole), MNS (Mackay – Nadeau- Steelman), WSL (Warren Spring Laboratory), BFT (Baffled Flask Test) και SFT (Swirling Flask Test).

Εκτός της χρησιμοποίησης χημικών διασκορπιστικών ουσιών, μια επιχείρηση απορρύπανσης μπορεί να περιλαμβάνει διατάξεις εγκλωβισμού και ανάκτησης πετρελαίου καθώς και την ναύλωση ειδικών πλοίων και πληρωμάτων και αυτό αποτελεί ενδεικτικό του δυσθεώρητου κόστους που αυτή δύναται να εμπεριέχει. Επιπλέον του ανωτέρω κόστους (κόστος απορρύπανσης), μια πετρελαιοκηλίδα προκαλεί κοινωνικοοικονομικές απώλειες σε τομείς που πλήττονται από αυτήν, όπως η αλιεία και ο τουρισμός και την ανάδυση περιβαλλοντικού κόστους, λόγω της υποβάθμισης της περιβαλλοντικής αξίας της πληττόμενης θαλάσσιας περιοχής. Το ολικό κόστος ενός περιστατικού διαρροής πετρελαιοειδών εξαρτάται από πολλές παραμέτρους και είναι δύσκολο να προβλεφθεί. Η βιβλιογραφία προτείνει τη χρήση μοντέλων που στηρίζονται σε ιστορικά δεδομένα παρελθόντων περιστατικών και αποτελούν περισσότερο μια γενική τάση συσχετισμού του κόστους με την απορριφθείσα ποσότητα παρά μια ακριβή μέθοδο υπολογισμού του. Επιπρόσθετα, πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι κυρώσεις (ποινικές και διοικητικές) που οι Αρμόδιες Αρχές επιβάλλουν εναντίον των υπαιτίων θαλάσσιας ρύπανσης.

Συνιστώσα του κόστους απορρύπανσης αποτελεί και η επεξεργασία και τελική διάθεση των πετρελαιοειδών αποβλήτων που συλλέγονται στο πλαίσιο των επιχειρήσεων απορρύπανσης. Τα πετρελαιοειδή απόβλητα μπορεί να είναι είτε υγρά (πετρέλαιο, γαλακτώματα πετρελαίου με νερό) είτε στερεά (συντρίμια πλοίου, τμήματα απωλεσθέντος φορτίου, πλαστικά, άμμος, οργανική ύλη) αναμεμιγμένα με πετρέλαιο. Οι τρόποι επεξεργασίας και διάθεσής τους πρέπει να στηρίζονται στην καθιερωμένη πρακτική της Ιεραρχίας Αποβλήτων.

**POST-GRADUATE THESIS:** «COMBATING MARINE POLLUTION  
FROM OIL SPILLS»

**STUDENT:** Papagiannakis Anastasios

**SUPERVISOR:** Zannikos Fanourios  
Professor, School of Chemical Engineering, National  
Technical University of Athens

**ACADEMIC YEAR:** 2021-2022

## Abstract

The present thesis deals with issues of primary importance that arise in the aftermath of an oil spill incident at sea. First, the regulatory framework that governs the type approval of chemical dispersants, as means of combating marine pollution, is explored, both for E.U. countries and other countries with an important oil traffic share. For this purpose, required physical properties of chemical dispersants are listed, as well as details of conducting effectiveness testing based on IFP (Institut National du Pétrole), MNS (Mackay – Nadeau - Steelman), WSL (Warren Spring Laboratory), BFT (Baffled Flask Test) and SFT (Swirling Flask Test) methods. Also, details of chemical dispersants' toxicity and biodegradation tests are included. Additionally, the cost components of an oil spill incident are analyzed, namely clean-up, socio-economic losses and environmental costs. Models found from literature review and developed for the calculation of the above cost categories are presented, beside the relevant calculation formulas proposed by IMO (International Maritime Organization) in the context of elaborating an FSA (Formal Safety Assessment) study, while a relevant mention is made of the penal and administrative sanctions against those bearing responsibility for an oil spill incident in Greek territorial waters. Finally, as an important part of the cost of an oil spill, the types of generated waste are investigated, as well as the ways of their handling, transport, treatment and final disposal.

## Summary

Nowadays, the transport of the largest amount of oil is carried out by sea, specifically by tankers. Accidents of these ships can be the cause of large quantities of petroleum products being discharged into the sea. Marine pollution can also be caused by tanker operations and as a consequence of accidents on offshore platforms.

Oil pollution is one of the most important environmental threats on the planet, causing negative effects on flora, fauna and areas of human activities such as fishing and tourism. Dealing with marine pollution is often the subject of a Contingency Plan and requires the mobilization of significant number of personnel and resources.

The chemical composition of transported oil products constitutes the main predictor of their behavior when spilled at sea. By using the term “behavior”, is meant the “weathering” of oil, i.e. a series of processes (such as evaporation, disperse, photochemical oxidation) that impose a change in its physicochemical properties, which in turn strongly determine the methods of combating an oil spill.

One of the primary methods of dealing with oil pollution, which was largely applied during the Deepwater Horizon oil spill in 2010, is the use of chemical dispersants that promote the dispersion of oil in the water column through the action of surfactants that they contain. However, the use of chemical dispersants often require their prior approval by the state in whose territorial waters an oil spill occurs. Type approval consists mainly of efficacy tests, in which the chemical substances in question are submitted in order to demonstrate a minimum level of effectiveness, and toxicity tests, in which marine organisms are exposed to dispersants with the aim of determining whether they fulfill the criteria of a maximum acceptable toxic concentration level. The main effectiveness tests are IFP (Institut National du Pétrole), MNS (Mackay – Nadeau - Steelman), WSL (Warren Spring Laboratory), BFT (Baffled Flask Test) and SFT (Swirling Flask Test).

In addition to the use of chemical dispersants, a clean-up operation may include utilizing equipment for containment and recovery of spilled oil, the chartering of specialized vessels and crews and this is indicative of the exorbitant costs that it may involve. Additional to the above cost category (clean-up costs), an oil spill causes socio-economic losses in sectors such as fishing and tourism and the emergence of environmental costs due to the degradation of the environmental value of the affected marine area. The total costs of an oil spill incident depend on many parameters and are difficult to predict. The literature suggests the use of models based on historical data of past incidents and, therefore, they constitute more a general tendency to relate the costs to the quantity spilled than an exact method of their calculation. Moreover, penal and administrative sanctions imposed by the competent national

authorities against those responsible for marine pollution must be taken into account.

A component of the clean-up costs is the treatment and final disposal of oily waste collected in the framework of clean-up operations. Oily waste can be either liquid (oil, oil-in-water emulsions) or solids (such as ship wreckage, parts of lost cargo, plastics, sand, organic matter) mixed with oil. Their processing and disposal methods must be based on the well-established practice of Waste Hierarchy.

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. κ. Ζαννίκο Φανούριο που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα αντικείμενο που άπτεται των ενδιαφερόντων μου, ήτοι την καταπολέμηση της ρύπανσης της θάλασσας από πετρελαιοειδή καθώς και για την πολύτιμη καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια των μηνών που απαιτήθηκαν για την εκπόνησή της παρούσας εργασίας.

Επιπρόσθετα, οφείλω να ευχαριστήσω τα άτομα του οικογενειακού και οικείου περιβάλλοντός μου για την ψυχολογική στήριξη που μου παρείχαν καθόλη τη διάρκεια φοίτησής μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών.





# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΑΠΟΡΡΙΨΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΕΙΔΩΝ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ

1.1	Εισαγωγή.....	1
1.2	Ιδιότητες του πετρελαίου.....	1
1.3	Τύποι πετρελαίων.....	4
1.4	Διεργασίες γήρανσης.....	6
1.4.1	Εξάπλωση.....	7
1.4.2	Εξάτμιση.....	8
1.4.3	Διασπορά.....	9
1.4.4	Γαλακτωματοποίηση.....	10
1.4.5	Διάλυση.....	11
1.4.6	Φωτοχημική οξείδωση.....	11
1.4.7	Καθίζηση.....	12
1.4.8	Βιοαποικοδόμηση.....	13
1.4.9	Συνδυαστικές διεργασίες.....	14
1.5	Αντιμετώπιση της πετρελαϊκής ρύπανσης.....	16
1.5.1	Συγκράτηση και ανάκτηση.....	16
1.5.2	Χημικές Διασκορπιστικές Ουσίες.....	21
1.5.3	Προσοροφητικά υλικά.....	24
1.5.4	Επιτόπου καύση.....	25
1.6	Επιπτώσεις θαλάσσιας ρύπανσης από πετρελαιοειδή.....	27
1.7	Σχέδια έκτακτης ανάγκης για την αντιμετώπιση περιστατικών ρύπανσης από πετρελαιοειδή.....	29
1.8	Εξοπλισμός και οργάνωση παράκτιων εγκαταστάσεων για την προστασία θαλασσίου περιβάλλοντος στην Ελλάδα – Η περίπτωση του λιμένα Ηγουμενίτσας.....	31

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΧΟΡΗΓΗΣΗ ΕΓΚΡΙΣΗΣ «ΤΥΠΟΥ» ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΑΣΚΟΡΠΙΣΤΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

2.1	Εισαγωγή.....	33
2.2	Χορήγηση έγκρισης «τύπου» χημικών διασκορπιστικών ουσιών στη Γαλλία.....	36
2.3	Χορήγηση έγκρισης «τύπου» χημικών διασκορπιστικών ουσιών στη Νορβηγία.....	39
2.4	Χορήγηση έγκρισης «τύπου» χημικών διασκορπιστικών ουσιών στο Ηνωμένο Βασίλειο.....	44
2.4.1	Εισαγωγή.....	44
2.4.2	Δοκιμές αποτελεσματικότητας Baffled Flask Test και Warren Spring Laboratory.....	46
2.4.3	Δοκιμές τοξικότητας Sea Test και Rocky Shore Test.....	49
2.5	Χορήγηση έγκρισης «τύπου» χημικών διασκορπιστικών ουσιών στην Αυστραλία.....	52
2.6	Χορήγηση έγκρισης «τύπου» χημικών διασκορπιστικών ουσιών στις Η.Π.Α.....	56

2.7	Χορήγηση έγκρισης «τύπου» χημικών διασκορπιστικών ουσιών στην Ελλάδα.....	58
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΚΟΣΤΟΣ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΕΙΔΩΝ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ</b>		
3.1	Εισαγωγή – Γενικά.....	61
3.2	Μοντέλο κόστους απορρύπανσης από D.S. Etkin.....	62
3.2.1	Εισαγωγή.....	62
3.2.2	Επίδραση του τύπου πετρελαίου στο κόστος.....	62
3.2.3	Επίδραση του μήκους προσβολής των ακτών στο κόστος.....	64
3.2.4	Επίδραση του είδους του θαλάσσιου χώρου στο κόστος.....	64
3.2.5	Επίδραση του μεγέθους της πετρελαιοκηλίδας στο κόστος.....	65
3.2.6	Επίδραση της μεθόδου απορρύπανσης στο κόστος.....	66
3.2.7	Διαφορές κόστους ανά χώρα.....	67
3.2.8	Αλγόριθμος εκτίμησης κόστους απορρύπανσης.....	68
3.3	Κοινωνικοοικονομικές απώλειες και περιβαλλοντικά κόστη.....	70
3.4	Μοντέλο ολικού κόστους από D.S. Etkin.....	71
3.5	Υπολογισμός κόστους από δεδομένα των ΙΟΡCF.....	72
3.6	Κριτήρια αξιολόγησης περιβαλλοντικού κινδύνου για την πρόληψη ατυχημάτων διαρροής πετρελαίου από τα πλοία.....	74
3.6.1	Formal Safety Assessment.....	74
3.6.2	Περιβαλλοντική αξιολόγηση επιλογών ελέγχου κινδύνου.....	75
3.7	Επιβολή κυρώσεων για παραβάσεις της νομοθεσίας που αφορά στη προστασία του θαλασσιού περιβάλλοντος στην Ελλάδα.....	77
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΕΙΔΗ ΑΠΟΒΛΗΤΑ</b>		
4.1	Εισαγωγή.....	83
4.2	Ιεραρχία Διαχείρισης Αποβλήτων.....	84
4.3	Υγρά πετρελαιοειδή απόβλητα.....	85
4.4	Στερεά απόβλητα.....	87
4.5	Μεταφορά, αποθήκευση και προετοιμασία για διάθεση.....	90
4.6	Επεξεργασία και διάθεση των αποβλήτων.....	92
4.6.1	Εισαγωγή.....	92
4.6.2	Ανάκτηση.....	92
4.6.3	Σταθεροποίηση.....	93
4.6.4	Καύση.....	93
4.6.5	Βιαποκατάσταση.....	94
4.6.6	Υγειονομική ταφή.....	95
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΕΤΑΙΡΩ ΕΡΕΥΝΑ</b>		
5.1	Συμπεράσματα.....	96
5.2	Προτάσεις για περεταιίρω έρευνα.....	97
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>		98
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>		103

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΑΠΟΡΡΙΨΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΕΙΔΩΝ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ

## 1.1 Εισαγωγή

Ως πετρελαιοκηλίδα (oil spill) ορίζεται η απόρριψη πετρελαιοειδών στη θάλασσα από πλοία είτε με πρόθεση είτε ως αποτέλεσμα ατυχήματος. Η απόρριψη πετρελαιοειδών δεν συμβαίνει μόνο στο θαλάσσιο περιβάλλον αλλά μπορεί να πραγματοποιηθεί και στη ξηρά. Ακόμα, η αιτία έναρξης μιας πετρελαιοκηλίδας μπορεί να μην οφείλεται μόνο στα πλοία. Άλλες δραστηριότητες που δύνανται να προκαλέσουν απόρριψη πετρελαίου είναι η εξόρυξη του από τον πυθμένα των ωκεανών, οι διεργασίες που συμβαίνουν κατά τη διύλιση του πετρελαίου, η μεταφορά με αγωγούς μεταφοράς πετρελαίου και ως συνέπεια σεισμικής δραστηριότητας στους πυθμένες των ωκεανών. [22]

Όταν το πετρέλαιο διαρρέει στη θάλασσα, υπόκειται σε μια σειρά από φυσικές και χημικές μεταβολές. Ορισμένες από αυτές τις μεταβολές οδηγούν στην απομάκρυνσή του από τη θαλάσσια επιφάνεια, ενώ άλλες μεταβολές προκαλούν την παραμονή του σε αυτή. Οι κύριοι παράγοντες που επιδρούν στην «τύχη» μιας πετρελαιοκηλίδας είναι η ποσότητα του πετρελαίου που απορρίφθηκε, οι αρχικές φυσικές και χημικές ιδιότητές του, οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες, οι συνθήκες που επικρατούν στη θάλασσα και κατά πόσο η πετρελαιοκηλίδα παραμένει στην ανοιχτή θάλασσα ή προσβάλλει την ακτογραμμή. [23]

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζονται καταρχήν οι κύριες φυσικές ιδιότητες που σχετίζονται με τη συμπεριφορά του πετρελαίου όταν απορριφθεί στη θάλασσα. Συνέπεια της διαφοροποίησης των ιδιοτήτων αυτών είναι η κατηγοριοποίηση του πετρελαίου σε τύπους. Ύστερα, θα εξεταστούν οι διαδικασίες γήρανσης στις οποίες υπόκειται το πετρέλαιο όταν έρχεται σε επαφή με το θαλασσινό νερό. Οι διαδικασίες γήρανσης επηρεάζουν και τους τρόπους αντιμετώπισης μιας πετρελαιοκηλίδας, που θα εξεταστούν στη συνέχεια. Επιπρόσθετα, θα παρατεθεί βιβλιογραφική επισκόπηση σε ό,τι αφορά τις επιπτώσεις των πετρελαιοκηλίδων στα οικοσυστήματα με τα οποία έρχεται σε επαφή. Τέλος, θα επισημανθεί η ανάγκη εκπόνησης Σχεδίων Έκτακτης Ανάγκης για την αντιμετώπιση περιστατικών ρύπανσης της θάλασσας από πετρέλαιο και η σπουδαιότητα ύπαρξης εξοπλισμού από τις λιμενικές εγκαταστάσεις για αυτόν τον σκοπό.

## 1.2 Ιδιότητες του πετρελαίου

Τα αργά πετρέλαια έχουν διαφορετικές προελεύσεις και διαφέρουν ευρέως ως προς τις φυσικές και χημικές ιδιότητές τους. Ωστόσο, τα προϊόντα του διυλιστηρίου τείνουν να έχουν σαφείς καθορισμένες ιδιότητες ανεξάρτητα από την προέλευση του αργού πετρελαίου. Τα ενδιάμεσα και βαρέα πετρέλαια, που περιέχουν μεταβλητές αναλογίες καταλοίπων των διυλιστηριακών διεργασιών αναμειγμένων με ελαφρύτερα προϊόντα διαφέρουν σημαντικά στις ιδιότητές τους.

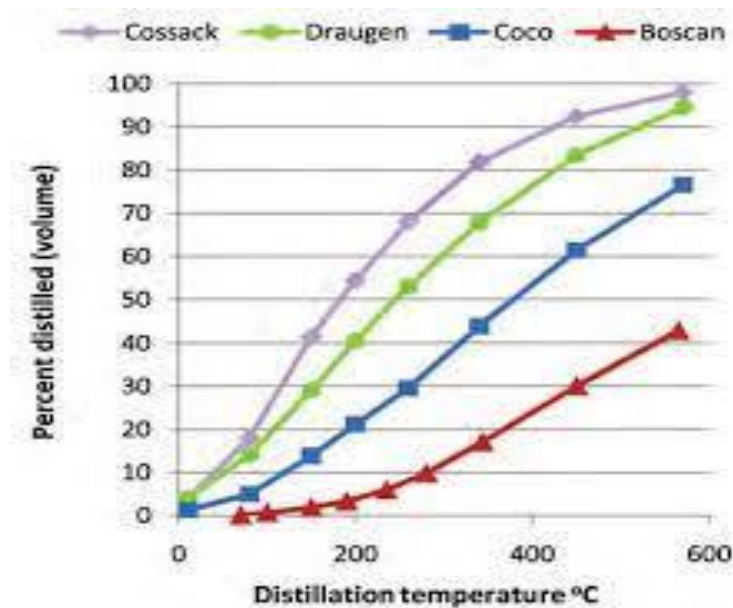
Οι κύριες φυσικές ιδιότητες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά και την παραμονή μιας πετρελαιοκηλίδας στη θάλασσα είναι η ειδική βαρύτητα, τα χαρακτηριστικά απόσταξης, η πίεση ατμών, το ιξώδες και το σημείο ροής. Όλες αυτές οι ιδιότητες εξαρτώνται από την χημική σύνθεση, όπως την περιεκτικότητα σε πτητικά συστατικά, σε ασφαλτένια, ρητίνες και κηρούς.

Η ειδική βαρύτητα (specific gravity- SG) ή σχετική πυκνότητα (relative density) ενός πετρελαίου είναι η πυκνότητά του σε σχέση με το καθαρό νερό, το οποίο έχει ειδική βαρύτητα ίση με τη μονάδα. Τα περισσότερα πετρέλαια είναι λιγότερο πυκνά ή πιο ελαφρά σε σχέση με το θαλασσινό νερό, που έχει ειδική πυκνότητα που ισούται περίπου με 1,025. Το μέγεθος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη σχετική βαρύτητα των αργών πετρελαίων και των προϊόντων πετρελαίου είναι οι °API («βαθμοί API», American Petroleum Institute). Οι βαθμοί API δίνονται από τον εξής τύπο:

$$^{\circ}API = \frac{141,5}{SG} - 131,5 \quad (1.1)$$

Εκτός του ότι η τιμή της ειδικής βαρύτητας ορίζει εάν το πετρέλαιο θα επιπλεύσει ή όχι, αποτελεί και μια γενική ένδειξη και άλλων ιδιοτήτων του πετρελαίου. Για παράδειγμα, τα πετρέλαια με χαμηλή ειδική βαρύτητα (υψηλοί °API) έχουν υψηλή περιεκτικότητα πτητικών συστατικών και συνεπώς χαμηλό ιξώδες.

Τα χαρακτηριστικά απόσταξης (distillation characteristics) ενός πετρελαίου χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της πτητικότητάς του. Κατά την απόσταξη, καθώς η θερμοκρασία του πετρελαίου αυξάνεται, τα διάφορα συστατικά του φθάνουν διαδοχικά στο σημείο βρασμού τους, εξατμίζονται, στη συνέχεια ψύχονται και συμπυκνώνονται. Τα χαρακτηριστικά απόσταξης απεικονίζονται σε μια καμπύλη απόσταξης, στην οποία αντιστοιχίζεται η θερμοκρασία απόσταξης με το ποσοστό του αρχικού όγκου πετρελαίου που αποστάζει σε αυτή τη θερμοκρασία (Εικόνα 1.1).

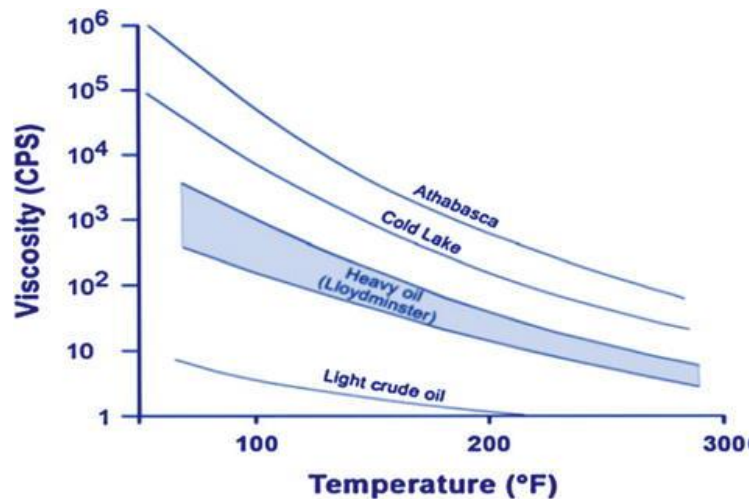


Εικόνα 1.1: Καμπύλη απόσταξης τεσσάρων αργών πετρελαίων. Το πετρέλαιο που παραμένει πέρα από τη μέγιστη θερμοκρασία στον οριζόντιο άξονα αποτελεί κυρίως υπόλειμμα.

Ορισμένα πετρέλαια περιέχουν ασφαλτούχα και κέρια υπολείμματα, που δεν αποστάζουν εύκολα ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίας και έτσι εμμένουν στο θαλάσσιο περιβάλλον για εκτεταμένες περιόδους.

Η τάση ατμών (vapor pressure) αποτελεί ένα επιπρόσθετο φυσικό μέγεθος που συνδέεται με την πτητικότητα ενός πετρελαίου. Η τάση ατμών μετράται συνήθως κατά Reid στους 37,8 °C (100 °F). Μια τάση ατμών μεγαλύτερη των 3 kPa (23 mmHg) αποτελεί το κριτήριο ότι η εξάτμιση του πετρελαίου θα επέλθει στις περισσότερες συνθήκες. Όταν η τιμή της τάσης ατμών είναι πάνω από 100 kPa (760 mmHg), η ουσία συμπεριφέρεται ως αέριο. Για παράδειγμα, η βενζίνη έχει τάση ατμών 40-80 kPa (300-600 mmHg). Το αργό πετρέλαιο Cossack έχει τάση ατμών κατά Reid 44 kPa και είναι πολύ πτητικό, δηλαδή μια μεγάλη αναλογία των συστατικών του έχει σημείο βρασμού σε χαμηλές θερμοκρασίες, σε αντίθεση με το αργό πετρέλαιο Boscan που είναι κατά πολύ λιγότερο πτητικό (αντίστοιχη τάση ατμών 1,7 kPa).

Το ιξώδες (viscosity) ενός πετρελαίου αποτελεί την αντίστασή του στη ροή. Τα πετρέλαια με μεγάλο ιξώδες ρέουν με μεγαλύτερη δυσκολία σε σχέση με αυτά που έχουν μικρότερο ιξώδες. Όλα τα πετρέλαια γίνονται πιο παχύρρευστα καθώς η θερμοκρασία ελαττώνεται. Η σύνθεσή τους ορίζει επίσης και κατά πόσο θα γίνουν πιο παχύρρευστα με την ελάττωση της θερμοκρασίας τους. Η επόμενη εικόνα απεικονίζει τη γραφική παράσταση ιξώδους – θερμοκρασίας για διάφορα αργά πετρέλαια.



Εικόνα 1.2: Γραφική παράσταση ιξώδους – θερμοκρασίας για τέσσερα αργά πετρέλαια. Εδώ χρησιμοποιείται το δυναμικό ιξώδες σε μονάδες centipoise (cPs) το οποίο είναι το SI ισοδύναμο των mPa s. Το ιξώδες μετράται επίσης σε centistokes (cSt= $mm^2s^{-1}$ ), στην περίπτωση αυτή αναφέρεται ως κινηματικό ιξώδες και αποτελεί το πηλίκο του δυναμικού ιξώδους με τη πυκνότητα. [41]

Το σημείο ροής (pour point) είναι η θερμοκρασία κάτω από την οποία ένα πετρέλαιο δεν ρέει και αποτελεί συνάρτηση της περιεκτικότητάς του σε ρητίνες και ασφαλτένια. Κατά την ψύξη του, το πετρέλαιο φτάνει στη θερμοκρασία που ονομάζεται σημείο νέφους (cloud point) όπου τα κέρνα συστατικά αρχίζουν να σχηματίζουν κρυστάλλους. Ο σχηματισμός κρυστάλλων εμποδίζει όλο και περισσότερο τη ροή του πετρελαίου καθώς αυτό ψύχεται περαιτέρω προς το σημείο ροής του. Όταν το πετρέλαιο έχει θερμοκρασία ίση με το σημείο ροής του, η ροή παύει και η μορφή του αλλάζει από υγρή σε ημιστερεή. Τέτοια πετρέλαια στην επιφάνεια της θάλασσας αποτελούν εμμένοντα πετρελαιοειδή και μπορούν να παρασύρονται σε μεγάλες αποστάσεις.

### 1.3 Τύποι πετρελαίων

Με βάση τα χαρακτηριστικά που προαναφέρθηκαν και σχετίζονται με τον τρόπο που το πετρέλαιο συμπεριφέρεται όταν απορρίπτεται στη θάλασσα και σχηματίζει πετρελαιοκηλίδες, τα πετρέλαια μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε κατηγορίες ή ομάδες (group). Η κατηγοριοποίηση στηρίζεται κυρίως στην ειδική βαρύτητα, τους °API και το ιξώδες των πετρελαίων. [23], [37], [7] Όσο πιο μεγάλη ειδική βαρύτητα (και άρα μικρότερους βαθμούς API) και μεγαλύτερο ιξώδες μετρούμενο σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία παρουσιάζει ένα πετρέλαιο, τόσο εντάσσεται σε κατηγορία μεγαλύτερου αριθμού. Αν και μνεία για τους τρόπους αντιμετώπισης μιας πετρελαιοκηλίδας και τις επιπτώσεις των πετρελαιοκηλίδων στο φυσικό περιβάλλον θα γίνει σε επόμενες

υποενότητες, η ακόλουθη παράθεση των τύπων πετρελαίου θα συνοδεύεται από σχετικές αναφορές.

### **Ομάδα 1: μη εμμένοντα ελαφρά πετρέλαια**

Έχουν °API >45 (SG <0,8) και ιξώδες (μετρούμενο στους 10-20°C) μικρότερο από 3 cSt. Παρουσιάζουν υψηλή πτητικότητα (εξατμίζονται εντός 1-2 ημερών) και δεν αφήνουν υπόλειμμα μετά την εξατμισή τους. Επίσης, παρουσιάζουν υψηλή συγκέντρωση σε τοξικά συστατικά. Προκαλούν σοβαρές επιπτώσεις στους οργανισμούς της θάλασσας και στους πόρους της παλιρροιακής ζώνης, ενώ η αφαίρεσή τους μπορεί να είναι επικίνδυνη λόγω της υψηλής ευφλεκτότητας και τοξικότητας. Παραδείγματα μη εμμενόντων ελαφρών πετρελαίων αποτελούν η βενζίνη και τα συμπυκνώματα.

### **Ομάδα 2: εμμένοντα ελαφρά πετρέλαια**

Έχουν °API 35-45 (SG 0,8 – 0,85) και ιξώδες (μετρούμενο στους 10-20°C) μεγαλύτερο των 4 cSt. Ορισμένα πετρέλαια αυτής της κατηγορίας που έχουν σημείο ροής μεγαλύτερο των 5°C βρίσκονται σε ημιστερεή κατάσταση. Τα εμμένοντα ελαφρά πετρέλαια είναι ελαφρώς πτητικά και αφήνουν υπόλειμμα (μέχρι το ένα τρίτο της ποσότητας της πετρελαιοκηλίδας) ύστερα από μερικές μέρες. Περιέχουν μέτρια συγκέντρωση τοξικών συστατικών και μπορούν να προκαλέσουν μακροχρόνιες επιπτώσεις στη παλιρροιακή ζώνη. Ωστόσο, η επιχείρηση απορρύπανσής τους μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματική. Παραδείγματα εμμενόντων ελαφρών πετρελαίων αποτελούν το diesel, το πετρέλαιο No. 2 και τα ελαφρά αργά πετρέλαια.

### **Ομάδα 3: Ενδιάμεσα πετρέλαια**

Έχουν °API 17,5-35 (SG 0,85 – 0,95) και ιξώδες (μετρούμενο στους 10-20°C) μεγαλύτερο των 8 cSt. Ορισμένα πετρέλαια αυτής της κατηγορίας που έχουν σημείο ροής μεγαλύτερο των 5°C βρίσκονται σε ημιστερεή κατάσταση. Όταν διαρρεύσουν στη θάλασσα, περίπου το ένα τρίτο της πετρελαιοκηλίδας τους θα εξατμιστεί εντός 24h. Μπορούν να προκαλέσουν σοβαρή και μακροχρόνια θαλάσσια ρύπανση στη παλιρροιακή ζώνη. Οι επιπτώσεις τους στα υδρόβια πτηνά και γουνοφόρα θηλαστικά είναι σημαντικές. Η επιχείρηση απορρύπανσης των ενδιάμεσων πετρελαίων είναι αποτελεσματική όταν διεξαχθεί γρήγορα. Ενδιάμεσα πετρέλαια αποτελούν κυρίως τα αργά πετρέλαια και το IFO (Intermediate Fuel Oil) 180.

### **Ομάδα 4: Βαρέα πετρέλαια**

Έχουν °API <17,5 (SG 0,95-1,00) και ιξώδες (μετρούμενο στους 10-20°C) μεγαλύτερο των 1500 cSt. Πολλά πετρέλαια αυτής της κατηγορίας βρίσκονται σε ημιστερεή κατάσταση. Παρουσιάζουν λίγη ή καθόλου εξατμισμό και διάλυση. Προκαλούν σοβαρή μόλυνση των παλιρροιακών ζωνών, πιθανή μακροχρόνια μόλυνση του θαλάσσιου πυθμένα και σοβαρές επιπτώσεις στα υδρόβια πτηνά και γουνοφόρα θηλαστικά. Η γήρανσή τους είναι πολύ γρήγορη και η επιχείρηση καθαρισμού τους στις ακτές δύσκολη κάτω από όλες τις περιστάσεις. Παράδειγμα αυτής της ομάδας είναι το IFO 380 και το πετρέλαιο No 6.

## Ομάδα 5: Βυθιζόμενα πετρέλαια

Έχουν  $SG > 1$ , συνεπώς μεγαλύτερη του καθαρού νερού και βυθίζονται. Δεν παρουσιάζουν διάλυση ή εξάτμιση. Όταν πετρέλαια αυτής της ομάδας, για παράδειγμα υπολειμματικά καύσιμα, διαρρεύσουν στην ακτογραμμή, συμπεριφέρονται ως βαρέα πετρέλαια ενώ όταν διαρρεύσουν στην ανοικτή θάλασσα, βυθίζονται με γρήγορο ρυθμό και δεν ρυπαίνουν την ακτογραμμή. Προκαλούν μακροχρόνια ρύπανση του βυθού και δυσμενείς επιπτώσεις στους οργανισμούς του, όπως τα μύδια. Η αφαίρεσή τους από το θαλάσσιο πυθμένα γίνεται με βυθοκόρηση (dredging).

Στον επόμενο πίνακα εμφανίζονται οι φυσικές ιδιότητες για τέσσερα αργά πετρέλαια, καθένα από τα οποία ανήκει στις πρώτες τέσσερις ομάδες που αναφέρθηκαν.

	Ομάδα 1	Ομάδα 2	Ομάδα 3	Ομάδα 4
	Arabian Super Light	Brent	Cabinda	Merey
<b>Προέλευση</b>	Σαουδική Αραβία	Ηνωμένο Βασίλειο	Αγκόλα	Βενεζουέλα
<b>°API</b>	50,7	37,9	32,5	17,3
<b>SG (στους 15°C)</b>	0,79	0,83	0,86	0,96
<b>Κηροί (%)</b>	12	(δεν υπάρχουν δεδομένα)	10,4	10
<b>Ασφαλτένια (%)</b>	7	0,5	0,16	9
<b>Σημείο ροής (°C)</b>	-39	-3	12	-21

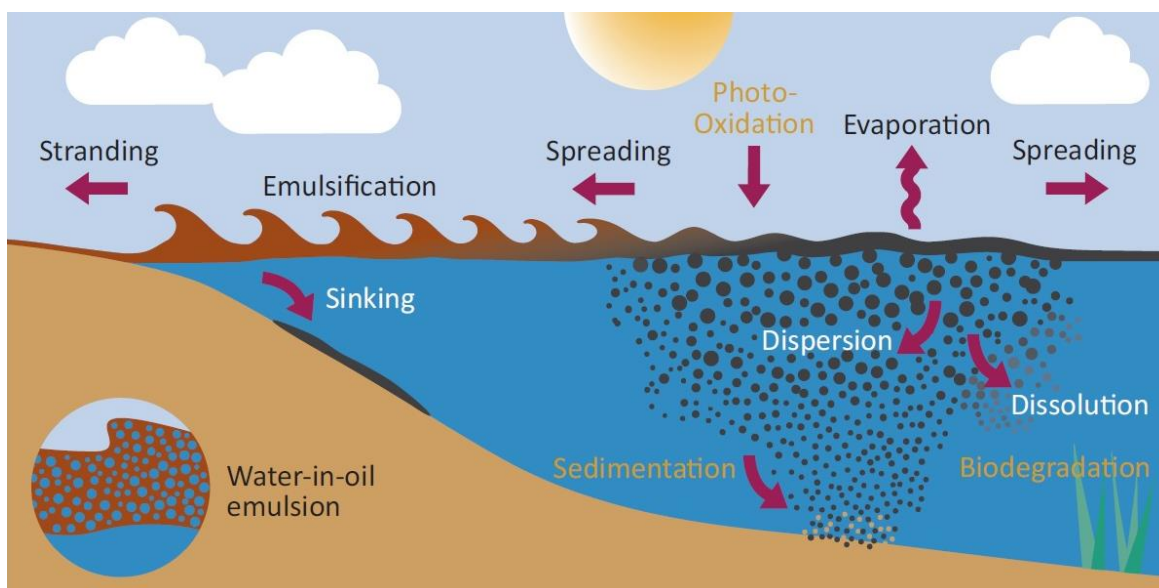
Πίνακας 1.1: Φυσικά χαρακτηριστικά τεσσάρων αντιπροσωπευτικών αργών πετρελαίων. [23]

### 1.4 Διεργασίες Γήρανσης

Όταν το πετρέλαιο διαρρέει στη θάλασσα, υποβάλλεται σε μια σειρά χημικών και φυσικών μεταβολών. Το σύνολο αυτών των μεταβολών, που λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα και με σχετική ένταση που ποικίλει καθώς εξελίσσεται ένα περιστατικό απόρριψης πετρελαίου στη θάλασσα, ονομάζεται χημική γήρανση. Οι κύριες διεργασίες που αποτελούν τη χημική γήρανση είναι η εξάπλωση (spreading), η εξάτμιση (evaporation), η διασπορά (dispersion), η διάλυση (dissolution), η γαλακτωματοποίηση (emulsification), η φωτοχημική οξείδωση (photo-oxidation), η καθίζηση (sedimentation) και η βιοαποικοδόμηση (biodegradation), όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί. Οι διεργασίες αυτές οφείλονται σε φυσικές καιρικές συνθήκες όπως την αλληλεπίδραση του ανέμου, των κυμάτων και των ρευμάτων και την έκθεση του



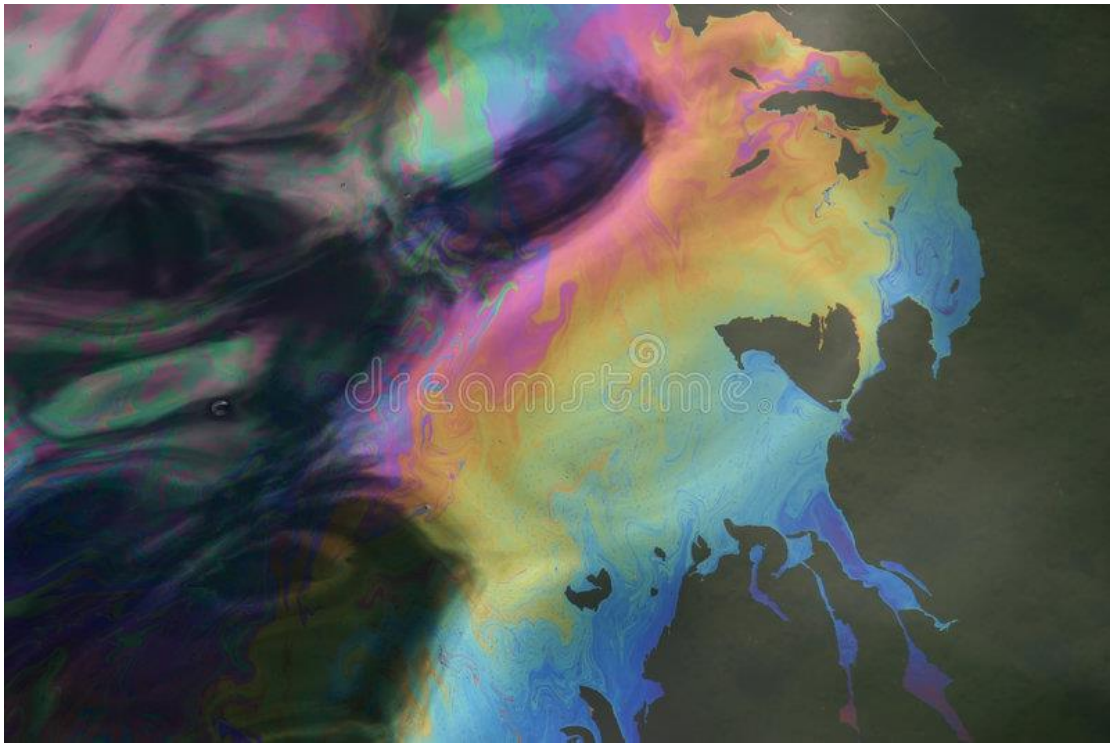
πετρελαίου στην ηλιακή ακτινοβολία. Καθώς η γήρανση εξελίσσεται, η φυσική κατάσταση του πετρελαίου αλλάζει συνεχώς, τα ελαφρά κλάσματα υδρογονανθράκων εξατμίζονται σταδιακά με αποτέλεσμα να αυξηθεί η πυκνότητά του και τμήμα του διασπείρεται στην στήλη ύδατος ενώ το υπόλοιπο τμήμα μπορεί να γαλακτωματοποιηθεί με το θαλασσινό νερό (κάτι που αυξάνει τον όγκο του και την παραμονή του στην επιφάνεια της θαλάσσης) και να οξειδωθεί από την υπεριώδη ακτινοβολία. Κάποια συστατικά του πετρελαίου διαλύονται και ορισμένα εξατμίζονται. Τέλος, τα πετρέλαια με μεγάλη ειδική βαρύτητα υπόκεινται και στην καθίζηση. [18]



Εικόνα 1.3: Κύριες διεργασίες γήρανσης πετρελαίου. [29]

#### 1.4.1 Εξάπλωση

Η εξάπλωση (spreading) του πετρελαίου συμβαίνει αμέσως μόλις το πετρέλαιο έρθει σε επαφή με το νερό. Η ταχύτητα με την οποία λαμβάνει χώρα η εξάπλωση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ιξώδες του και τον όγκο που έχει διαρρεύσει. [23]. Τα πετρέλαια χαμηλού ιξώδους εξαπλώνονται πολύ γρηγορότερα σε σχέση με τα πετρέλαια υψηλού ιξώδους. Αρχικά, τα πετρέλαια εξαπλώνονται ως ενιαία κηλίδα, όμως γρήγορα η κηλίδα αρχίζει να διασπάται σε λεπτά υμένια με μεταβλητό πάχος. Καθώς η πετρελαιοκηλίδα εξαπλώνεται και το πάχος της μειώνεται, η όψη της αλλάζει χρώμα από μαύρο ή σκούρο καφέ σε ιριδίζων και ασημί στις αιχμές της. Τα πετρέλαια που έχουν υψηλό ιξώδες ή βρίσκονται σε ημιστερεή κατάσταση, δεν σχηματίζουν λεπτά υμένια αλλά διασπώνται σε κομμάτια που μπορούν να έχουν πάχος εκατοστών. Στην ανοιχτή θάλασσα, τα ρεύματα αέρα προκαλούν τη δημιουργία στενών ζωνών από πετρέλαιο παράλληλων με τη διεύθυνση του ανέμου. [23] Ο ρυθμός εξάπλωσης εξαρτάται επίσης από τα κύματα, την τυρβώδη ροή, τα θαλάσσια και παλιρροϊκά ρεύματα. Όσο πιο ισχυρή είναι η σύμπραξη των δυνάμεων που δημιουργούνται από τα ανωτέρω φυσικά φαινόμενα, τόσο πιο γρήγορα εξελίσσεται η εξάπλωση.



*Εικόνα 1.4: Πετρελαιοκηλίδα με ιριδίζουσα όψη προερχόμενη από διαρροή από το ναυάγιο του USS Arizona, που συνέβη την 7-12-1941 στο Pearl Harbor. Πηγή: <https://www.dreamstime.com/stock-image-uss-arizona-oil-slick-image930891>*

#### **1.4.2 Εξάτμιση**

Ο ρυθμός εξάτμισης (evaporation) του πετρελαίου εξαρτάται από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και την ταχύτητα του ανέμου. Τα περισσότερα πτητικά συστατικά ενός πετρελαίου εξατμίζονται στην ατμόσφαιρα. Γενικότερα, τα συστατικά με σημείο βρασμού κάτω των 200 °C εξατμίζονται εντός 24 ωρών υπό εύκρατες κλιματικές συνθήκες. Όσο μεγαλύτερη είναι η αναλογία των συστατικών του πετρελαίου με χαμηλά σημεία βρασμού, τόσο περισσότερο λαμβάνει χώρα η εξάτμιση. Για το σκοπό του προσδιορισμού του ποσοστού των συστατικών που εξατμίζονται πάνω από μια συγκεκριμένη θερμοκρασία, χρησιμοποιείται η καμπύλη απόσταξης, παράδειγμα της οποίας έχει παρατεθεί στην εικόνα 1.1.

Ο αρχικός ρυθμός εξάπλωσης της πετρελαιοκηλίδας επηρεάζει το ρυθμό εξάτμισης. Όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια εξάπλωσης, τόσο γρηγορότερα θα εξατμιστούν τα πτητικά συστατικά. Επιπρόσθετα, η εξάτμιση εντείνεται από τρικυμιώδεις καταστάσεις θάλασσας, υψηλές ταχύτητες ανέμου και υψηλές θερμοκρασίες. [23]

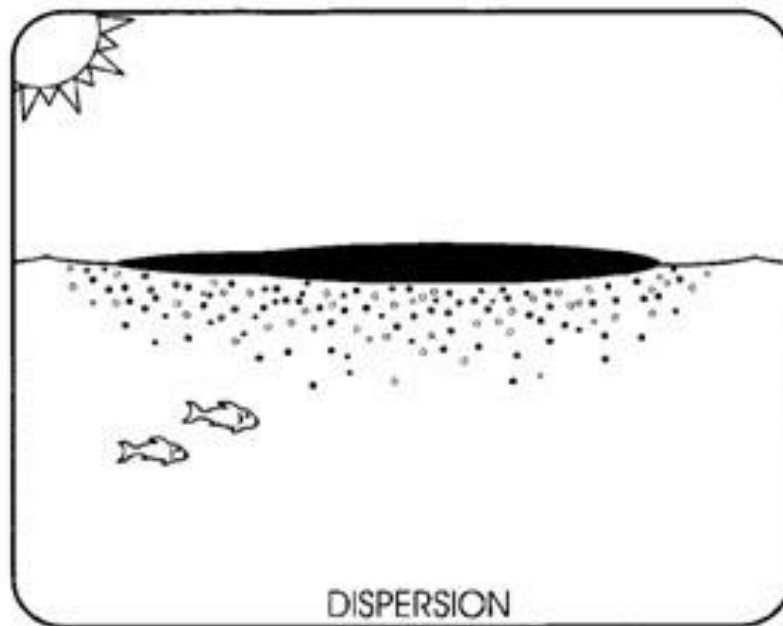
Το υπόλειμμα πετρελαίου που παραμένει μετά την εξάτμιση έχει αυξημένη πυκνότητα και ιξώδες, κάτι που επηρεάζει τις επακόλουθες διεργασίες της γήρανσης και τις τεχνικές καθαρισμού της πετρελαιοκηλίδας. Επίσης, όταν εξατμίζονται πετρελαιοειδή υψηλής πτητικότητας, όπως προϊόντα διύλισης (π.χ. βενζίνη και κηροζίνη), δημιουργείται κίνδυνος έκρηξης και πυρκαγιάς και κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία

(λόγω της υψηλής τοξικότητας). Αντίθετα, τα βαρέα πετρέλαια υπόκεινται σε μικρή, εάν συμβεί, εξάτμιση και παρουσιάζουν ελάχιστη πιθανότητα έκρηξης. Ωστόσο, ενέχουν κίνδυνο πυρκαγιάς.

### **1.4.3. Διασπορά**

Διασπορά (dispersion) του πετρελαίου είναι ο διασκορπισμός του σε σταγονίδια, τα οποία ενσωματώνονται στα ανώτερα στρώματα της στήλης ύδατος και σχηματίζουν αραιωμένο διάλυμα με το νερό. [12] Ο ρυθμός διασποράς εξαρτάται από την φύση του πετρελαίου που διέρρευσε και την κατάσταση της θάλασσας. Παράγοντες που ευνοούν και επιταχύνουν την διασπορά είναι το χαμηλό ιξώδες του πετρελαίου και η παρουσία κυμάτων θραύσης (breaking waves). Έτσι, τα κύματα και η ταραχή της επιφάνειας της θάλασσας μπορούν να προκαλέσουν τον διαχωρισμό της πετρελαιοκηλίδας σε σταγονίδια μεταβλητού μεγέθους που εν συνεχεία διασπώνται. Τα μικρότερα σταγονίδια πετρελαίου αιωρούνται εντός του ύδατος, ενώ τα μεγαλύτερα αναδύονται ξανά στην επιφάνεια όπου είτε ενώνονται με άλλα σταγονίδια για να ανασχηματίσουν μια κηλίδα είτε εξαπλώνονται σε μορφή λεπτών υμενίων. Η ταχύτητα με την οποία σταγονίδια πετρελαίου με διάμετρο μικρότερη των 70 μm αναδύονται προς την επιφάνεια εξισορροπείται από την τυρβώδη ροή της θάλασσας και έτσι τα σταγονίδια διατηρούνται σε αιώρηση. [23] Με αυτόν τον τρόπο, τα αιωρούμενα σταγονίδια αναμιγνύονται με όλο και μεγαλύτερες ποσότητες θαλασσινού νερού, που έχει ως αποτέλεσμα την γρήγορη και μεγάλη μείωση της συγκέντρωσης του πετρελαίου. Το διασκορπισμένο πετρέλαιο παρουσιάζει αυξημένη επιφάνεια σε σχέση με τις αρχικές διαστάσεις του και επιπρόσθετα διευκολύνει τις διεργασίες της βιοαποικοδόμησης, της διάλυσης και της καθίζησης.

Τα χημικά διασκορπιστικά ή χημικές διασκορπιστικές ουσίες (Χ.Δ.Ο.), ο τρόπος δράσης των οποίων θα εξεταστεί αργότερα, αποτελούν χημικά προϊόντα που επιταχύνουν την φυσική διεργασία της διασποράς.

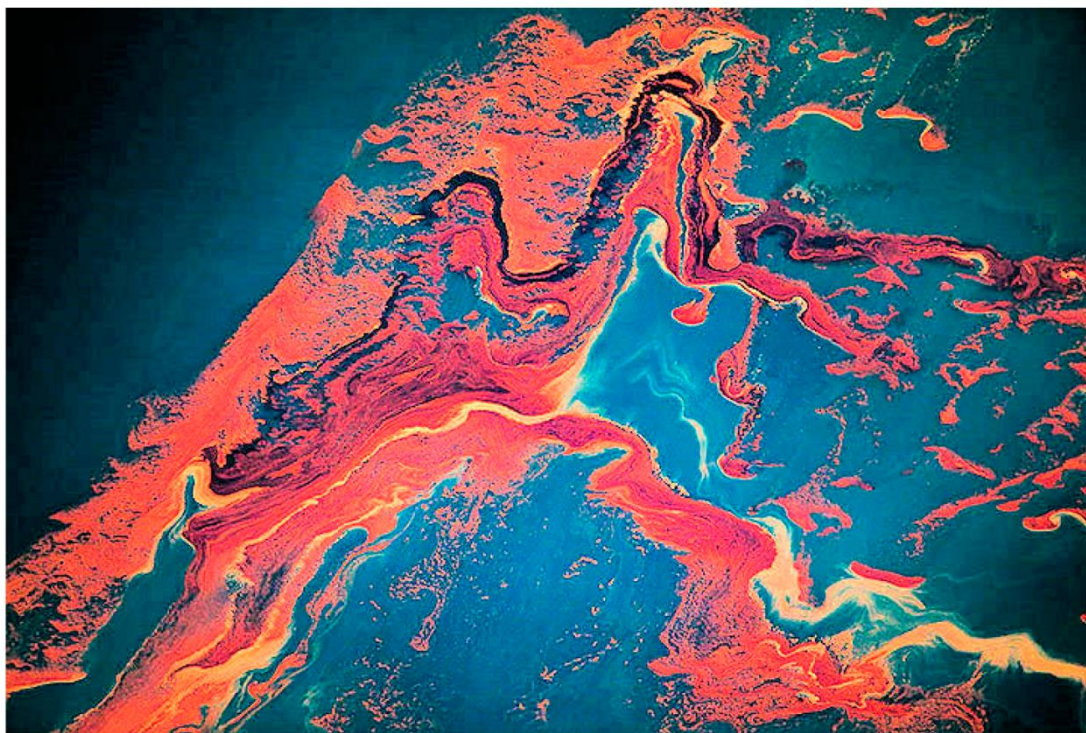


Εικόνα 1.5: Γραφική αναπαράσταση της διεργασίας της διασποράς (dispersion) μιας πετρελαιοκηλίδας. [12]

#### 1.4.4 Γαλακτωματοποίηση

Η γαλακτωματοποίηση (emulsification) είναι η πρόσληψη νερού από το πετρέλαιο και ο σχηματισμός γαλακτωμάτων (water-in-oil emulsions). Η γαλακτωματοποίηση έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου της πετρελαιοκηλίδας μέχρι και πέντε φορές. Τα γαλακτώματα δημιουργούνται κυρίως από πετρέλαια, που όταν διαρρέουν, έχουν συνδυασμένη συγκέντρωση Βαναδίου / Νικελίου μεγαλύτερη από 15 ppm ή περιεκτικότητα σε ασφαλτένια πάνω από 0,5%. [23] Ο ρυθμός σχηματισμού των γαλακτωμάτων εξαρτάται από τη συγκέντρωση των ανωτέρω ενώσεων και από την κατάσταση της θάλασσας (σημαντική συνεισφορά προκύπτει όταν η ένταση του ανέμου είναι μεγαλύτερη από 3 Beaufort). Τα πετρέλαια με υψηλό ιξώδες, όπως τα βαρέα πετρέλαια δεσμεύουν το νερό πιο αργά απ' ό,τι τα πετρέλαια χαμηλότερου ιξώδους. Ενώσω το γαλάκτωμα αναπτύσσεται, η κίνηση του πετρελαίου εξαιτίας του κυματισμού της θάλασσας προκαλεί τη μείωση του μεγέθους των σταγονιδίων νερού που έχουν ενσωματωθεί στο πετρέλαιο. Με αυτόν τον τρόπο, αυξάνεται το ιξώδες του γαλακτώματος. Επίσης, τα ασφαλτένια τείνουν να καλύψουν τα σταγονίδια νερού αυξάνοντας τη σταθερότητα του γαλακτώματος. Με την πάροδο του χρόνου, αυξάνεται η ποσότητα του νερού που δεσμεύεται στο γαλάκτωμα με αποτέλεσμα την αύξηση της πυκνότητάς του. Η πυκνότητα αυτή μπορεί να προσεγγίσει αυτήν του νερού αλλά έχει μικρή πιθανότητα να την ξεπεράσει, χωρίς την προσθήκη αιωρούμενων σωματιδίων. Τα σταθερά γαλακτώματα αποτελούνται από 70-80 % νερό και συνήθως βρίσκονται σε ημιστερεή κατάσταση. Το χρώμα τους είναι έντονο κόκκινο-καφέ, πορτοκαλί ή κίτρινο, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα.





*Εικόνα 1.6: Γαλάκτωμα πετρελαίου φωτογραφημένο από αεροσκάφος, από ύψος 100 m περίπου. [13]*

Τα σταθερά γαλακτώματα είναι σε μεγάλο βαθμό εμμένοντα και μπορούν να παραμένουν σε κατάσταση γαλακτωματοποίησης επ' αόριστον. Τα λιγότερο σταθερά γαλακτώματα διασπώνται όταν θερμανθούν από την ηλιακή ακτινοβολία υπό ήρεμες καιρικές συνθήκες ή όταν φτάνουν στην ακτή.

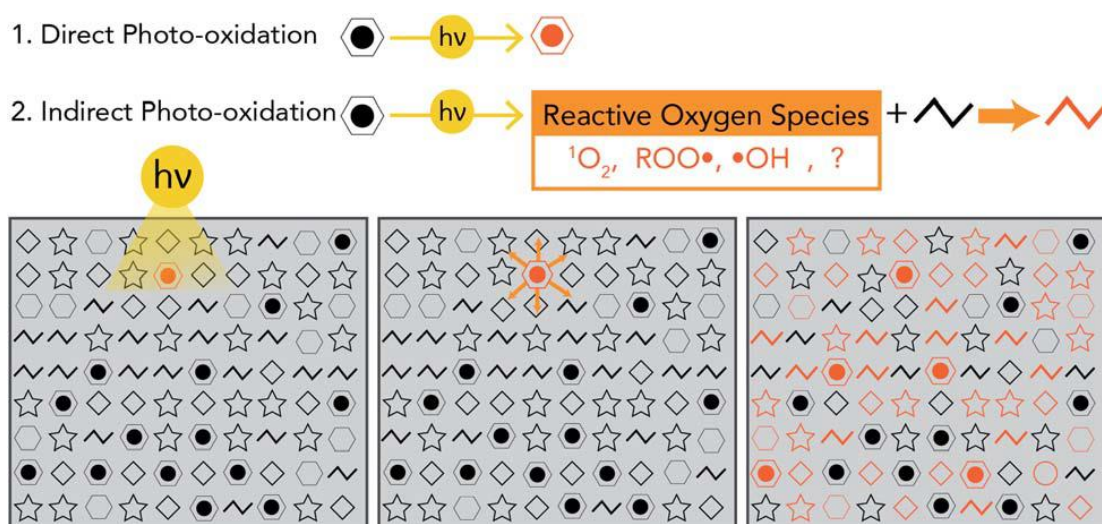
#### **1.4.5 Διάλυση**

Ο ρυθμός και η έκταση που λαμβάνει χώρα η διεργασία της διάλυσης (dissolution) εξαρτάται από τη σύνθεση του πετρελαίου, την εξάπλωσή του, τη θερμοκρασία και την ταραχή της θάλασσας και το βαθμό διασποράς του πετρελαίου. Τα βαριά συστατικά του αργού πετρελαίου είναι πρακτικώς αδιάλυτα στο θαλασσινό νερό, ενώ τα ελαφρύτερα συστατικά και κυρίως οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες όπως το βενζένιο και το τολουένιο διαλύονται ελαφρώς. Παράλληλα, αυτά τα συστατικά είναι και τα περισσότερο πτητικά και χάνονται πολύ γρήγορα λόγω της εξάτμισής τους. Ο ρυθμός εξάτμισής τους είναι 10 έως 1000 φορές γρηγορότερος σε σχέση με το ρυθμό διάλυσής τους. Ως συνέπεια, οι συγκεντρώσεις των διαλυμένων υδρογονανθράκων στο θαλασσινό νερό σπάνια είναι μεγαλύτερες από 1 ppm και η διάλυση αποτελεί μια διεργασία που δεν συνεισφέρει σημαντικά στην μείωση της ποσότητας μιας πετρελαιοκηλίδας.

#### **1.4.6 Φωτοχημική οξείδωση**

Η φωτοχημική οξείδωση (photo-oxidation) ή φωτόλυση είναι διεργασία μετασχηματισμού κατά την οποία το πετρέλαιο οξειδώνεται από την ηλιακή ακτινοβολία και σχηματίζει οξυγονούχες ενώσεις. Το πετρέλαιο περιέχει συστατικά που

απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία (μήκη κύματος μεγαλύτερα από 280 nm) και οξειδώνονται από αυτή. Μεταξύ αυτών των συστατικών, που καλούνται χρωμοφόρα, είναι οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες και τα ασφαλτένια. Η διεργασία που περιγράφηκε ανωτέρω ονομάζεται άμεση φωτόλυση. Η έμμεση φωτόλυση συμβαίνει όταν ένα χρωμοφόρο δημιουργεί δραστικές μορφές οξυγόνου (reactive oxygen species) όπως το διοξυγόνο (singlet oxygen), ρίζες υπεροξυλίου (peroxy radicals) και ρίζες υδροξυλίου (hydroxyl radicals). Οι δραστικές μορφές οξυγόνου αντιδρούν έμμεσα με ένα ευρύ φάσμα συστατικών του πετρελαίου και όχι μόνο με τα συστατικά που απορροφούν άμεσα ηλιακή ακτινοβολία. Στην επόμενη εικόνα, παρατίθεται μια σχηματική αναπαράσταση της άμεσης και έμμεσης φωτοχημικής οξείδωσης. Η φωτοχημική οξείδωση προκαλεί μεταβολές των φυσικών ιδιοτήτων του πετρελαίου. Συγκεκριμένα, οδηγεί στην αύξηση της πυκνότητας, του κινηματικού ιξώδους και της προσκόλλησης μιας πετρελαιοκηλίδας. Το μέγεθος των μεταβολών που επιφέρονται είναι συγκρίσιμο με τις μεταβολές που προκαλούνται από την εξάτμιση. Η διεργασία της φωτοχημικής οξείδωσης συμβάλλει και στο σχηματισμό σταθερών γαλακτωμάτων που περιγράφηκαν σε προηγούμενη υποενότητα. [45]



Εικόνα 1.7: Σχηματική παράσταση άμεσης (direct) και έμμεσης (indirect) φωτοχημικής οξείδωσης. Κατά την άμεση φωτοχημική οξείδωση (αριστερό πλαίσιο), ένα μόριο που απορροφά ηλιακή ενέργεια (απεικονίζεται ως μαύρος δακτύλιος) οξειδώνεται μερικώς σε ένα νέο μόριο (απεικονίζεται ως πορτοκαλί δακτύλιος). Κατά την έμμεση (indirect) φωτοχημική οξείδωση ένα μόριο, το οποίο έχει ήδη οξειδωθεί από την ηλιακή ακτινοβολία, δημιουργεί δραστικές μορφές οξυγόνου (μεσαίο πλαίσιο), που με τη σειρά τους οξειδώνουν επιπρόσθετα συστατικά του πετρελαίου (δεξί πλαίσιο). [45]

#### 1.4.7. Καθίζηση

Η καθίζηση (sedimentation) συμβαίνει όταν διασκορπισμένα σταγονίδια πετρελαίου αλληλεπιδρούν με αιωρούμενα στερεά από ιζήματα και οργανική ύλη στη στήλη ύδατος

με αποτέλεσμα να προκύπτουν σταγονίδια με μεγάλη πυκνότητα, αρκετή για τη βύθισή τους. Οι ρηχές παράκτιες περιοχές, τα στόμια και οι εκβολές των ποταμών έχουν συχνά μεγάλη συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών που μπορούν να ενωθούν με διασκορπισμένα σταγονίδια πετρελαίου, δημιουργώντας ευνοϊκές συνθήκες για την καθίζησή τους. Τα σταγονίδια που επιπλέουν στην επιφάνεια του νερού μπορούν επίσης να βυθιστούν στην περίπτωση των υφάλμυρων νερών, στα οποία το γλυκό νερό μειώνει την αλατότητα του θαλασσινού νερού και συνεπώς την ειδική βαρύτητά του. Συσσωμάτωση σταγονιδίων πετρελαίου με αιωρούμενα στερεά συμβαίνει και κατά τη διάρκεια καταιγίδων. Παρομοίως, σκόνη που περιέχεται στον άνεμο μπορεί να εναποτεθεί επί της πετρελαιοκηλίδας και να προκαλέσει τη βύθιση του πετρελαίου. Η βύθιση συμβαίνει στα βαρέα αργά πετρέλαια και σε γαλακτώματα με ειδικές βαρύτητες που πλησιάζουν αυτή του θαλασσινού νερού. Ακόμα και η ελάχιστη αλληλεπίδραση αυτών των πετρελαίων με αιωρούμενα σωματίδια είναι αρκετή να προκαλέσει τη βύθιση του πετρελαίου. [23]

#### **1.4.8 Βιοαποικοδόμηση**

Με τον όρο βιοαποικοδόμηση (biodegradation) ονομάζουμε την αποικοδόμηση των υδρογονανθράκων του πετρελαίου από μικροοργανισμούς που υπάρχουν στη θάλασσα. Τα βακτήρια, οι μύκητες, οι ζυμομύκητες, τα μονοκύτταρα φύκη και τα πρωτόζωα αποτελούν μικροοργανισμούς που χρησιμοποιούν τους υδρογονάνθρακες ως πηγή άνθρακα και ενέργειας. [23] Οι μικροοργανισμοί που αποικοδομούν το πετρέλαιο υπάρχουν σε αφθονία σε περιοχές με φυσική διαρροή του πετρελαίου και κοντά σε παράκτιες περιοχές, όπως σε μολυσμένα ύδατα πλησίον αστικών κέντρων. Ο μεταβολισμός των υδρογονανθράκων έχει ως προϊόντα διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Ωστόσο, μόνο ένα ορισμένο κλάσμα των υδρογονανθράκων ενός πετρελαίου είναι βιοδιαθέσιμο, δηλαδή μπορεί να αποτελέσει υπόστρωμα για την αποικοδόμησή του από τους μικροοργανισμούς. Η βιοδιαθεσιμότητα εξαρτάται από την διαλυτότητα του υδρογονάνθρακα στο θαλασσινό νερό και όσο περισσότερο ένα συστατικό του πετρελαίου είναι διαλυτό, τόσο πιο πολύ μπορεί να αποικοδομηθεί από τους μικροοργανισμούς. [44] Τα κλάσματα του πετρελαίου με φθίνουσα διαλυτότητα είναι μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες (όπως βενζένιο, τολουένιο, αιθυλοβενζένιο, ξυλένιο), πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες χαμηλού μοριακού βάρους (όπως ναφθαλίνη, φλουορένιο, φαινανθρένιο), πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες υψηλού μοριακού βάρους (πυρένιο, χρυσένιο) και n-αλκάνια. N-αλκάνια με αριθμό ατόμων άνθρακα μεγαλύτερο από 16 είναι πρακτικώς αδιάλυτα στο νερό. Η χαμηλή διαλυτότητα σημαίνει χαμηλή μεταφορά μοριακής μάζας υδρογονανθράκων στο νερό. Όμως, οι μικροοργανισμοί ζούνε εντός του νερού, από το οποίο παίρνουν οξυγόνο και για αυτό η βιοαποικοδόμηση μπορεί μόνο να λάβει χώρα στην διεπαφή πετρελαίου-νερού. Τα σταγονίδια πετρελαίου που αποτελούν κλάσμα υδρογονανθράκων που δύσκολα διαλύονται στο νερό, σχηματίζουν στην εν λόγω διεπαφή βιουμένια (biofilms). Η δημιουργία βιουμενίων ευνοεί την αύξηση της μεταφοράς μοριακής μάζας υδρογονανθράκων και την βιοαποικοδόμησή τους.

Οι μικροοργανισμοί που βιοαποικοδομούν το πετρέλαιο, διεγείρονται από την πρόσληψη θρεπτικών συστατικών όπως το άζωτο και ο φώσφορος που υπάρχουν στο νερό. Όταν η συγκέντρωση αυτών των θρεπτικών συστατικών είναι περιορισμένη, η παραγωγή επαρκούς βακτηριακής βιομάζας για αποικοδόμηση επίσης περιορίζεται.

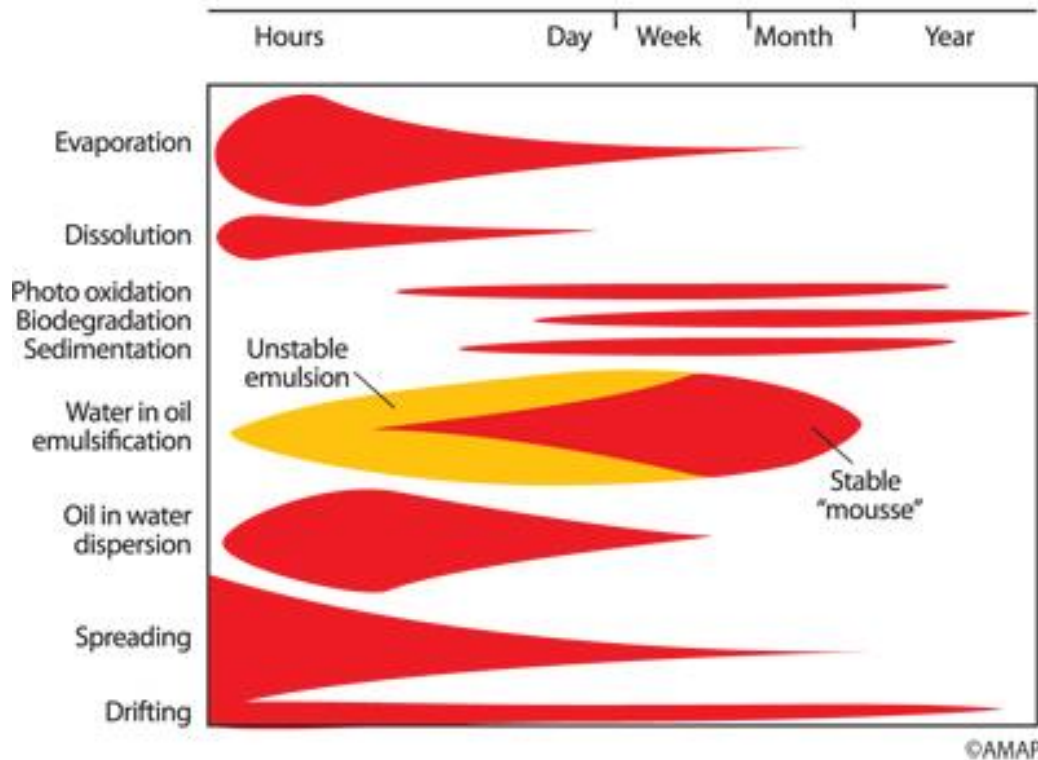
Συνοψίζοντας, οι τρεις σημαντικοί παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το εύρος της βιοαποικοδόμησης μιας πετρελαιοκηλίδας είναι η βιοδιαθεσιμότητα του πετρελαίου (που επηρεάζεται από την έκταση που συμβαίνουν η διασπορά και διάλυση του πετρελαίου, άρα τον τύπο του πετρελαίου), η δυνατότητα βιοαποικοδόμησης από τη μικροβιακή κοινότητα και η διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών. [44]

#### **1.4.9 Συνδυαστικές Διεργασίες**

Οι διεργασίες γήρανσης που περιγράφηκαν στις προηγούμενες υποενότητες επιδρούν συνδυαστικά. Η σχετική βαρύτητά κάθε μιας στην εξέλιξη μιας πετρελαιοκηλίδας μεταβάλλεται χρονικά. Η επόμενη εικόνα αποτελεί τη σχηματική αναπαράσταση της μεταβολής της σχετικής σημασίας των κύριων διεργασιών γήρανσης, συναρτήσει του χρόνου, από τη στιγμή που πετρέλαιο διαρρέει στη θάλασσα.

Σύμφωνα με [23], η μετατόπιση, η εξάτμιση, η διασπορά, η γαλακτωματοποίηση και η διάλυση αποτελούν τις πιο σημαντικές διεργασίες κατά τα αρχικά στάδια μιας πετρελαιοκηλίδας, ενώ η φωτοχημική οξειδωση, η καθίζηση και η βιοαποικοδόμηση αποτελούν μακροπρόθεσμες διεργασίες που καθορίζουν την τελική τύχη του πετρελαίου. Η διασπορά και η γαλακτωματοποίηση είναι ανταγωνιστικές διεργασίες διότι η διασπορά συμβάλλει στην αφαίρεση πετρελαίου από την επιφάνεια της θαλάσσης ενώ η γαλακτωματοποίηση στην αύξηση του όγκου του πετρελαίου μέσω της πρόσληψης θαλασσινού νερού και τη δημιουργία γαλακτωμάτων. Ορισμένοι παράγοντες που καθορίζουν αν το πετρέλαιο θα διασκορπιστεί ή θα σχηματίσει γαλακτώματα είναι οι συνθήκες διαρροής του στη θάλασσα (ρυθμός διαρροής, ποσότητα που έχει διαρρεύσει, αν η διαρροή πραγματοποιήθηκε στην επιφάνεια ή υποθαλάσσια), οι κλιματικές συνθήκες (θερμοκρασία, κατάσταση θαλάσσης, θαλάσσια ρεύματα) και οι φυσικοχημικές ιδιότητες του πετρελαίου.





Εικόνα 1.8: Σχηματική παράσταση της σχετικής σημασίας των κύριων διεργασιών γήρανσης, συναρτήσει του χρόνου. Πηγή: <https://www.amap.no/documents/doc/fate-of-spilled-oil-the-most-important-weathering-processes-and-their-time-windows/705>

Η πετρελαιοκηλίδα του Κόλπου του Μεξικού (Deepwater Horizon oil spill), που συνέβη το 2010, παρείχε μια σπάνια ευκαιρία στην επιστημονική κοινότητα να μελετήσει κατάλοιπα γηρασμένου πετρελαίου που είχαν περισυλλεγεί. Η συγκεκριμένη πετρελαιοκηλίδα, κατά την οποία υπήρξε συνεχή διαρροή πετρελαίου για 87 ημέρες, οδήγησε στην περισυλλογή εκατοντάδων τέτοιων καταλοίπων. Η μελέτη αυτών των καταλοίπων σε συνδυασμό με την τεχνολογική πρόοδο έχουν αναθεωρήσει τη σχετική σημασία της διεργασίας της φωτοχημικής οξειδωσης. Συγκεκριμένα, ορισμένες μελέτες, όπως η [45], έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα πως η υψηλή συγκέντρωση οξυγονούχων συστατικών στο μη διαλυτό και μη εξατμίσιμο πετρέλαιο της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας οφείλεται στην φωτοχημική οξειδωσή του, που τα μέχρι τότε μοντέλα της γήρανσης πετρελαίου είχαν υποτιμήσει. Με βάση αυτές τις έρευνες, η φωτοχημική οξειδωση δεν αποτελεί διεργασία δευτερεύουσας σημασίας, έχει παρόμοια σχετική σημασία με την εξάτμιση και λαμβάνει χώρα ταυτόχρονα με αυτήν, αμέσως

μόλις συμβεί η διαρροή του πετρελαίου και όχι αργότερα, όπως είχε υποτεθεί μέχρι τότε.

Η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι διεργασίες γήρανσης αλληλεπιδρούν είναι καθοριστικής σημασίας για την πρόβλεψη της μεταβολής των χαρακτηριστικών του πετρελαίου όσο εξελίσσεται χρονικά η πετρελαιοκηλίδα. Η πρόβλεψη των χαρακτηριστικών του πετρελαίου είναι καίριας σημασίας καθορίζει το κατάλληλο μέσο αντιμετώπισης της πετρελαιοκηλίδας.

## **1.5 Αντιμετώπιση της πετρελαϊκής ρύπανσης**

Η αντιμετώπιση της πετρελαϊκής ρύπανσης είναι πρωταρχικής σημασίας για τον περιορισμό των δυσμενών επιπτώσεων που προκαλεί στο φυσικό περιβάλλον. Οι διάφορες τεχνικές αντιμετώπισης εφαρμόζονται σε συνάρτηση με το χρονικό διάστημα που έχει παρέλθει από την απόρριψη του πετρελαίου στη θάλασσα. Μια τεχνική μπορεί να είναι αποτελεσματική μόνο κατά τις πρώτες ώρες της απόρριψης του πετρελαίου και η εξέλιξη του περιστατικού να επιβάλλει την εφαρμογή άλλης τεχνικής. Επιπρόσθετα, η έκταση της πετρελαιοκηλίδας μπορεί να είναι μεγάλη και να απαιτεί τον συνδυασμό τεχνικών για τη βελτιστοποίηση του τελικού αποτελέσματος. Οι μέθοδοι αντιμετώπισης μιας πετρελαιοκηλίδας μπορεί να είναι φυσικές (χρήση κατάλληλων μέσων για τον κατάλληλο εγκλωβισμό και ανάκτηση του πετρελαίου από τη θάλασσα, χρήση προσροφητικών υλικών, εφαρμογή επιτόπου καύσης του πετρελαίου), χημικές (χρήση χημικών διασκορπιστικών ουσιών) και βιοχημικές (χρήση μικροοργανισμών που αποικοδομούν το πετρέλαιο – βιοαποικοδόμηση). Σε ορισμένες περιπτώσεις όπου η απόσταση της πετρελαιοκηλίδας από τις ακτές είναι πολύ μεγάλη ή οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του καθαρισμού της πετρελαιοκηλίδας υπερβαίνουν κατά πολύ τα οφέλη της, μπορεί να ληφθεί η απόφαση να μην εφαρμοστεί καμία μέθοδος επέμβασης. Τότε, η αντιμετώπιση της πετρελαιοκηλίδας αφήνεται αποκλειστικά στα φυσικά φαινόμενα, δηλαδή στην ηλιακή ακτινοβολία, στον άνεμο και στις καιρικές συνθήκες, στα θαλάσσια ρεύματα και στους μικροοργανισμούς που ζουν στο θαλάσσιο περιβάλλον. [1] Στη συνέχεια, αναλύονται τα χαρακτηριστικά των πιο συχνά χρησιμοποιούμενων μεθόδων αντιμετώπισης.

### **1.5.1 Εγκλωβισμός και ανάκτηση**

Ο εγκλωβισμός του πετρελαίου και η μετέπειτα ανάκτησή του (oil containment and recovery) στηρίζεται σε διατάξεις περιορισμού και συγκέντρωσης του πετρελαίου (πλωτά φράγματα) σε ενδεδειγμένο πάχος επιφανείας και την μετέπειτα αφαίρεσή του με μια διάταξη ελαιοσυλλέκτη (skimmer). Εν συνεχεία, μια αντλία μεταφέρει το συλλεχθέν πετρέλαιο προς άλλες διατάξεις προσωρινής αποθήκευσης.

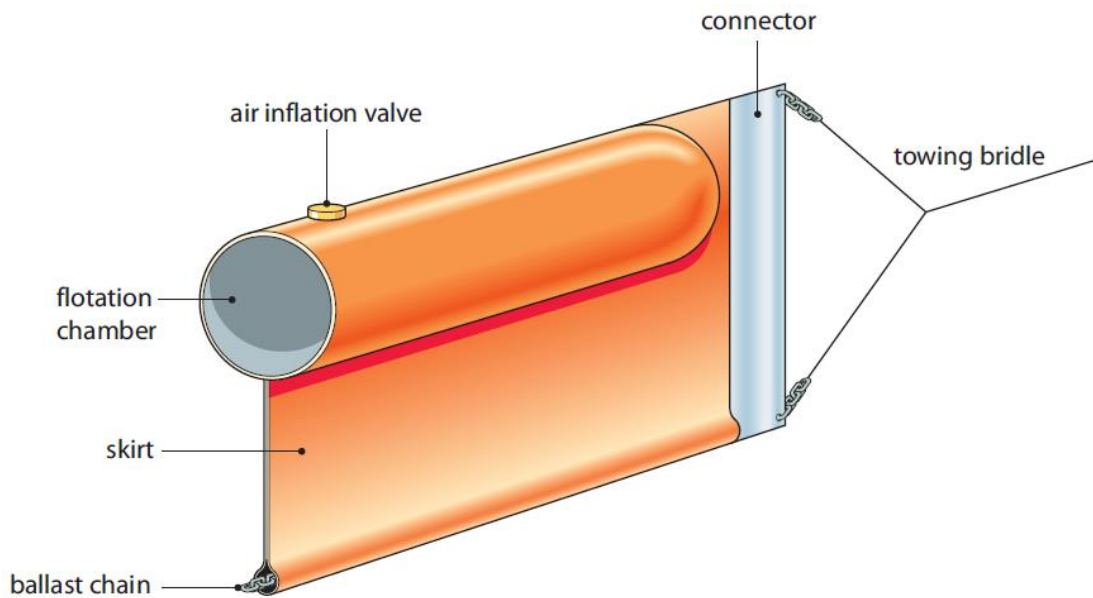


*Εικόνα 1.9: Εγκλωβισμός και ανάκτηση του πετρελαίου.*

Τα πλωτά φράγματα σχεδιάζονται προκειμένου να επιτελέσουν μία ή περισσότερες από τις επόμενες λειτουργίες: [24]

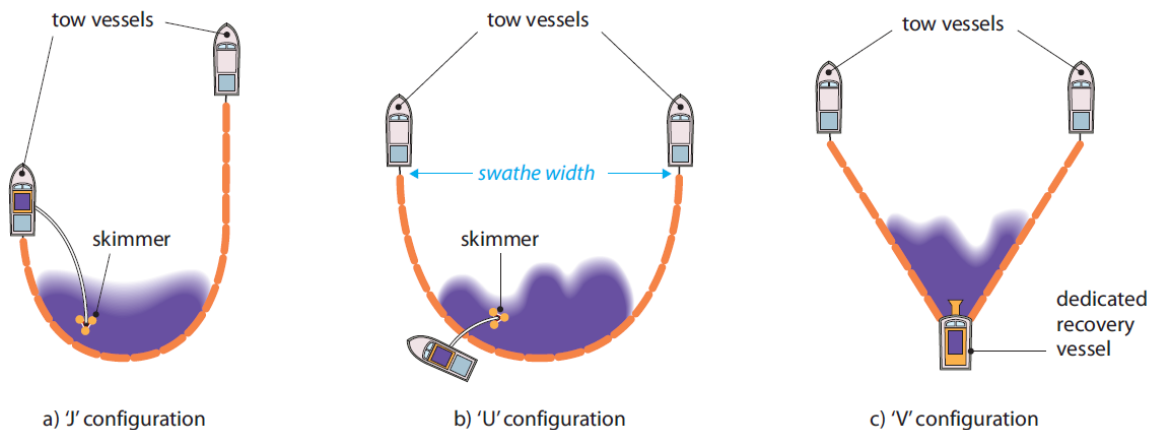
- Εγκλωβισμός και συγκέντρωση του πετρελαίου για να αποτραπεί η εξάπλωσή του (spreading) στην επιφάνεια της θάλασσας και να αυξηθεί το πάχος του ευνοώντας την ανάκτησή του.
- Εκτροπή του πετρελαίου προς ένα κατάλληλο σημείο συλλογής στην ακτογραμμή για την μετέπειτα ανάκτησή του.
- Παροχή εμποδίου για επέκταση του πετρελαίου σε βιολογικά ευαίσθητες ή οικονομικά σημαντικές περιοχές όπως οι εισοδοί λιμανιών, τα στόμια εισόδου ύδατος ψύξης σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι υδατοκαλλιέργειες και τα καταφύγια άγριας ζωής.

Ένα πλωτό φράγμα (βλ. επόμενη εικόνα) αποτελείται από ένα θάλαμο επίπλευσης (flotation chamber), δηλαδή ένα σωλήνα που είναι γεμάτος με αέρα ή αφρό προκειμένου να παρέχει πλευστότητα και μια κουρτίνα (skirt) που αναρτάται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η κάτω ακμή της κουρτίνας ενισχύεται με αλυσίδα συγκράτησης (ballast chain). Η αλυσίδα συγκράτησης απορροφά τις δυνάμεις που ασκούνται στο πλωτό φράγμα και το βάρος της βοηθά στη διατήρηση κάθετου προσανατολισμού του φράγματος. [19]



Εικόνα 1.10: Σχηματική απεικόνιση πλωτού φράγματος. [19]

Η μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας του πλωτού φράγματος, αφού αναπτυχθεί στην περιοχή της πετρελαιοκηλίδας, επιτάσσει τη χρησιμοποίηση δυο πλοίων που το ρυμουλκούν από τα δύο άκρα του, συγκεντρώνοντας το πετρέλαιο στην κορυφή του. [19] Οι διατάξεις ρυμούλκησης που χρησιμοποιούνται είναι οι «J», «U» και «V», όπως απεικονίζεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 1.11: Σχηματική απεικόνιση διατάξεων ανάπτυξης και ρυμούλκησης πλωτού φράγματος από δυο πλοία. Το πετρέλαιο εγκλωβίζεται στη κορυφή του φράγματος και ανακτάται με ελαιοσυλλέκτη (skimmer). [19]

Ο ρυθμός με τον οποίο παγιδεύεται το πετρέλαιο στο φράγμα είναι το γινόμενο του μέγιστου εύρους που σχηματίζουν τα άκρα του (swathe width), της ταχύτητας ρυμούλκησης και του πάχους της πετρελαιοκηλίδας. Συμπεραίνεται πως προκειμένου να μεγιστοποιηθεί αυτός ο ρυθμός και να ανακτηθεί η μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα πετρελαίου, απαιτείται η μεγιστοποίηση του εύρους των άκρων, η χρήση της βέλτιστης ταχύτητας ρυμούλκησης (για ταχύτητες μεγαλύτερες από 0,75 κόμβους προκαλείται οριζοντίωση του φράγματος και διαφυγή του πετρελαίου από την επιφάνεια ή δίνη του πετρελαίου και διαφυγή του κάτω από την κουρτίνα) και μέγιστο πάχος πετρελαιοκηλίδας (πριν η πετρελαιοκηλίδα αρχίζει να εξαπλώνεται και να διασπάται).

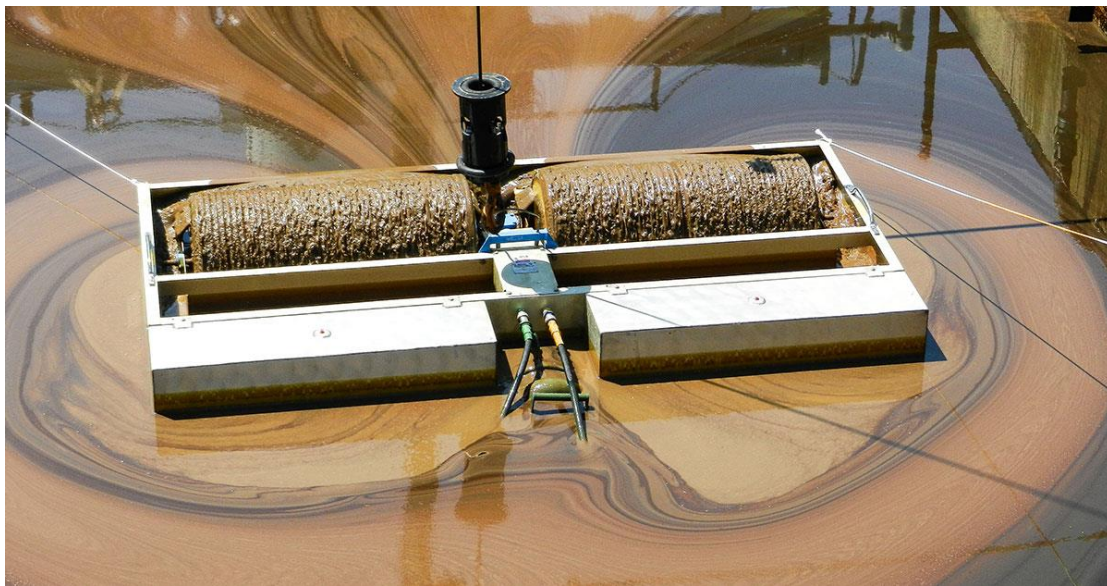
Αφού η πετρελαιοκηλίδα έχει περιοριστεί στην κορυφή του πλωτού φράγματος, μια διάταξη ελαιοσυλλέκτη χρησιμοποιείται για την ανάκτησή του και τη μεταφορά του σε δεξαμενές ενδιάμεσης αποθήκευσης. Μια διάταξη ελαιοσυλλέκτη αποτελείται από μια πηγή ισχύος, μια διάταξη επίπλευσης για την παροχή πλευστότητας, μια διάταξη ανάκτησης για την αφαίρεση του πετρελαίου από την επιφάνεια της θάλασσας και μια αντλία με σωλήνες για τη μεταφορά του πετρελαίου. Οι ελαιοσυλλέκτες, σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας τους, κατηγοριοποιούνται σε: [19]

- Ελαιοσυλλέκτες με χείλος υπερχειλίσης και πλωτήρες (weir skimmers). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάκτηση κάθε είδους πετρελαίου. Μειονέκτημά τους αποτελεί το γεγονός ότι ανακτούν ταυτόχρονα μεγάλη ποσότητα νερού.
- Ελαιοσυλλέκτες με ελαιόφιλη τεχνολογία (oleophilic skimmers). Η διάταξη ανάκτησης αποτελείται κυρίως από βούρτσες (για μεσαίου έως υψηλού ιξώδους πετρελαίου), δίσκους, τύμπανα (για χαμηλού έως μεσαίου ιξώδους πετρελαίου). Έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να συλλέξουν έως και 95 % πετρέλαιο.
- Μηχανικοί ελαιοσυλλέκτες (mechanical skimmers). Αφαιρούν το πετρέλαιο με τη χρήση διχτύων, τυμπάνων, μεταφορικών ταινιών και κάδων με γερανό ανύψωσης. Είναι αποτελεσματικοί σε περίπτωση πετρελαιοειδών με υψηλό ιξώδες, σε γαλακτώματα και προχωρημένης γήρανσης πετρέλαια και σε θαλάσσιες περιοχές με υψηλές ποσότητες επιπλεόντων αντικειμένων.





Εικόνα 1.12: Ελαιοσυλλέκτης με χείλος υπερχειλίσσης και πλωτήρες (weir skimmers).  
Πηγή: <https://spillpro.com.au/information-and-news/the-applications-and-benefits-of-weir-skimmers>



Εικόνα 1.13: Διάταξη ελαιοσυλλέκτη με ελαιόφιλα τύμπανα (oleophilic drum skimmer).  
Πηγή: <https://spillpro.com.au/information-and-news/the-applications-and-benefits-of-drum-skimmers>

Η επιτυχία της κάθε μεθόδου αντιμετώπισης πετρελαϊκής ρύπανσης εξαρτάται από το εάν η εφαρμογή της λάβει χώρα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό πλαίσιο εντός του οποίου η συγκεκριμένη μέθοδος παρουσιάζει την μέγιστη αποτελεσματικότητα. Αυτό το χρονικό πλαίσιο καλείται «παράθυρο ευκαιρίας» (window of opportunity). Για τη μέθοδο που μόλις αναλύθηκε (εγκλωβισμός και ανάκτηση), το παράθυρο ευκαιρίας ξεκινά όσο το δυνατό συντομότερα από την απόρριψη του πετρελαίου. [19] Δηλαδή όσο

το δυνατό πιο νωρίς ξεκινήσουν οι επιχειρήσεις εγκλωβισμού και ανάκτησης, τόσο πιο αποτελεσματικές θα είναι. Αυτό συσχετίζεται άμεσα με τις διαδικασίες γήρανσης στις οποίες υπόκειται το πετρέλαιο κατά το αρχικό χρονικό διάστημα απόρριψής του. Όταν η εξάτμιση, η εξάπλωση και ο κατακερματισμός του πετρελαίου δεν έχουν προχωρήσει αρκετά, υπάρχει η δυνατότητα αποτελεσματικού περιορισμού και ανάκτησής του με επαρκές πάχος επιφανείας. Επιπλέον, όπως είδαμε, υπάρχουν και είδη ελαιοσυλλεκτών με δυνατότητα ανάκτησης υψηλού ιξώδους πετρελαιοειδών και γαλακτωμάτων, όπου η γήρανση έχει επέλθει σημαντικά.

Λόγω του φαινομενικά καθαρού περιβαλλοντικού αντίκτυπού της, η μέθοδος εγκλωβισμού και ανάκτησης του πετρελαίου θεωρείται συχνά η πρωταρχική ή προτιμητέα μέθοδος αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδας. Ωστόσο, σε αυτή τη θεώρηση θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το αυξημένο αποτύπωμα άνθρακα (carbon footprint) των πλοίων, των μηχανών τροφοδοσίας των διατάξεων ανάκτησης και των αεροσκαφών συντονισμού που συμμετέχουν σε μια τέτοια επιχείρηση καθώς και το περιβαλλοντικό αντίκτυπο από την μεταφορά, επεξεργασία και διάθεση του υπολείμματος πετρελαίου.

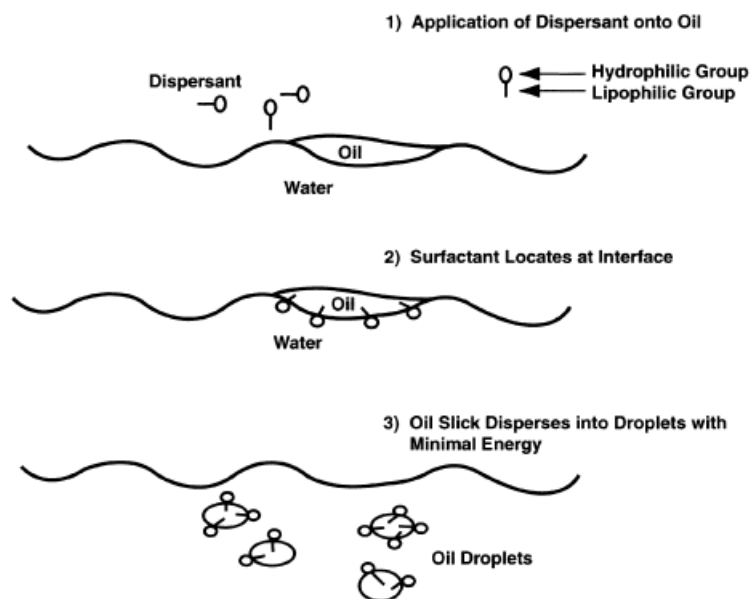
### **1.5.2 Χημικές Διασκορπιστικές Ουσίες**

Η χρήση των χημικών διασκορπιστικών ουσιών (Χ.Δ.Ο.) ή εν συντομία χημικά διασκορπιστικά (chemical dispersants) αποτελεί μια από τις διαθέσιμες μεθόδους καταπολέμησης μιας πετρελαιοκηλίδας. Τα διασκορπιστικά ελαχιστοποιούν τον προκαλούμενο κίνδυνο ενός περιστατικού απελευθέρωσης πετρελαιοειδών αφαιρώντας πετρέλαιο από την επιφάνεια της θάλασσας, αποτρέποντας την μόλυνση παράκτιων οικότοπων και ενισχύοντας τη διεργασία της βιοαποικοδόμησης που διασπά το πετρέλαιο.

Ως γνωστόν, όταν πετρέλαιο χυθεί στην επιφάνεια της θάλασσας, η ενέργεια των κυμάτων το διασπά σε σταγονίδια, τα οποία ωθούνται προς τα κάτω στη στήλη του ύδατος. Η διάμετρος των σταγονιδίων κυμαίνεται από 0,05 έως 0,1 mm, αρκετά μεγάλη για να ανέλθουν προς την επιφάνεια. Τα σταγονίδια μικρότερης διαμέτρου ανεβαίνουν πιο αργά προς την επιφάνεια. Με τη βοήθεια δίνης που παράγεται κάτω από την επιφάνεια σε μέτριες καιρικές συνθήκες, τα μικρά σταγονίδια μπορούν να συγκρατούνται στην άνω στήλη ύδατος και να επέλθει η διάλυσή τους. [20]

Τα διασκορπιστικά είναι χημικές ουσίες ενισχύουν τη φυσική διασπορά του πετρελαίου, μειώνοντας την επιφανειακή τάση μεταξύ πετρελαίου και νερού. Με αυτόν τον τρόπο, διευκολύνουν τη δημιουργία πολλών μικρών σταγονιδίων πετρελαίου μέσω της κυματικής δράσης. [25] Τα διασκορπιστικά αποτελούνται από επιφανειοδραστικούς παράγοντες (surfactants) διαλυμένους σε έναν ή περισσότερους διαλύτες (solvents). Οι επιφανειοδραστικοί παράγοντες παρουσιάζουν χημική συνάφεια (affinity) τόσο για το πετρέλαιο (λιπόφιλη) όσο και για το νερό (υδρόφιλη). Κατά την εφαρμογή του χημικού διασκορπιστικού σε ένα υμένιο πετρελαίου, οι επιφανειοδραστικοί παράγοντες διαχέονται στην διεπιφάνεια που σχηματίζει το πετρέλαιο με το νερό και αποκτούν

τέτοιο προσανατολισμό ούτως ώστε το λιπόφιλο άκρο του μορίου συνδέεται με το πετρέλαιο και το υδρόφιλο άκρο εκτείνεται προς το νερό. Έτσι, μειώνεται η επιφανειακή τάση μεταξύ του νερού και του πετρελαίου. [34] Οι διαλύτες επιτελούν δυο λειτουργίες: μειώνουν το ιξώδες της επιφανειοδραστικής ουσίας, για να μπορεί να ψεκαστεί και προάγουν την διείσδυση αυτής της ουσίας στη πετρελαιοκηλίδα. Η δράση των κυμάτων είναι ικανή να διασπάζει το πετρέλαιο σε σταγονίδια, πολύ μικρής διαμέτρου (1-70 μm). Ο μηχανισμός αυτός φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 1.14: Τρόπος δράσης χημικών διασκορπιστικών ουσιών. [33]

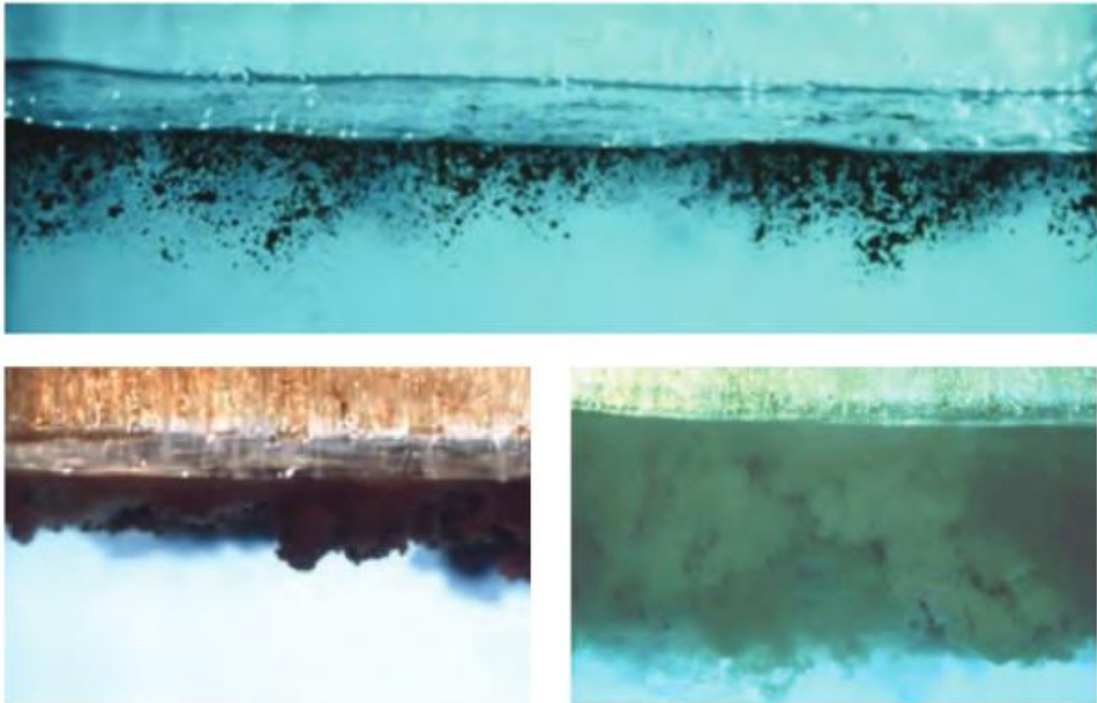
Η ταχύτητα με την οποία σταγονίδια με αυτό το μέγεθος επανέρχονται προς την επιφάνεια εξισορροπείται από τη δίνη της θάλασσας και έτσι τα σταγονίδια παραμένουν σε αιώρηση με συνέπεια τη γρήγορη διάλυσή τους στην στήλη ύδατος. Η παρουσία των επιφανειοδραστικών μορίων στην επιφάνεια των σταγονιδίων και η μειωμένη πιθανότητα τα σταγονίδια να έρθουν σε επαφή καθώς διαχωρίζονται και διαλύονται, μειώνει την δυνατότητα επανένωσής τους και επαναδημιουργίας πετρελαιοκηλίδας.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η διεργασία που περιγράφηκε μπορεί να μη συμβαίνει άμεσα. Για παράδειγμα, στα βαρέα πετρέλαια και στα συμπυκνώματα ο ρυθμός του χημικού διασκορπισμού είναι αργός λόγω του περισσότερου χρόνου που απαιτείται για να διεισδύσει το διασκορπιστικό στο πετρέλαιο και να φτάσει την διεπιφάνεια.

Ο χημικός διασκορπισμός έχει επίσης ως συνέπεια την αυξημένη βιοαποικοδόμηση του πετρελαίου από μικροοργανισμούς. Αυτό συμβαίνει διότι ο διασκορπισμός του πετρελαίου σε πολύ μικρά σταγονίδια αυξάνει την επιφάνεια του πετρελαίου και κατά συνέπεια την διαθέσιμη επιφάνεια για βιοαποικοδόμηση. Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν το πετρέλαιο δεν είναι διασκορπισμένο αλλά επιπλέει στην επιφάνεια του



νερού, η διαθέσιμη προς αποικοδόμηση επιφάνεια είναι κατά πολύ μικρότερη και πρόκειται για την επιφάνεια διεπαφής πετρελαίου – νερού αφού οι μικροοργανισμοί που πραγματοποιούν την αποικοδόμηση ζουν στο νερό. [25]



*Εικόνα 1.15: Φωτογραφίες διασποράς πετρελαίου σε συνθήκες εργαστηρίου. Επάνω: Δίχως προσθήκη διασκορπιστικού. Κάτω αριστερά: Με προσθήκη διασκορπιστικού. Κάτω δεξιά: Λίγα δευτερόλεπτα μετά, όπου έλαβε χώρα ταχεία διάλυση. [33]*

Η αποτελεσματικότητα των διασκορπιστικών περιορίζεται από φυσικούς και χημικούς παράγοντες. Οι πιο σημαντικοί από αυτούς είναι οι καιρικές συνθήκες και οι ιδιότητες του πετρελαίου. Η επιτυχής χρήση διασκορπιστικών απαιτεί μια ελάχιστη ενέργεια κύματος που παρέχεται από τον άνεμο. Η βέλτιστη ταχύτητα ανέμου είναι 4-12 m/s (3-6 Beaufort). Επιπρόσθετα, η αποτελεσματικότητα ενός διασκορπιστικού μειώνεται καθώς το ιξώδες ενός πετρελαίου αυξάνεται. Τα περισσότερα διασκορπιστικά είναι λίγο αποτελεσματικά για ιξώδες μεγαλύτερο του εύρους 5.000 – 10.000 cSt. Συνήθως, τα μεγάλα ιξώδη προέρχονται από πετρέλαιο σε προχωρημένη γήρανση, όταν και το «παράθυρο ευκαιρίας» για την επιτυχή εφαρμογή διασκορπιστικού έχει παρέλθει. Η χρονική περίοδος του παραθύρου ευκαιρίας σε αυτή την περίπτωση είναι μεταξύ λίγων ωρών και λίγων ημερών από την απελευθέρωση του πετρελαίου αλλά εξαρτάται και από τον τύπο του πετρελαίου και τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. [25]

Ο ψεκασμός των χημικών διασκορπιστικών ουσιών γίνεται από αεροσκάφη ή πλοία. Σε σχέση με άλλους μεθόδους αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδων, η χρήση διασκορπιστικών ουσιών μπορεί να αποτελέσει την πιο γρήγορη και αποτελεσματική τεχνική για την αφαίρεση του πετρελαίου διότι: α) Ο ψεκασμός των διασκορπιστικών από αεροσκάφη

επιτρέπει τη διασπορά μεγάλης επιφάνειας πετρελαίου στη θάλασσα σε σχετικά σύντομο χρόνο, β) Η δυνατότητα εναέριας εφαρμογής είναι εφικτή σε σύντομο χρονικό διάστημα σε απομακρυσμένες περιοχές, γ) Υπάρχει μειωμένη έκθεση και κίνδυνος ασφαλείας στο προσωπικό που απασχολείται στην αντιμετώπιση της πετρελαιοκηλίδας και στους πολίτες, δ) Η χρήση διασκορπιστικών μπορεί να εφαρμοστεί ως μέθοδος καταπολέμησης πετρελαιοκηλίδας σε τρικυμιώδη κατάσταση θάλασσας, όπου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο εγκλωβισμός – ανάκτηση του πετρελαίου και η καύση του.

Η μελέτη των διασκορπιστικών παρουσιάζει και άλλες πτυχές, ορισμένες από τις οποίες είναι η ταξινόμησή τους και η τοξικότητά τους. Αυτές θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο, όπου θα εξεταστεί το ρυθμιστικό πλαίσιο που διέπει την έγκριση αυτών των ουσιών ως προϊόντα.

### **1.5.3 Προσοφητικά υλικά**

Ως προσοφητικά υλικά (sorbent materials) νοείται ένα μεγάλο εύρος προϊόντων, που έχουν σχεδιαστεί να χρησιμοποιούνται ως μέσα αντιμετώπισης της ρύπανσης από πετρέλαιο. Τα προσοφητικά υλικά στηρίζονται στη ρόφηση (sorption), κατά την οποία το υλικό προσελκύει το πετρέλαιο σε σχέση με το νερό, δηλαδή είναι ταυτόχρονα ολεοφιλικό και υδρόφοβο. Η ρόφηση μπορεί περαιτέρω να διαχωριστεί σε απορρόφηση (absorption) και προσρόφηση (adsorption). Τα περισσότερα προσοφητικά υλικά στηρίζονται στην προσρόφηση, όπου το πετρέλαιο προσελκύεται επί της επιφάνειας του υλικού ενώ στην απορρόφηση το πετρέλαιο, ή οποιοδήποτε άλλο υγρό, ενσωματώνεται στο σώμα του υλικού. [3]

Η ομαδοποίηση των υλικών προσρόφησης γίνεται σε τρεις κύριες κατηγορίες: υλικά που προέρχονται από ορυκτές πρώτες ύλες, συνθετικά προϊόντα και προϊόντα φυτικής προέλευσης. Στα προϊόντα που προέρχονται από ορυκτές πρώτες ύλες περιλαμβάνονται υλικά όπως οι ζεόλιθοι, ο περλίτης, ο γραφίτης, οι βερμικουλίτες, οι άργιλοι και ο διατομίτης. Τα συνθετικά προϊόντα περιλαμβάνουν silica aerogels, συνθετικό ζεόλιθο από ιπτάμενη τέφρα και πολυμερή υλικά όπως πολυπροπυλένιο και πολυουρεθάνη, τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως για απορρόφηση των πετρελαιοκηλίδων λόγω των ελαιοφίλων και υδρόφοβων χαρακτηριστικών τους. [49]



Εικόνα 1.16: Προσοφητικό υλικό σε μορφή προβόλου (boom). Πηγή: <https://www.indiamart.com/proddetail/marine-sorbent-sorbent-booms-containment-booms-21362223188.html>

Η χρήση των προσοφητικών υλικών γίνεται κατά τα τελευταία στάδια του καθαρισμού των ακτών από το πετρέλαιο καθώς και σε περιπτώσεις μικρών κηλίδων πετρελαίου που δεν μπορούν εύκολα να ανακτηθούν με άλλες μεθόδους καθαρισμού. Τα προσοφητικά υλικά δεν ενδείκνυνται για χρησιμοποίηση στην ανοιχτή θάλασσα και γενικότερα παρουσιάζουν μικρότερη αποτελεσματικότητα για βαρέα πετρέλαια και για γαλακτώματα.

#### **1.5.4 Επιτόπου καύση**

Η επιτόπου καύση (in-situ burning) είναι η ελεγχόμενη καύση ατμών υδρογονανθράκων που προέρχονται από τις πετρελαιοκηλίδες. Με αυτό τον τρόπο αφαιρείται μεγάλος όγκος πετρελαίου οικονομικά και αποτελεσματικά, εξοικονομώντας τα κόστη συλλογής, αποθήκευσης, μεταφοράς και διάθεσης τα οποία συνεπάγονται από την εφαρμογή άλλων μεθόδων καταπολέμησης της ρύπανσης από πετρέλαιο.

Η καύση της πετρελαιοκηλίδας απαιτεί καταρχήν την ύπαρξη κατάλληλης πηγής ανάφλεξης. Ο αέρας πρέπει να θερμανθεί τόσο ώστε επαρκή ποσότητα υδρογονανθράκων να εξατμιστεί για να προκληθεί η καύση τους. Η συνεχόμενη καύση απαιτεί συνεχή παροχή τέτοιων ατμών. Κατά την καύση μιας πετρελαιοκηλίδας, το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας διαφεύγει μέσω των αερίων καύσης προς το περιβάλλον. Ωστόσο, ένα μικρό τμήμα της θερμότητας (περίπου 1 %) ακτινοβολείται προς την πετρελαιοκηλίδα, προκαλώντας μερική εξάτμιση και παρέχοντας συνεχή παροχή ατμών υδρογονανθράκων για να συντηρηθεί η καύση.

Η επιτόπου καύση είναι αποτελεσματική όταν το πάχος της πετρελαιοκηλίδας είναι μεγάλο, διότι τότε το πετρέλαιο είναι ικανό να διατηρήσει την υψηλή θερμοκρασία του για μεγαλύτερες χρονικές περιόδους και να μειώσει τις απώλειες θερμότητας που συμβαίνουν λόγω επαφής του με το νερό. Συνεπώς, πριν την καύση προηγείται εγκλωβισμός και συγκέντρωση του πετρελαίου με πυρίμαχα πλωτά φράγματα (φτιάχνονται από κεραμικά υλικά ή ανοξειδωτο χάλυβα), για να αντέχουν τις υψηλές θερμοκρασίες για ικανά χρονικά διαστήματα.

Ακόμα, η επιτόπου καύση απαιτεί την ύπαρξη ενός συστήματος ανάφλεξης, το οποίο θα μπορεί να παρέχει αρκετή θερμότητα για τη δημιουργία ικανής ποσότητας ατμών υδρογονανθράκων για την έναυση και τη διατήρηση της καύσης. Παράλληλα, η χρήση του συστήματος ανάφλεξης θα πρέπει να μη θέτει σε κίνδυνο την σωματική ακεραιότητα του εμπλεκόμενου προσωπικού καταπολέμησης της θαλάσσιας ρύπανσης, που στην περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου που αναλύεται απαιτείται η επίδειξη μέγιστης επιμέλειας. Παλαιότερα, τα συστήματα ανάφλεξης ήταν φλόγιστρα προπανίου και βουτανίου, που απαιτούσαν την εγγύτητα του προσωπικού με το φλεγόμενο πετρέλαιο. Πλέον, οι πιο προχωρημένες διατάξεις ανάφλεξης είναι «helitorch». Όπως το πρώτο συνθετικό της λέξης του προΐδεάζει, ένα helitorch αναρτάται σε ελικόπτερο και ψεκάζει καιγόμενο πηκτό καύσιμο προς την πετρελαιοκηλίδα. Το πηκτό καύσιμο προκύπτει από τη μίξη ενός πηκτωματογόνου παράγοντα (gelling agent) με βενζίνη ή diesel ή καύσιμα αεροπορίας.

Σε ό,τι αφορά τα πετρέλαια που βρίσκονται σε προχωρημένο στάδιο γήρανσης, όπως τα γαλακτώματα, η χρήση της επιτόπου καύσης δεν επιτυγχάνεται πάντα λόγω της μεγάλου περιεχομένου τους σε νερό. Όσο υψηλότερη είναι η αναλογία αυτή, τόσο δυσκολότερα μπορεί να επιτευχθεί η καύση του πετρελαίου.

Η εφαρμογή της επιτόπου καύσης της πετρελαιοκηλίδας θέτει περιβαλλοντικά ζητήματα και ζητήματα υγείας. Η ανθρώπινη και θαλάσσια ζωή εκτίθεται στις σοβαρές επιπτώσεις που προκαλούνται από την εισπνοή σωματιδίων και την επαφή του δέρματος με το καμένο υπόλειμμα. Η καύση της πετρελαιοκηλίδας παράγει σωματίδια που ταξινομούνται ως PM<sub>10</sub> (μείγμα υγρών σταγονιδίων και στερεών σωματιδίων διαμέτρου 0-10 μm) και PM<sub>2,5</sub> (σωματίδια διαμέτρου μικρότερης από 2,5 μm). Όταν σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 10 μm εισπνέονται, προκαλούν βλάβη στους πνεύμονες. Άλλα συστατικά που παράγονται από την καύση του πετρελαίου και είναι επιβλαβή είναι πτητικά οργανικά συστατικά, πολυαρωματικοί κυκλικοί υδρογονάνθρακες, μονοξειδίο του άνθρακα, διοξειδίο του θείου, οξειδίο του αζώτου, διοξειδίο του άνθρακα και διοξίνες.

Η καύση του πετρελαίου αφήνει καμένο υπόλειμμα, που αποτελείται από μεγάλη συγκέντρωση ασφατένιων, κήρων και μετάλλων. Το υπόλειμμα σχηματίζει πίσσα που επιπλέει και μπορεί εύκολα να συλλεχθεί και να αποθηκευθεί προσωρινά. Τα υπολείμματα θεωρούνται ότι αποτελούν μικρό κίνδυνο μόλυνσης της θαλάσσιας ζωής.

[34]



*Εικόνα 1.17: Επιτόπου καύση πετρελαίου κατά την καταπολέμηση της πετρελαιοκηλίδας του ατυχήματος που συνέβη το 2010 στον κόλπο του Μεξικού. Πηγή: [https://www.researchgate.net/figure/Controlled-in-situ-burning-in-the-Gulf-of-Mexico-after-containing-the-oil-with-a-fire\\_fig8\\_344402983](https://www.researchgate.net/figure/Controlled-in-situ-burning-in-the-Gulf-of-Mexico-after-containing-the-oil-with-a-fire_fig8_344402983)*

## **1.6 Επιπτώσεις θαλάσσιας ρύπανσης από πετρελαιοειδή**

Η ρύπανση από πετρέλαιο μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις στα θαλάσσια οικοσυστήματα, στα θηλαστικά, στα πτηνά της θάλασσας, καθώς και στον άνθρωπο.

Γενικά, το πετρέλαιο επιδρά στους οργανισμούς και στο περιβάλλον με τους ακόλουθους μηχανισμούς:

- Με την πρόκληση φυσικής ασφυξίας που έχει αρνητική επίδραση στις φυσιολογικές λειτουργίες,
- Με την πρόκληση χημικής τοξικότητας που μπορεί να προκαλέσει το θάνατο ή έκπτωση στη λειτουργία των κυττάρων,
- Με την πρόκληση οικολογικών μεταβολών, κυρίως την απώλεια σημαντικών οργανισμών από ένα οικοσύστημα και την κατάληψη του οικοσυστήματος από ευκαιριακά είδη και
- Έμμεσες επιδράσεις, όπως η απώλεια ενδιαιτημάτων που συνεπάγεται την εξαφάνιση οικολογικά σημαντικών ειδών.

Η φύση και η διάρκεια των επιπτώσεων εξαρτώνται από τον τύπο και την ποσότητα του πετρελαίου, την συμπεριφορά του στο θαλάσσιο περιβάλλον, τις κλιματικές συνθήκες



και τα φυσικά χαρακτηριστικά της τοποθεσίας που λαμβάνει χώρα η πετρελαιοκηλίδα, την εποχή του χρόνου και την θερμοκρασία. Άλλοι σημαντικοί παράγοντες είναι η βιολογική σύνθεση του περιβάλλοντος που επηρεάζεται, η οικολογική σημασία των ειδών του και η ευαισθησία τους στη θαλάσσια ρύπανση. Η επιλογή της τεχνικής αντιμετώπισης της πετρελαιοκηλίδας και η αποτελεσματικότητα με την οποία διεξάγεται έχει επίσης αντίκτυπο στην περιβαλλοντική επίδραση του πετρελαίου.

Όσον αφορά τα ψάρια, το πετρέλαιο επηρεάζει αρνητικά τον ρυθμό ανάπτυξης και αναπαραγωγής τους, την εισπνοή τους, τα βράγχιά τους, προκαλεί μορφολογικές ανωμαλίες και θανατηφόρα επίδραση στα νέα άτομα. Ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις, το πετρέλαιο επηρεάζει το κυκλοφορικό σύστημα των ψαριών και μπορεί να προκαλέσει τον θάνατο.

Τα θαλάσσια πτηνά είναι επίσης ευάλωτα στο πετρέλαιο. Το πετρέλαιο προκαλεί βλάβη σε πτηνά όπως θαλάσσιες χήνες, πγκουίνους, αλκίδες, κορμοράνους και άλλα είδη. Τα πτηνά επηρεάζονται από το πετρέλαιο κυρίως μέσω της λίπανσης των φτερών τους με αυτό. Αυτό συμβαίνει λόγω της επαφής των πτηνών με το πετρέλαιο κατά την κολύμβηση ή κατάδυσή τους μέσα στο νερό. Ως συνέπεια, καταστρέφεται η πλευστότητα και η μόνωση που παρέχουν τα φτερά, οδηγώντας σε υποσιτισμό, υποθερμία (θάνατος λόγω απώλειας θερμότητας) και τελικά στον πνιγμό τους. Επίσης, όταν τα πτηνά καθαρίζουν τα φτερά τους, καταπίνουν πετρέλαιο και εκτίθενται στις τοξικές επιδράσεις των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων. Η κατάποση του πετρελαίου μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές ζημιές όπως βλάβη στο συκώτι, στους πνεύμονες, στη λειτουργία του νεφρού και σε αιμολυτική αναιμία. Οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες εισάγονται στο κυκλοφορικό σύστημα προκαλώντας μόλυνση του πλάσματος και των ιστών.

Τα κητώδη θηλαστικά, όπως οι φάλαινες και τα δελφίνια εκτίθενται σε κίνδυνο από το πετρέλαιο σε περίπτωση που προσπαθήσουν να ανέλθουν στην επιφάνεια για να αναπνεύσουν ή να καταδυθούν, σε θαλάσσια περιοχή όπου πετρέλαιο έχει διαρρεύσει. Σε αυτά τα ζώα, έχει παρατηρηθεί βλάβη στον ρινικό ιστό και στα μάτια. Παρομοίως, θηλαστικά όπως οι φώκιες και οι βίδρες που παραμένουν για αρκετό χρόνο μέσα στη θάλασσα, έχουν αυξημένες πιθανότητες να εκτεθούν στο πετρέλαιο. Τα είδη που στηρίζονται στη γούνα τους για να ρυθμίσουν τη θερμοκρασία τους είναι τα πιο ευάλωτα από το πετρέλαιο, καθώς αυτά τα ζώα μπορούν να πεθάνουν από υποθερμία ή θερμοπληξία (ανάλογα με την εποχή του χρόνου), όταν η γούνα τους ρυπανθεί από αυτό.

Η προσβολή των ευαίσθητων οικοσυστημάτων της παλιρροιακής ζώνης, που αποτελούνται από θαλάσσια φυτά και πεταλίδες, αντιπροσωπεύει τις σημαντικότερες αρνητικές συνέπειες του πετρελαίου. Αυτό αποτελεί και το λόγο που η αποτροπή ρύπανσης των ακτών είναι μέγιστης προτεραιότητας κατά τον σχεδιασμό καταπολέμησης των πετρελαιοκηλίδων. [41]

## 1.7 Σχέδια έκτακτης ανάγκης για την αντιμετώπιση περιστατικών ρύπανσης από πετρελαιοειδή

Η αντιμετώπιση ενός συμβάντος απόρριψης σημαντικής ποσότητας πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον απαιτεί τη λήψη αποφάσεων σε σύντομο χρονικό διάστημα. Αυτό επιτυγχάνεται μόνο εάν όλοι οι υπεύθυνοι είναι επαρκώς προετοιμασμένοι να εκτιμήσουν την εξελισσόμενη κατάσταση, να πάρουν κρίσιμες αποφάσεις και να κινητοποιήσουν τους κατάλληλους πόρους δίχως δισταγμό και χρονοτριβή. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού, είναι απαραίτητη η εκπόνηση σχεδίου έκτακτης ανάγκης (contingency plan) για την αντιμετώπιση περιστατικών ρύπανσης από πετρελαιοειδή.

Η Διεθνής Σύμβαση “για την ετοιμότητα, συνεργασία και αντιμετώπιση της ρύπανσης της θάλασσας από πετρέλαιο” του 1990 (OPRC Convention) αναγνωρίζει τη σημασία του σχεδιασμού αντιμετώπισης της ρύπανσης της θάλασσας από πετρελαιοειδή και ενθαρρύνει τα συμβαλλόμενα κράτη να αναπτύξουν ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την εκπόνηση σχεδίων αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδων. Τα ανωτέρω σχέδια εκπονούνται τόσο για απλές εγκαταστάσεις που χειρίζονται υδρογονάνθρακες όσο και σε εθνική ή/και διεθνής κλίμακα σε περίπτωση σοβαρού περιστατικού. Οι διατάξεις αυτές έχουν ως σκοπό τη παροχή ικανότητας κλιμακούμενης ανταπόκρισης σε ένα περιστατικό μέσω μιας σειράς συμβατών και αλληλοσυνδεόμενων σχεδίων έκτακτης ανάγκης.

Ένα σχέδιο έκτακτης ανάγκης αποτελείται από τέσσερα μέρη:

- Την εκτίμηση κινδύνου (risk assessment) όπου αναλύεται η πιθανότητα να συμβεί μια πετρελαιοκηλίδα στην γεωγραφική περιοχή που εξετάζεται και τις συνέπειες που αναμένονται από αυτήν.
- Την στρατηγική αντιμετώπισης (strategic policy) όπου, αφού ληφθούν υπόψη τοπικοί, εθνικοί και διεθνείς κανονισμοί, καθορίζονται οι τεχνικές αντιμετώπισης, οι πόροι που πρέπει να διατεθούν για την εφαρμογή των τεχνικών αντιμετώπισης, η διοίκηση ενός περιστατικού, οι ευθύνες που απορρέουν καθώς και διαδικασίες εκπαίδευσης και αναθεώρησης του σχεδίου.
- Τις επιχειρησιακές διαδικασίες (operation procedures) που αποτελούν την επιχειρησιακή εφαρμογή των διατάξεων που προβλέπονται στη στρατηγική αντιμετώπισης και
- Κατάλογο Πληροφοριών (Information Directory) όπου περιλαμβάνονται τρόποι επικοινωνίας με φορείς που εμπλέκονται σε ένα περιστατικό αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδας, υποδείγματα σύνταξης αναφορών, τήρησης αρχείου εξόδων και γενικές οδηγίες για την εφαρμογή των τεχνικών αντιμετώπισης. [28]

Στην Ελλάδα, η Διεύθυνση Προστασίας Θαλασσιού Περιβάλλοντος (ΔΙ.Π.ΘΑ.Π.) του Υπουργείου Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής είναι ο υπεύθυνος φορέας για την κατάρτιση και παρακολούθηση του εθνικού σχεδιασμού έκτακτης ανάγκης για την αντιμετώπιση της ρύπανσης της θάλασσας και των ακτών από πετρέλαιο και άλλες

επιβλαβείς ουσίες. Ο σχεδιασμός υλοποιείται μέσω της ΔΙ.Π.ΘΑ.Π. και των κατά τόπους Λιμενικών Αρχών. [49]

Το κύριο εργαλείο για το σχεδιασμό είναι το Εθνικό Σχέδιο Έκτακτης Ανάγκης (National Contingency Plan, NCP), το οποίο θεσπίστηκε με το Προεδρικό Διάταγμα 11/2002 (ΦΕΚ Α' 6) για την αντιμετώπιση των περιστατικών ρύπανσης του θαλασσιού περιβάλλοντος από πετρέλαιο και άλλες επιβλαβείς ουσίες. Σύμφωνα με αυτό προβλέπονται τρία επίπεδα κινητοποίησης ανάλογα με τη σοβαρότητα του περιστατικού ρύπανσης, η οποία σχετίζεται με την ποσότητα του πετρελαίου που έχει διαρρεύσει. Το πρώτο επίπεδο κινητοποίησης αναφέρεται σε περιστατικά που πρέπει να αντιμετωπίζονται με τα διαθέσιμα μέσα κάθε εγκατάστασης ή εμπορικού λιμένα. Τα σχέδια που εφαρμόζονται σε τέτοια περιστατικά που ενέχουν ποσότητα διαφυγόντος πετρελαίου έως και 7 τόνους, είναι είτε το εγκεκριμένο σχέδιο για τις ενέργειες της διοίκησης του λιμένα (Port Contingency Plan, PCP) είτε το εγκεκριμένο σχέδιο για τις ενέργειες της εγκατάστασης πετρελαίου (Facility Contingency Plan, FCP) είτε, τέλος, το τοπικό σχέδιο έκτακτης ανάγκης (Local Contingency Plan, LCP), το οποίο είναι εγκεκριμένο σχέδιο για τις ενέργειες της Λιμενικής Αρχής. Το δεύτερο επίπεδο κινητοποίησης, το οποίο εφαρμόζεται στην περίπτωση διαφυγής ποσότητας πετρελαίου μεγαλύτερης από 7 τόνους και μικρότερης από 700 τόνους, απαιτεί το συντονισμό ενός μεγαλύτερου αριθμού προσωπικού και εξοπλισμού. Έτσι, λοιπόν, στην περίπτωση αυτή, εφαρμόζεται είτε το τοπικό σχέδιο έκτακτης ανάγκης (FCP) είτε το περιφερειακό σχέδιο έκτακτης ανάγκης (Regional Contingency Plan, RCP), το οποίο αποτελεί συνδυασμό των διαφόρων τοπικών σχεδίων των εμπλεκόμενων λιμενικών αρχών, είτε το εθνικό σχέδιο έκτακτης ανάγκης (National Contingency Plan, NCP). Κατά το τρίτο επίπεδο κινητοποίησης, το οποίο αφορά σοβαρά περιστατικά μεγάλης έκτασης διαφυγής πετρελαίου (από 700 τόνους και άνω), πρέπει να χρησιμοποιηθούν όλα τα διαθέσιμα μέσα, όπως και το πλήρες δίκτυο της καταπολέμησης της ρύπανσης, οπότε και έχει εφαρμογή το εθνικό σχέδιο έκτακτης ανάγκης. Παρόλα αυτά, πρέπει να σημειωθεί ότι το όριο των 700 τόνων δεν είναι δεσμευτικό, αλλά ότι το επίπεδο της κινητοποίησης καθορίζεται επίσης από τις εν γένει συνθήκες του περιστατικού και τον κίνδυνο που ενέχουν ενόψει του μεγέθους της ρύπανσης. [49]

Είναι σαφές ότι η απόφαση για τη μέθοδο που θα επιλεγεί για την καταπολέμηση μίας πετρελαιοκηλίδας, εξαρτάται από συγκεκριμένους παράγοντες όπως ο χρόνος εντοπισμού της ρύπανσης, το είδος και η ποιότητα της ρυπογόνου ουσίας, η απόστασή της από τις ακτές και το μέγεθος του κινδύνου προσβολής ευαίσθητων περιοχών, οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες και, φυσικά, η διαθεσιμότητα εξοπλισμού καταπολέμησης. Οι βασικότερες μέθοδοι που επιλέγονται για την καταπολέμηση της θαλάσσιας ρύπανσης, λαμβάνοντας υπόψη και τους παραπάνω παράγοντες είναι:

- Ο εγκλωβισμός της κηλίδας με πλωτά φράγματα και η περισυλλογή του πετρελαίου με μηχανικά μέσα,
- Η τοποθέτηση πλωτών φραγμάτων για την αποτροπή προσβολής ευαίσθητων θαλασσιών περιοχών και ακτών,
- Η χρήση χημικών διασκορπιστικών ουσιών (ΧΔΟ) και



- Η μηχανική διασπορά της κηλίδας, σε περιπτώσεις όπου δεν απαιτείται καταπολέμηση. [48]

Το Εθνικό Σχέδιο Έκτακτης Ανάγκης της Ελλάδας καθορίζει ότι η πρωταρχική μέθοδος καταπολέμησης, σε παράκτιες και οικολογικά ευαίσθητες περιοχές, είναι η μηχανική περισυλλογή του πετρελαίου. Η χρήση χημικών διασκορπιστικών ουσιών (χρησιμοποιούνται μόνον προϊόντα εγκεκριμένα από το Γενικό Χημείο του Κράτους και το Εθνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών) επιτρέπεται μόνο στην ανοικτή θάλασσα, εκτός περίκλειστων ή ευαίσθητων θαλασσιών περιοχών και μόνο όταν η μηχανική ανάκτηση πετρελαίου είναι αδύνατη λόγω δυσμενών καιρικών συνθηκών. Τα στερεοποιημένα πετρελαιοειδή και τα επιπλέοντα απορρίμματα μεταφέρονται σε εγκεκριμένους χερσαίους χώρους υποδοχής για καταστροφή ή ανακύκλωση. [53]

## **1.8 Εξοπλισμός και οργάνωση παράκτιων εγκαταστάσεων για την προστασία θαλασσιού περιβάλλοντος στην Ελλάδα – Η περίπτωση του λιμένα Ηγουμενίτσας**

Στην Ελλάδα, οι παράκτιες εγκαταστάσεις στις οποίες προσεγγίζουν πλοία για τη διενέργεια κάθε μορφής εργασιών και πράξεων και ειδικότερα της διακίνησης πετρελαιοειδών υποχρεούνται να διαθέτουν σχέδια έκτακτης ανάγκης (Σχέδιο Έκτακτης Ανάγκης της παράκτιας εγκατάστασης διακίνησης πετρελαιοειδών – Facility Contingency Plan (FCP) ή Σχέδιο Έκτακτης Ανάγκης του φορέα διοίκησης ή εκμετάλλευσης του λιμένα - Port Contingency Plan (PCP) αντίστοιχα) για την καταπολέμηση τυχόν περιστατικών ρύπανσης της θάλασσας, εναρμονισμένα με το τοπικό Σχέδιο της οικείας Λιμενικής Αρχής (Local Contingency Plan – LCP) και κατά συνέπεια με το εθνικό σχέδιο αντιμετώπισης περιστατικών ρύπανσης της θάλασσας από πετρέλαιο ή άλλες επιβλαβείς ουσίες (National Contingency Plan – NCP).

Ειδικότερα, οι φορείς διοίκησης και εκμετάλλευσης των εμπορικών λιμένων εθνικής σημασίας, τα διυλιστήρια και οι κάθε είδους παράκτιες εγκαταστάσεις διακίνησης πετρελαιοειδών απαιτείται όπως διαθέτουν σχεδιασμό – προσωπικό, εξοπλισμό, μέσα και οργάνωση – για την αντιμετώπιση ρύπανσης που προέρχεται από ενδεχόμενη διαφυγή επιβλαβών ουσιών στο περιβάλλον συνέπεια ναυτικού ατυχήματος ή άλλης αιτίας και υποχρεούνται να είναι σε θέση να εντοπίζουν άμεσα με μέσα που διαθέτουν αποκλειστικά για το σκοπό αυτό οποιοδήποτε παρόμοιο περιστατικό προερχόμενο από διαφυγή υδρογονανθράκων στη θάλασσα.

Η αρμοδιότητα και η ευθύνη για την έγκριση του σχεδίου έκτακτης ανάγκης μιας λιμενικής εγκατάστασης καθώς και ο καθορισμός του εξοπλισμού που απαιτείται αυτές να διαθέτουν για την αποφυγή ρύπανσης θαλασσιού περιβάλλοντος ανατίθενται στις κατά τόπους Λιμενικές Αρχές. Από την ισχύουσα νομοθεσία, δεν καθορίζεται ρητά ο απαιτούμενος εξοπλισμός αντιμετώπισης περιστατικού ρύπανσης από πετρελαιοειδή

για τις διάφορες κατηγορίες λιμενικών εγκαταστάσεων, δεδομένου ότι η ορθή και αντικειμενική εκτίμηση του απαιτούμενου εξοπλισμού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που διαφοροποιούνται ανάλογα με την περίπτωση, όπως η θέση της εγκατάστασης, η δυναμικότητα και το είδος των διακινούμενων πετρελαιοειδών, η μορφολογία και ευαισθησία περιοχής, οι ωκεανογραφικές και μετεωρολογικές συνθήκες. [48]

Η διαδικασία ενεργειών που ακολουθείται για την ομοιόμορφη εφαρμογή των υποχρεώσεων των παράκτιων εγκαταστάσεων προκειμένου να εξασφαλιστεί η συμμόρφωσή τους σχετικά με την κείμενη νομοθεσία καταπολέμησης της θαλάσσια ρύπανσης είναι:

- Σύνταξη Έκθεσης Περιβαλλοντικής Κατάστασης από την κατά τόπο Λιμενική Αρχή όπου παρατίθενται πληροφορίες που αφορούν το είδος της δραστηριότητας της λιμενικής εγκατάστασης, τη θέση της, τη μορφολογία των ακτών, τις ωκεανογραφικές και μετεωρολογικές συνθήκες, τα είδη και οι ποσότητες των διακινούμενων πετρελαιοειδών, τα μεγέθη πλοίων που προσεγγίζουν και καταπλέουν, τη συχνότητα προσέγγισης και κατάπλου και το προσωπικό της εγκατάστασης που απασχολείται σε εργασίες φορτοεκφόρτωσης των πλοίων,
- Σύνταξη Πίνακα Εξοπλισμού και Οργάνωσης όπου η Λιμενική Αρχή, αφού λάβει υπόψη τα ανωτέρω χαρακτηριστικά της λιμενικής εγκατάστασης, προωθεί προς έγκριση στη Διεύθυνση Προστασίας Θαλασσιού Περιβάλλοντος πίνακα με το είδος και τις ποσότητες του εξοπλισμού που κρίνει ότι απαιτείται,
- Κατόπιν έγκρισης από την αρμόδια Διεύθυνση που περιγράφεται ανωτέρω, η Λιμενική Αρχή εκδίδει Απόφαση Καθορισμού Εξοπλισμού και Οργάνωσης Παράκτιας Εγκατάστασης με επισυναπτόμενο τον Πίνακα Εξοπλισμού και Οργάνωσης του δεύτερου σταδίου.

Οι Λιμενικές Αρχές προβαίνουν σε ετήσιες και έκτακτες επιθεωρήσεις για να διαπιστωθεί η συμμόρφωση των λιμενικών εγκαταστάσεων με τον εξοπλισμό που έχει καθοριστεί να διαθέτουν από την Απόφαση Καθορισμού και Εξοπλισμού και Οργάνωσής. Στο Παράρτημα παρατίθεται ενδεικτικά σχετική έκτακτη επιθεώρηση του λιμένα Ηγουμενίτσας (φορέας διαχείρισης «Οργανισμός Λιμένα Ηγουμενίτσας Α.Ε.») από επιθεωρητές του Κεντρικού Λιμεναρχείου Ηγουμενίτσας. Για λόγους εμπιστευτικότητας, έχουν απαλειφθεί ονομαστικές αναφορές.

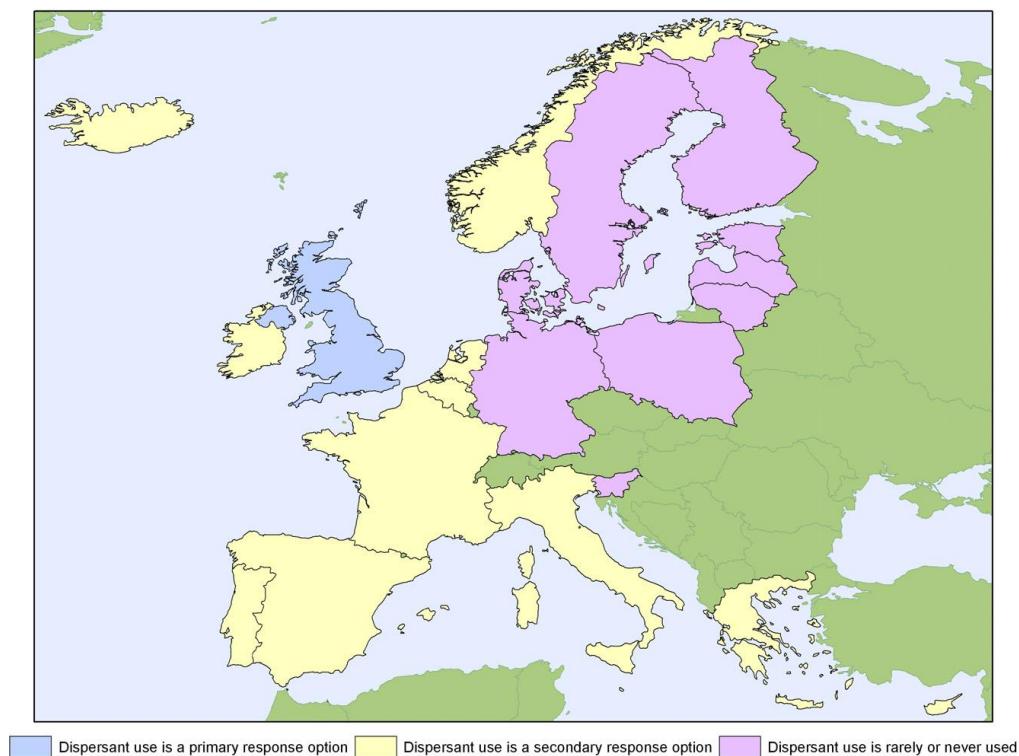
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΧΟΡΗΓΗΣΗ ΕΓΚΡΙΣΗΣ «ΤΥΠΟΥ» ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΑΣΚΟΡΠΙΣΤΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

### 2.1 Εισαγωγή

Σαν επακόλουθο του ατυχήματος του Deepwater Horizon το 2010, η χρήση των χημικών διασκορπιστικών ουσιών (Χ.Δ.Ο.) έχει βρεθεί στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος των φορέων που διαθέτουν Σχέδια Έκτακτης Ανάγκης για αντιμετώπιση ρύπανσης από πετρελαιοειδή.

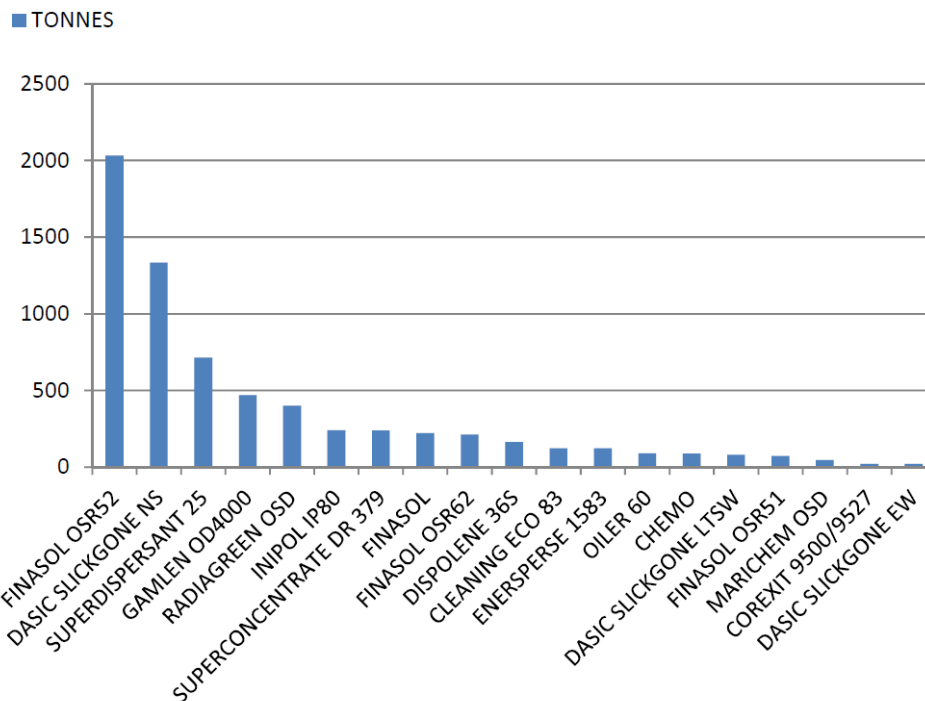
Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η απόφαση για τη χρήση χημικών διασκορπιστικών ουσιών ως μέσο αντιμετώπισης ρύπανσης από πετρέλαιο επαφίεται αποκλειστικά στα κράτη – μέλη. Εκ των 24 παράκτιων κρατών – μελών της Ε.Ε. και του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου (Ε.Ο.Χ.), 22 από αυτά θεωρούν τα διασκορπιστικά ως μέρος της στρατηγικής αντιμετώπισης της θαλάσσιας ρύπανσης, παράλληλα με τη μηχανική ανάκτηση του πετρελαίου ή κάτω από πολύ ειδικές συνθήκες (εικόνα 2.1).

Η Βουλγαρία και η Σλοβενία δεν επιτρέπουν τη χρήση διασκορπιστικών στα θαλάσσια ύδατά τους. Πέντε χώρες (Γαλλία, Ελλάδα, Ιταλία και Ισπανία) έχουν θεσμοθετήσει διαδικασίες δοκιμών και έγκρισης των διασκορπιστικών. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι και το Ηνωμένο Βασίλειο, που αποχώρησε από την Ευρωπαϊκή Ένωση την 31/01/2020 και δεν αποτελεί πλέον μέλος της EMSA (Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Ασφάλειας Ναυσιπλοΐας, αρμόδια, μεταξύ άλλων, και για την ρύπανση του θαλασσίου περιβάλλοντος) έχει ορίσει παρόμοιες διαδικασίες, δεδομένου ότι η χρήση διασκορπιστικών ουσιών αποτελεί πρωταρχικό τρόπο αντιμετώπισης των πετρελαιοκηλίδων. [11]



*Εικόνα 2.1: Πολιτικός χάρτης της Ευρώπης με χρωματικό διαχωρισμό ανάλογα με την προτεραιότητα χρήσης χημικών διασκορπιστικών ουσιών κατά την καταπολέμηση της ρύπανσης από πετρέλαιο. [5]*

Το 2014 υπήρχαν περίπου 75 εμπορικές ονομασίες διασκορπιστικών που η χρήση τους επιτρέπεται στις χώρες της Ε.Ε. και του Ε.Ο.Χ. Ωστόσο, μόνο 34 εμπορικές ονομασίες αποτελούν τα αποθέματα των διασκορπιστικών στην Ευρώπη. Το επόμενο διάγραμμα απεικονίζει χημικά διασκορπιστικά που βρίσκονται σε απόθεμα στην Ευρώπη με ποσότητα μεγαλύτερη από 20 τόνους.



*Εικόνα 2.2: Συνολικά αποθέματα (σε τόνους) διασκορπιστικών ουσιών στις χώρες της Ε.Ε. και του Ε.Ο.Χ. το 2015, ανά εμπορική ονομασία διασκορπιστικού. Τα συνολικά αποθέματα ανέρχονται σε 6.800 tn. Οι ποσότητες που απεικονίζονται αφορούν εθνικά αποθέματα, αποθέματα της EMSA (400 tn) και της ιδιωτικής εταιρείας OSRL (2500 tn). [11]*

Η διαδικασία έγκρισης των διασκορπιστικών αποτελείται από δοκιμές (τεστ) αποτελεσματικότητας και τοξικότητας. Η επιτυχής περάτωση αυτών των δοκιμών είναι προαπαιτούμενο για την χορήγηση έγκρισης τύπου ενός διασκορπιστικού στα θαλάσσια ύδατα ενός κράτους. Η δοκιμή αποτελεσματικότητας συνήθως διενεργείται πρώτη και ύστερα έπεται η δοκιμή τοξικότητας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, απαιτούνται επιπλέον δοκιμές όπως αυτές της βιοαποικοδομησιμότητας, της βιοσυσσώρευσης και η επίτευξη εύρους τιμών φυσικών και χημικών ιδιοτήτων (για παράδειγμα όριο μέγιστου ιξώδους).

Όπως προαναφέρθηκε, οι δοκιμές διενεργούνται προκειμένου να χορηγηθεί η έγκριση χορήγησης «τύπου» μιας διασκορπιστικής ουσίας για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί στα χωρικά ύδατα του αδειοδοτούντος κράτους. Ωστόσο, οι δοκιμές είναι εργαστηριακές και δεν αναπαριστούν τις συνθήκες που επικρατούν στην ανοιχτή θάλασσα. Η πιστή προσομοίωση των διαδικασιών ανάμιξης στη θάλασσα δεν είναι δυνατή σε εργαστηριακή κλίμακα, αφού σε πραγματικές συνθήκες μπορεί να υπάρξει ένα μεγάλο εύρος ενεργειών ανάμιξης που να αντιστοιχεί από ήρεμη έως τρικυμιώδη θάλασσα. Έτσι, η αποτελεσματικότητα που μετράται στις εργαστηριακές δοκιμές έγκρισης των διασκορπιστικών δεν μπορεί άμεσα να συσχετισθεί με την αποτελεσματικότητα του διασκορπιστικού σε περίπτωση πραγματικής εφαρμογής. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται στα εργαστηριακά τεστ έχουν σχεδιαστεί για να κατατάσσουν τα διασκορπιστικά ως προς την επίδοσή τους και, με βάση αυτήν την

αρχή, να αποδείξουν ένα ελάχιστο επίπεδο επιτευχθείσας απόδοσης και ένα μέγιστο αποδεκτό επίπεδο τοξικότητας.

Τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών είναι συνήθως εμπιστευτικά και μόνον οι εμπορικές ονομασίες των διασκορπιστικών που τις έχουν επιτύχει δημοσιοποιούνται. [11]

Οι εργαστηριακές δοκιμές που οδηγούν στην έγκριση χορήγησης «τύπου» ενός διασκορπιστικού δεν πρέπει να συγχέονται με την γενικότερη έγκριση της χρήσης των διασκορπιστικών ουσιών ως μέθοδο καταπολέμησης σε ένα συγκεκριμένο περιστατικό διαρροής πετρελαίου και των διαθέσιμων επιλογών για την αντιμετώπισή του. Αυτή η απόφαση λαμβάνεται κατά περίπτωση και εξαρτάται από:

- τις ιδιότητες της πετρελαιοκηλίδας (ποσότητα και τύπος του πετρελαίου, συνθήκες απόρριψής του, τοποθεσία, βαθμός γήρανσής του, χρονικό διάστημα που διανύθηκε από την αρχική απόρριψη),
- τις περιβαλλοντικές συνθήκες (καιρικές συνθήκες, θερμοκρασία, κατάσταση θαλάσσης, βάθος, απόσταση από την ακτή, αλατότητα),
- τους φυσικούς πόρους που απειλούνται από τη θαλάσσια ρύπανση από πετρέλαιο (π.χ. ευαίσθητες περιβαλλοντικές περιοχές, παρουσία εγκαταστάσεων ιχθυοκαλλιεργειών, επαπειλούμενων ειδών σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο του χρόνου) και
- τις δυνατότητες επέμβασης (διαθεσιμότητα των διασκορπιστικών και του εξοπλισμού εφαρμογής / ψεκασμού, δυνατότητες κινητοποίησης, τηλεπισκόπηση).

Στις επόμενες υποενότητες θα εξεταστούν οι διαδικασίες έγκρισης χημικών διασκορπιστικών ουσιών σε χώρες που είτε παρουσιάζουν μεγάλο πετρελαιοπαραγωγικό δυναμικό που έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη υψηλού αριθμού διακινούμενων δεξαμενόπλοιων στα χωρικά τους ύδατα είτε διαθέτουν χωρικά ύδατα που γειτνιάζουν με θαλάσσιες οδούς με υψηλό αριθμό διελεύσεων δεξαμενόπλοιων και ως εκ τούτου παρουσιάζουν υψηλό κίνδυνο λειτουργικής ή ατυχηματικής απόρριψης πετρελαίου με επακόλουθο τη ρύπανση του θαλασσιού περιβάλλοντος.

## **2.2 Χορήγηση έγκρισης «τύπου» χημικών διασκορπιστικών ουσιών στη Γαλλία**

Η Γαλλία έχει θεσπίσει τρεις δοκιμές, ήτοι τις δοκιμές αποτελεσματικότητας, τοξικότητας και βιοαποικοδομησιμότητας. Η γαλλική προσέγγιση βασίζεται σε τρεις θεμελιώδεις αρχές:

- Επιλογή ενός αποτελεσματικού προϊόντος (η δοκιμή αποτελεσματικότητας πραγματοποιείται πρώτη).
- Αποφυγή προϊόντων που είναι πολύ τοξικά (η δοκιμή τοξικότητας διεξάγεται δεύτερη).
- Το προϊόν θα πρέπει επίσης να είναι βιοαποικοδομήσιμο.

Υπεύθυνο για τη διαδικασία έγκρισης των χημικών διασκορπιστικών είναι το CEDRE (Centre of Documentation, Research and Experimentation on Accidental Water Pollution) και μια έγκριση έχει ισχύ 5 ετών. Οι δοκιμές αποτελεσματικότητας και τοξικότητας βασίζονται στα Γαλλικά Πρότυπα (Normes Françaises) NFT 90-345 και NFT 90-349, αντίστοιχα, και διενεργούνται από το CEDRE ενώ η δοκιμή βιοαποικοδομησιμότητας βασίζεται στο πρότυπο NFT 90-346 και διενεργείται από το INERIS (Institut National de l'environnement industriel et des risques). Το CEDRE δεν δημοσιεύει τα αποτελέσματα των δοκιμών παρά μόνο ένα κατάλογο των εγκεκριμένων προϊόντων. [11]

Η δοκιμή αποτελεσματικότητας NFT 90-345 βασίζεται στη μέθοδο αραίωσης IFP (Institut Français du Pétrole) και υπολογίζει την αποτελεσματικότητα ενός διασκορπιστικού σε συνθήκες χαμηλής ενέργειας ανάμιξης προκειμένου να προσομοιώσει τις συνθήκες ανοιχτής θάλασσας. Η δοκιμή διενεργείται σε μια δεξαμενή με συνεχή παροχή θαλασσινού νερού. Κατά την έναρξη της δοκιμής, το πετρέλαιο συγκρατείται σε δακτύλιο στην επιφάνεια της δεξαμενής μέχρι τη προσθήκη της διασκορπιστικής ουσίας. Κατόπιν, η διασκορπιστική ουσία εφαρμόζεται σε μορφή σταγονιδίων επί του πετρελαίου. Η ανάμιξη του πετρελαίου με το θαλασσινό νερό πραγματοποιείται με τη κάθετη ταλάντωση του δακτυλίου. Ο λόγος συγκέντρωσης διασκορπιστικού – πετρελαίου που ορίζει η δοκιμή είναι 1:20 και η δοκιμή διαρκεί μία ώρα στο πέρας της οποίας λαμβάνεται δείγμα από το πυθμένα της δεξαμενής. Η αποτελεσματικότητα εκφράζεται ποσοστιαία όπου 100 % αντιστοιχεί στη μέγιστη θεωρητική ποσότητα πετρελαίου που θα μπορούσε να διασκορπιστεί στη περίπτωση ενός πλήρους διαλυτού μείγματος. Τα διασκορπιστικά θεωρούνται ότι περατώνουν επιτυχώς τη δοκιμή εάν επιτύχουν αποτελεσματικότητα μεγαλύτερη του 60 %. [11]

Το πετρέλαιο αναφοράς της δοκιμής είναι μίξη αργού πετρελαίου Αραβίας απαλλαγμένου από τα πτητικά συστατικά του (BAL 110) και βαρύ μαζούτ με τέτοια αναλογία ώστε το προκύπτον μίγμα να έχει ιξώδες 1000 mPa.s στους 10 °C.

Στα θετικά σημεία της συγκεκριμένης δοκιμής συγκαταλέγεται το γεγονός ότι αποτελεί δοκιμή χαμηλής ενέργειας ανάδευσης που προσομοιώνει ήπια ταραχή θαλάσσης και ότι η χαμηλή αναλογία πετρελαίου σε νερό προσομοιώνει συνθήκες ανοιχτής θαλάσσης. Επιπρόσθετα, χαρακτηρίζεται ως εκλεκτική μέθοδος που δίνει μεγάλο εύρος στην κατάταξη της αποτελεσματικότητας των διασκορπιστικών. Ωστόσο, η δοκιμή IFP θεωρείται χαμηλής αναπαραγωγιμότητας (reproducibility), απαιτεί εκπαιδευμένους χειριστές και είναι χρονοβόρα.





Εικόνα 2.3: Διάταξη δοκιμής μεθόδου αποτελεσματικότητας χημικών διασκορπιστικών ουσιών IFP. (CEDRE). [11]

Σε ό,τι αφορά την δοκιμή της τοξικολογικής συμπεριφοράς ενός διασκορπιστικού, οι Γαλλικές Αρχές υπολογίζουν την συγκέντρωση  $LC_{50}$ , που είναι η μέση θανατηφόρα συγκέντρωση στην οποία πεθαίνει το 50 % των οργανισμών που εκτίθενται στη χημική διασκορπιστική ουσία για χρονική περίοδο που ορίζεται από το πρότυπο NF.T.90-349. Σύμφωνα με το προαναφερθέν πρότυπο, γαρίδες του είδους *Palaemonetes varians* εκτίθενται σε μίγμα διασκορπιστικής ουσίας – θαλασσινού νερού για 6 ώρες ακολουθούμενη από 24 ώρες έκθεση σε θαλασσινό νερό. Προβλέπονται 10 αυξανόμενες συγκεντρώσεις διασκορπιστικού και στο τέλος κάθε χρονικής περιόδου μετράται ο ρυθμός θνησιμότητας (mortality rate). Το διασκορπιστικό θεωρείται ότι πληροί τα κριτήρια τοξικότητας όταν η συγκέντρωση  $LC_{50}$  είναι μεγαλύτερη ή ίση από το δεκαπλάσιο της συγκέντρωσης  $LC_{50}$  ενός τοξικού αναφοράς (το κατιονικό επιφανειοδραστικό Noranium 50), η οποία μετράται κάτω από τις ίδιες συνθήκες και στην ίδια «φουρνιά» γαρίδων που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη διασκορπιστική ουσία. [35]. Δηλαδή πρέπει να ισχύει:

$$LC_{50} \geq 10 * LC_{50(NORANIUM)} \quad (2.1)$$



*Εικόνα 2.4: Δεξαμενή διεξαγωγής δοκιμής τοξικότητας στις εγκαταστάσεις του CEDRE. [11]*

Η Γαλλική Αρχή INERIS (Institut National de l'environnement industriel et des risques) είναι υπεύθυνη για τη διεξαγωγή της δοκιμής βιοαποικοδομησιμότητας για την χορήγηση έγκρισης «τύπου» ενός διασκορπιστικού. Η δοκιμή βιοαποικοδομησιμότητας (biodegradability test) διέπεται από το γαλλικό πρότυπο NFT90-346 και υπολογίζει τη βιοαποικοδομησιμότητα του διασκορπιστικού σε χρονική περίοδο 28 ημερών, μετρώντας το ποσό του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που έχει παραχθεί. Η τιμή της βιοαποικοδομησιμότητας πρέπει να είναι τουλάχιστον το 50 % του μη πτητικού κλάσματος (δηλαδή του κλάσματος του διασκορπιστικού που δεν χάνεται σε φυσαλίδες CO<sub>2</sub> κατά τη διάρκεια της δοκιμής).

### **2.3 Χορήγηση έγκρισης «τύπου» χημικών διασκορπιστικών ουσιών στη Νορβηγία**

Στη Νορβηγία, η αντιμετώπιση των πετρελαιοκηλίδων βασίζεται κυρίως στον εγκλωβισμό και την μηχανική ανάκτηση του πετρελαίου, που επιτυγχάνεται με τη τοποθέτηση πλωτών φραγμάτων και με διατάξεις ελαιοσυλλεκτών (skimmers). Οι διασκορπιστικές ουσίες αποτελούν δευτερεύουσα μέθοδο καταπολέμησης. Η γενικότερη φιλοσοφία στηρίζεται στη θεωρία ότι τα διασκορπιστικά πρέπει να χρησιμοποιηθούν μόνο όταν προκαλούν μικρότερη περιβαλλοντική βλάβη σε σχέση με την εφαρμογή της συμβατικής μηχανικής ανάκτησης ή και τη μη αντιμετώπιση της πετρελαιοκηλίδας. Επίσης, η επιλογή διασκορπιστικών ως στρατηγική καταπολέμησης πρέπει να βασίζεται σε μια ανάλυση περιβαλλοντικού οφέλους (NEBA – Net Environmental Benefit Analysis).

Η χρήση των διασκορπιστικών απαιτεί την έγκριση των αρμοδίων νορβηγικών αρχών και πρέπει να περιλαμβάνεται στα σχέδια έκτακτης ανάγκης των λιμενικών εγκαταστάσεων που παράγουν ή επεξεργάζονται ή διακινούν πετρέλαιο. Η Νορβηγία δεν διαθέτει κατάλογο εγκεκριμένων διασκορπιστικών ουσιών. Τα διασκορπιστικά δοκιμάζονται ανά τύπο πετρελαίου ή και περισσότερων από ενός τύπου πετρελαίου για μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Οι δοκιμές περιλαμβάνουν τεστ αποτελεσματικότητας και τοξικότητας και τα αποτελέσματά τους περιλαμβάνονται σε κάθε σχέδιο έκτακτης ανάγκης αντιμετώπισης πετρελαϊκής ρύπανσης που περιλαμβάνει τη χρήση διασκορπιστικών.

Οι διαδικασίες των δοκιμών της αποτελεσματικότητας των διασκορπιστικών διαφοροποιούνται στο αν η εγκατάσταση που απαιτείται να διαθέτει σχέδιο έκτακτης ανάγκης παράγει ή επεξεργάζεται πετρέλαιο ή όχι. Για τις εγκαταστάσεις που παράγουν, επεξεργάζονται ή αποθηκεύουν συγκεκριμένους τύπους πετρελαίων και προτίθενται να κάνουν χρήση διασκορπιστικών ουσιών ως τμήμα του σχεδίου εκτάκτου ανάγκης αντιμετώπισης διαρροής των πετρελαιοειδών, οι δοκιμές αποτελεσματικότητας πρέπει να διεξαχθούν με βάση τα συγκεκριμένα πετρέλαια ή τα πετρέλαια με τη μεγαλύτερη πιθανότητα να αντιμετωπισθούν από τα διασκορπιστικά. Επειδή υπάρχει ένα εύρος διαφορετικών πετρελαίων που μπορεί να χρησιμοποιηθούν, δεν υπάρχει συγκεκριμένο όριο αποτελεσματικότητας που πρέπει να επιτευχθεί για την έγκριση ενός διασκορπιστικού. Ο σκοπός των δοκιμών είναι η σύγκριση της αποτελεσματικότητας μεταξύ διαφορετικών προϊόντων και η σχετική κατάταξή τους, η επιλογή των πιο αποτελεσματικών από αυτά, ο υπολογισμός της απαιτούμενης αναλογίας τους (DOR) σε σχέση με το πετρέλαιο και του «παραθύρου ευκαιρίας» όπου η χρήση τους θα ήταν πιο αποδοτική για τα εξεταζόμενα πετρέλαια, λαμβάνοντας υπόψη τη γήρανσή τους. [11]

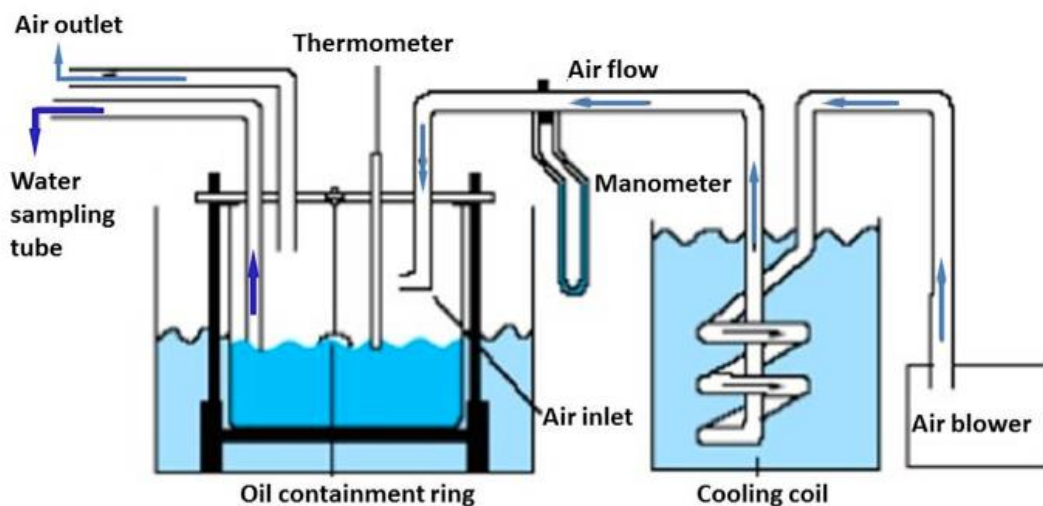
Το πρώτο στάδιο της αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των διασκορπιστικών αποτελείται από τη δοκιμή IFP, η οποία έχει περιγραφεί στην προηγούμενη υποενότητα. Αποτελεί μια δοκιμή χαμηλής ενέργειας ανάμιξης, όπου η ενέργεια παρέχεται στην επιφάνεια του πετρελαίου από την κατακόρυφη ταλαντωτική κίνηση ενός ημιβυθισμένου δακτυλίου. Το διασκορπισμένο πετρέλαιο συλλέγεται από τον πυθμένα της δεξαμενής δοκιμής. Το πετρέλαιο εξετάζεται σε μορφή τεχνητού γηρασμένου κλάσματος, ήτοι απόσταξης στους 200 °C + / 50 % γαλακτώματος νερού σε πετρέλαιο. Το ανώτερο κλάσμα αποκτάται όταν έχουν εξατμιστεί όλα τα συστατικά του με σημείο βρασμού μικρότερο από 200 °C και έχει ενσωματώσει 50% θαλασσινό νερό. Αντιστοιχεί χονδρικά σε πετρέλαιο με γήρανση που αντιστοιχεί σε χρόνο παραμονής 0,5 - 1 ημέρα στην επιφάνεια της θαλάσσης. Χρειάζεται να διεξαχθούν δυο παράλληλα τεστ για κάθε διασκορπιστικό με αναλογία DOR 1:25. Από το πρώτο στάδιο δοκιμών, διαλέγονται τα 1-3 διασκορπιστικά με την καλύτερη αποτελεσματικότητα.



*Εικόνα 2.5: Διάταξη δοκιμής αποτελεσματικότητας διασκορπιστικού με τη μέθοδο IFP στα εργαστήρια του ινστιτούτου SINTEF της Νορβηγίας (SINTEF). [11]*

Στο δεύτερο στάδιο της αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας, τα διασκορπιστικά που προέκυψαν από το πρώτο στάδιο δοκιμάζονται σε διαφορετικές αναλογίες που κυμαίνονται από DOR 1:10 έως 1:200 επί κλάσματος τεχνητού γηρασμένου πετρελαίου απόσταξης στους 200 °C + / 50 % γαλακτώματος νερού σε πετρέλαιο. Χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι IFP και MNS. Οι δοκιμές με διαφορετικές αναλογίες διασκορπιστικού είναι πολύ χρήσιμες από επιχειρησιακής πλευράς, τόσο για τον υπολογισμό της αναγκαίας αναλογίας διασκορπιστικού για ένα συγκεκριμένο τύπο πετρελαίου αλλά και για το αν επιπρόσθετη ενέργεια ανάδευσης θα απαιτηθεί κατά την πραγματική εφαρμογή των διασκορπιστικών.

Η διάταξη της μεθόδου MNS (Mackay, Nadeau, Steelman) φαίνεται στο επόμενο σχήμα. Αποτελείται από μια γυάλινη κυλινδρική δεξαμενή εσωτερικής διαμέτρου 300 mm και ύψους 300 mm. Η κυλινδρική δεξαμενή φέρει στο επάνω μέρος της κέλυφος από Plexiglass με φλάντζα προκειμένου να επιτευχθεί καλή στεγανότητα. Επιπρόσθετα, υπάρχουν σωλήνες εισαγωγής και εξαγωγής αέρα, θύρες εισαγωγής πετρελαίου και διασκορπιστικού, γυάλινος σωλήνας συλλογής και δακτύλιος συγκράτησης πετρελαίου. Ο δακτύλιος συγκράτησης πετρελαίου (oil containment ring) αποτρέπει την ανεξέλεγκτη διασπορά του στην επιφάνεια του νερού που βρίσκεται εντός της δεξαμενής πριν την εφαρμογή του υπό δοκιμή διασκορπιστικού.



Εικόνα 2.6: Διάταξη δοκιμής αποτελεσματικότητας διασκορπιστικού με τη μέθοδο MNS. [2]

Η δοκιμή MNS περιλαμβάνει τη κυκλοφορία ρεύμα αέρα για τη μετάδοση ενέργειας στην επιφάνεια του νερού προκειμένου να προσομοιωθεί ο κυματισμός της θάλασσας σε κλίμακα ωκεανού. Η ενέργεια ανάδευσης που παρέχεται είναι μέτρια προς υψηλή. Τα στάδια της δοκιμής έχουν ως εξής: [2]

- i. Η δεξαμενή δοκιμής τοποθετείται εντός άλλης δεξαμενής στην οποία κυκλοφορεί νερό ελεγχόμενης θερμοκρασίας για να διατηρεί τη θερμοκρασία δοκιμής στους 20 °C.
- ii. Ροή αέρα ελεγχόμενης θερμοκρασίας από αντλία αέρα εισάγεται εντός της δεξαμενής δοκιμής.
- iii. Η δεξαμενή δοκιμής περιέχει 6 L συνθετικού θαλασσινού νερού ή φιλτραρισμένου θαλασσινού νερού με αλατότητα 35 ppm.
- iv. Όταν η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού παρουσιάζει απόκλιση μικρότερη από 1 °C της απαιτούμενης, εισάγεται αέρας με ταχύτητα 15 kn ή 8 m/s.
- v. Όταν η θερμοκρασία του αέρα βρίσκεται σε απόκλιση μικρότερη από 1 °C της απαιτούμενης και ο κυματισμός που έχει δημιουργηθεί σταθεροποιήθηκε, εισάγονται 10 ml του πετρελαίου δοκιμής εντός του δακτυλίου συγκράτησης πετρελαίου.
- vi. Η υπό δοκιμή χημική διασκορπιστική ουσία σε επιθυμητή ποσότητα εφαρμόζεται επί της επιφάνειας του πετρελαίου και αφήνεται να διεισδύσει στο φιλμ του πετρελαίου για 1 λεπτό.
- vii. Εν συνεχεία, ο δακτύλιος ανυψώνεται και κατέρχεται στο νερό δύο ή τρεις φορές για να αφαιρεθεί όσο το δυνατό μεγαλύτερη ποσότητα του πετρελαίου.
- viii. Έπειτα από χρονικό διάστημα 5 λεπτών, η ροή αέρα διακόπτεται και λαμβάνεται 500 ml μείγματος νερού, πετρελαίου και διασκορπιστικού διαμέσου του σωλήνα δειγματοληψίας (1<sup>ο</sup> δείγμα). Τα πρώτα 50 ml αυτού του μείγματος απορρίπτονται.

- ix. Μετά από πάροδο 5 λεπτών όπου δεν επικρατεί ροή αέρα, λαμβάνεται δεύτερο δείγμα 500 ml με τα πρώτα 50 ml να απορρίπτονται. Αυτό είναι το δείγμα που καθορίζει το αποτέλεσμα της δοκιμής.
- x. Τα δείγματα επεξεργάζονται με διχλωρομεθάνιο ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ) και φιλτράρονται με  $\text{Na}_2\text{SO}_2$ .
- xi. Η συγκέντρωση του πετρελαίου στα δείγματα καθορίζεται από φασματοφωτόμετρο UV (UV-spectrophotometer). Οι τιμές που υπολογίζονται συγκρίνονται με τη καμπύλη βαθμονόμησης. Η τιμή αποτελεσματικότητας 100 % αντιστοιχεί σε μια ιδανική κατάσταση όπου όλο το πετρέλαιο δοκιμής έχει διασκορπιστεί στη στήλη ύδατος.

Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο της αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας, υπολογίζεται το ποσοστό διασκορπισμού του πετρελαίου σε διάφορους βαθμούς γήρανσής του με τελικό σκοπό τον καθορισμό του χρονικού «παραθύρου ευκαιρίας» αποτελεσματικής χρήσης υπό δυο διαφορετικές συνθήκες διαταραχής της θάλασσας. Οι δυο διαφορετικές συνθήκες διαταραχής της θάλασσας προσομοιώνονται μέσω δύο διαφορετικών δοκιμών, μικρή διαταραχή μέσω της ενέργειας ανάδευσης στη δοκιμή IFP και μέση μέσω της ενέργειας ανάδευσης στη δοκιμή MNS. Η συνδυασμένη χρήση των δοκιμών IFP και MNS θεωρείται ότι αναπαριστά τους τύπους της διαταραχής που συναντώνται στην ανοιχτή θάλασσα, με την ύπαρξη κυμάτων θραύσης και χωρίς, αντίστοιχα. Οι διαφορετικοί βαθμοί γήρανσης που επιβάλλονται σε αυτό το στάδιο παρέχουν επίσης σημαντικά συμπεράσματα σε σχέση με τα ανώτατα όρια ιξώδους των πετρελαίων και του χρονικού παραθύρου εντός του οποίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα διασκορπιστικά.

Οι εγκαταστάσεις που δεν παράγουν ή επεξεργάζονται πετρέλαιο, για τις οποίες απαιτείται η εκπόνηση σχεδίου έκτακτης ανάγκης αλλά χωρίς αυτό να συσχετίζεται με έναν ή περισσότερους τύπους πετρελαίων, μπορούν να συμπεριλάβουν τα διασκορπιστικά ως τρόπο αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδας αρκεί να έχουν διεξάγει δοκιμές αποτελεσματικότητας με 4 διαφορετικά πετρέλαια αναφοράς με τη μέθοδο WSL (Warren Spring Laboratory), όπως φαίνεται στον επόμενο πίνακα. Το τεστ WSL έγκειται σε μια κωνική διαχωριστική χοάνη η οποία περιστρέφεται για 2 λεπτά με υψηλή ενέργεια ανάμιξης και προκαλεί την πλήρη μίξη του νερού με το πετρέλαιο (επί του οποίου έχει προηγουμένως προστεθεί διασκορπιστική ουσία). Ύστερα από την πάροδο ενός λεπτού ηρεμίας, το μίγμα παραλαμβάνεται από τον πυθμένα της διαχωριστικής χοάνης προκειμένου να υπολογιστεί η το ποσοστό του πετρελαίου που έχει διασκορπιστεί στην στήλη ύδατος. Η δοκιμή WSL θα αναλυθεί διεξοδικότερα σε επόμενη υποενότητα.



α/α	Πετρέλαιο αναφοράς	Συνθήκες (θερμοκρασία, αλατότητα, DOR)
1	Τεχνητό γηρασμένο πετρέλαιο Sture 200 °C / 50 % γαλάκτωμα νερού σε πετρέλαιο	10 °C, 3,5 %, DOR: 1:25
2	Medium Fuel Oil (2000 cP @ 10 °C)	10 °C, 3,5 %, DOR: 1:25
3	Τεχνητό γηρασμένο πετρέλαιο Sture 200 °C / 50 % γαλάκτωμα νερού σε πετρέλαιο	10 °C, 0,5 %, DOR: 1:25
4	IFO 180 (10.000 cP @ 10 °C)	10 °C, 3,5 %, DOR: 1:25

*Πίνακας 2.1: Πετρέλαια αναφοράς που χρησιμοποιούνται κατά τη διενέργεια της δοκιμής WSL σε λιμενικές εγκαταστάσεις στη Νορβηγία που δεν παράγουν ή επεξεργάζονται κάποιον συγκεκριμένο τύπο πετρελαίου αλλά απαιτείται η εκπόνηση σχεδίου εκτάκτης ανάγκης αντιμετώπισης ρύπανσης στη θάλασσα. Η α/α 3 δοκιμή πραγματοποιείται μόνο εάν υπάρχουν σενάρια χρήσης διασκορπιστικών σε θάλασσα με χαμηλή αλατότητα. [11]*

Η έγκριση χρήσης των διασκορπιστικών ουσιών στη Νορβηγία απαιτεί και την επιτυχή περάτωση της δοκιμής τοξικότητας. Οι διασκορπιστικές ουσίες εφαρμόζονται για 72 ώρες και θερμοκρασία 20 °C σε φυτοπλαγκτόν (*Skeletonema costatum*), όπως περιγράφεται από το πρότυπο ISO 10253. Το χημικό διασκορπιστικό δεν εγκρίνεται εάν η συγκέντρωση επίδρασης στην οποία αντιδρά το 50 % των οργανισμών που εκτίθενται σε αυτό (EC<sub>50</sub>) είναι μικρότερη από 10 mg/l (EC<sub>50</sub> < 10 mg/l).

Τέλος, η έγκριση χρήσης διασκορπιστικών προϊόντων στη Νορβηγία, σε αντίθεση με τη Γαλλία, δεν περιλαμβάνει δοκιμή βιοαποικοδομησιμότητας.

## **2.4 Χορήγηση έγκρισης «τύπου» χημικών διασκορπιστικών ουσιών στο Ηνωμένο Βασίλειο**

### **2.4.1 Εισαγωγή**

Η έγκριση των διασκορπιστικών ουσιών στο Ηνωμένο Βασίλειο πραγματοποιείται από τον MMO (Marine Management Organisation). Η διασκορπιστική ουσία δοκιμάζεται όσον αφορά τις επιδόσεις της στην αποτελεσματικότητα και την τοξικότητά της. Τυχόν έγκριση πρέπει να ανανεωθεί μετά την πάροδο πέντε ετών και το ίδιο ισχύει εάν ένα διασκορπιστικό κυκλοφορήσει με νέα εμπορική επωνυμία (rebranding). Οι δοκιμές αποτελεσματικότητας και τοξικότητας μπορούν να διενεργηθούν είτε σε ανατιθέμενα (commissioned) από τον MMO εργαστήρια είτε σε ανεξάρτητα εργαστήρια της επιλογής της εταιρείας παρασκευής του διασκορπιστικού, τα οποία οφείλουν να ακολουθούν τα πρότυπα δοκιμών που εφαρμόζει ο MMO. Ακόμα, το σχετικό πρωτόκολλο δημοσιότητας σέβεται το καθεστώς του ανταγωνισμού μεταξύ των



παρασκευαστών των διασκορπιστικών. Ως επακόλουθο, η αρμόδια αρχή δημοσιεύει εάν ένα προϊόν έχει ή όχι επιτύχει τις δοκιμές αλλά δεν δημοσιεύονται λεπτομέρειες επί των αποτελεσμάτων των δοκιμών. [11]

Η χρήση διασκορπιστικών και ειδικότερα ο από αέρος ψεκασμός τους αποτελεί πρωταρχική μέθοδο αντιμετώπισης ρύπανσης από πετρέλαιο στο Ηνωμένο Βασίλειο. Θεωρείται ότι σε ένα περιστατικό διαρροής πετρελαίου, τα σκάφη μηχανικής ανάκτησης του πετρελαίου έχουν μικρή πιθανότητα να προστρέξουν εγκαίρως στη θαλάσσια περιοχή της διαρροής.

Οι τύποι δοκιμών της αποτελεσματικότητας ενός διασκορπιστικού στο Ηνωμένο Βασίλειο που εφαρμόζονται είναι δυο, ήτοι η δοκιμή Baffled Flask Test (BFT) και η δοκιμή Warren Spring Laboratory (WSL). Η έγκριση αποτελεσματικότητας περιλαμβάνει την επιτυχή δοκιμασία σε μια από τις δύο δοκιμές. Η δοκιμή BFT έγινε αποδεκτή ως μέθοδος την 1<sup>η</sup> Μαρτίου 2017. Οι τύποι διασκορπιστικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη Μεγάλη Βρετανία είναι: [11]

- Τύπου 1 (UK Type 1). Πρόκειται για υδρογονανθρακικής βάσης αδιάλυτα διασκορπιστικά που πρέπει να επιτύχουν ποσοστό αποτελεσματικότητας 30 %.
- Τύπου 2 (UK Type 2). Πρόκειται για συμπυκνώματα διαλυμένα εκ των προτέρων σε αναλογία 1:10 με το νερό που πρέπει να επιτύχουν ποσοστό αποτελεσματικότητας 30 %. Διασκορπιστικά τύπου 1 και 2 μπορεί μεν να περιλαμβάνονται στον σχετικό κατάλογο που δημοσιεύει το Ηνωμένο Βασίλειο, αλλά έχουν μικρή πιθανότητα χρήσης σε ένα περιστατικό καταπολέμησης πετρελαιοκηλίδας.
- Τύπου 3 (UK Type 3). Πρόκειται για συμπυκνώματα υψηλής αποτελεσματικότητας που εφαρμόζονται χωρίς αραίωση με το θαλασσινό νερό. Το όριο αποτελεσματικότητας είναι 60 %, κάτι που σημαίνει ότι ένα διασκορπιστικό τύπου 3 δύναται να εγκριθεί μόνο όταν η εφαρμογή του συνεπάγεται ότι 60 % του πετρελαίου διασκορπίζεται στη στήλη ύδατος.

Εκτός της απαίτησης επίτευξης των ποσοστών αποτελεσματικότητας που αναφέρονται ανωτέρω, οι διασκορπιστικές ουσίες οφείλουν να διαθέτουν φυσικές ιδιότητες που φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

α/α	Χαρακτηριστικό	Type 1	Type 2	Type 3	Μέθοδος προσδιορισμού
1	Εμφάνιση	Καθαρό και Ομογενές			Οπτική επιθεώρηση
2	Δυναμικό Ιξώδες @ 0 °C (mPa s μέγιστο)	50	250	250	ASTM D445 IP71 BS 4708
3	Σημείο ανάφλεξης (°C ελάχιστο)	60	60	60	ASTM D93 IP 34 BS 2839
4	Σημείο νέφους (°C μέγιστο)	-10	-10	-10	ASTM D2500 IP 219
5	Ποσοστό διασκορπισμού πετρελαίου (%)	30	30	60	Δοκιμές BFT ή WSL
6	Αναμιξιμότητα με το νερό	ΔΕ	Ναι	ΔΕ	Σε αναλογία 1:10 το μίγμα διασκορπιστικού-νερού δεν πρέπει να έχει μεγαλύτερο ιξώδες από το αδιάλυτο διασκορπιστικό

*Πίνακας 2.2: Κριτήρια αποτελεσματικότητας και φυσικές ιδιότητες που πρέπει να ικανοποιούνται σωρευτικά από μια διασκορπιστική ουσία για να λάβει έγκριση χρήσης στο Ηνωμένο Βασίλειο. ΔΕ: Δεν εφαρμόζεται. [11]*

#### **2.4.2 Δοκιμές αποτελεσματικότητας Baffled Flask Test και Warren Spring Laboratory**

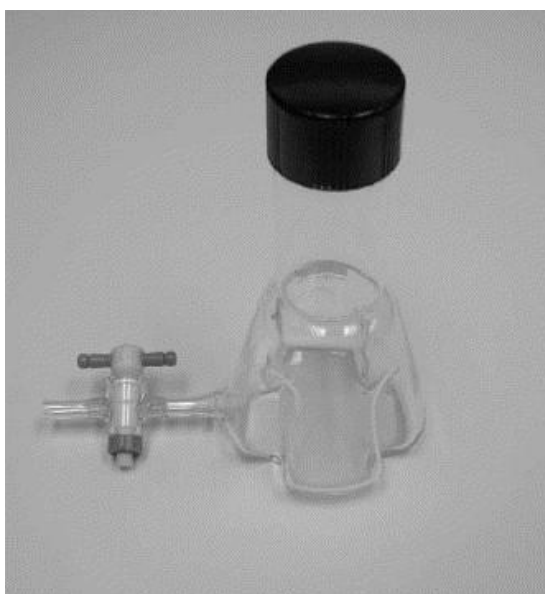
Η πειραματική διάταξη Baffled Flask αποτελείται από μια υάλινη φιάλη 150 mL (εικόνα 2.7) εντός της οποίας εγχέονται 120 mL φυσικού θαλασσινού νερού (συλλεχθέν από τον κόλπο Lowestoft Bay του Ηνωμένου Βασιλείου), 400 μL πετρελαίου δοκιμής (Kuwait Crude Oil με χαρακτηριστικά που απεικονίζονται στον επόμενο πίνακα) και 16 μL χημικής αδιάλυτης διασκορπιστικής ουσίας, που οδηγεί σε DOR 1:25 (για διασκορπιστικό UK type 3). [4]

**Χαρακτηριστικά πετρελαίου Kuwait Crude Oil για τη δοκιμή  
αποτελεσματικότητας Baffled Flask Test**

Πυκνότητα @ 25 °C (kg/l)	Δυναμικό ιξώδες @ 10 °C (cSt)	Σημείο ροής (IP 15/67) (°C)
0,8768	279,3	<5

*Πίνακας 2.3: Πετρέλαιο αναφοράς που χρησιμοποιείται κατά τη διενέργεια της δοκιμής BFT.*

Η φιάλη ανακινείται από κατάλληλη πλατφόρμα, πραγματοποιώντας περιστροφές με ταχύτητα  $200 \pm 10$  rpm για  $10 \pm 0,25$  λεπτά. Μετά την ανακίνηση, ακολουθεί μια περίοδος ηρεμίας  $10 \pm 0,25$  λεπτών που επιτρέπει τα μη διασκορπισμένα ή / και συσσωματωμένα σταγονίδια πετρελαίου να ανέλθουν προς την επιφάνεια. Στη συνέχεια, 30 mL από τη φάση ύδατος συλλέγονται εντός διαχωριστικής χοάνης και ακολουθεί τρεις φορές εκχύλιση με διχλωρομεθάνιο (DCM). Για εκχύλιση προστίθενται κάθε φορά 5 mL DCM και πραγματοποιείται ανακίνηση. Τα εκχυλίσματα (extracts) συνδυάζονται σε ογκομετρική φιάλη και έχουν τελικό όγκο 25 mL. [4]

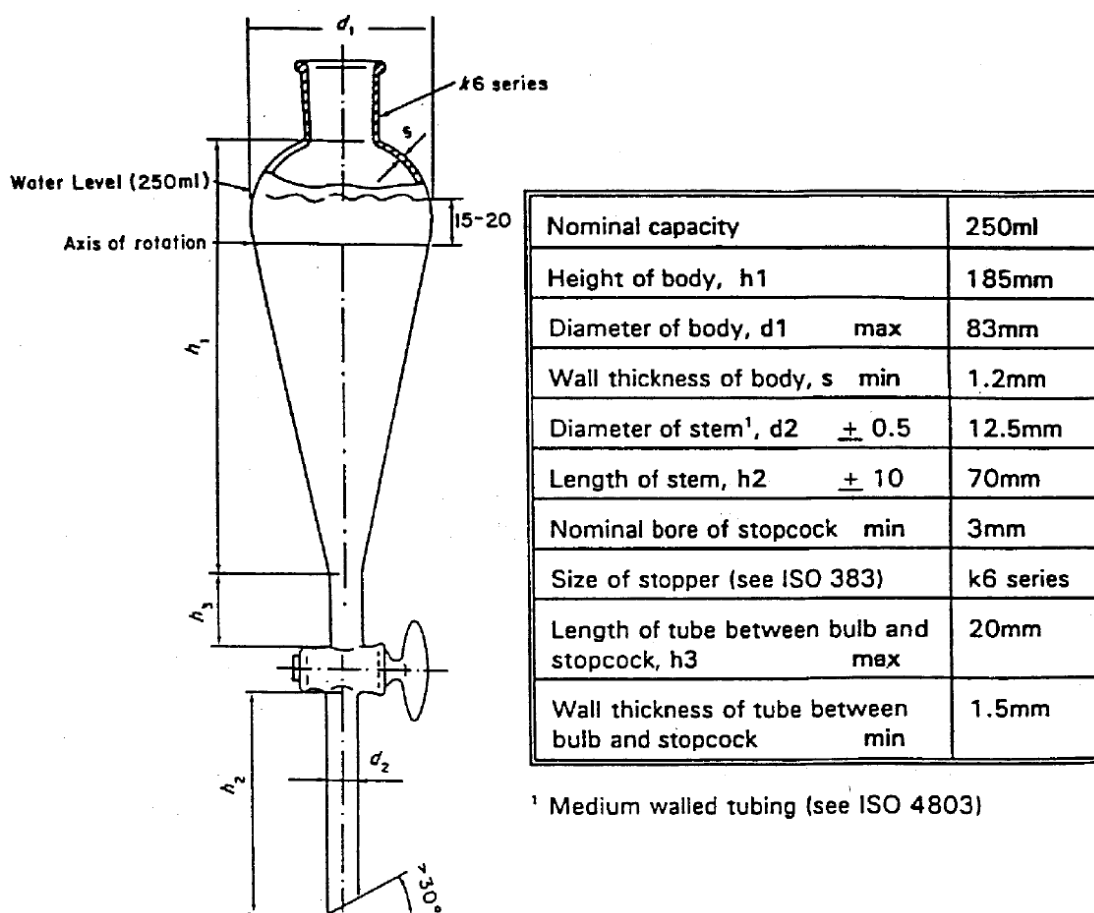


*Εικόνα 2.7: Φιάλη τύπου «baffled» που χρησιμοποιείται στη δοκιμή αποτελεσματικότητας Baffled Flask. Στο κάτω μέρος διακρίνεται το πώμα απ' όπου παραλαμβάνεται το διάλυμα για περαιτέρω ανάλυση. [43]*

Τα εκχυλίσματα μεταφέρονται σε κυψελίδες (cuvettes). Το ολικό διασκορπισμένο πετρέλαιο σε mg καθώς και το ποσοστό διασκορπισμού υπολογίζεται με τη χρήση φασματοφωτόμετρου UV – VIS (υπεριώδους – ορατού) σε θερμοκρασία δωματίου όπου υπολογίζεται η απορροφητικότητα στα μήκη κύματος 340 – 400 nm με βήμα 5 nm. Το πρότυπο προβλέπει την εκ των προτέρων δημιουργία καμπύλης βαθμονόμησης

απορροφητικότητας – συγκέντρωσης δείγματος, τη δοκιμή τυφλού (blank) δείγματος, δηλαδή τη μέτρηση του φάσματος απορρόφησης του διαλύτη (θαλασσινό νερό σύνθεσης δίχως την ανάμιξή του με πετρέλαιο και διασκορπιστική ουσία) και τη μετέπειτα αφαίρεσή του από το αντίστοιχο φάσμα του διαλύματος. Το πείραμα επαναλαμβάνεται 6 φορές και το ποσοστό του διασκορπισμένου πετρελαίου είναι ο μέσος όρος των μετρήσεων που έχουν προκύψει. [4]

Η δοκιμή WSL (Warren Spring Laboratory) αποτελεί μια δοκιμή υψηλής ενέργειας ανάμιξης νερού – πετρελαίου – διασκορπιστικού. Η δοκιμή πραγματοποιείται σε θερμοκρασία 10 °C και αναφέρεται αναλυτικά στο παράρτημα A της WSL Report LR 448 (OP). Πετρέλαια αναφοράς που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη δοκιμή είναι τα μαζούτ medium fuel oil με δυναμικό ιξώδες (στους 10 °C) 2000 mPa s και 500 mPa s. Το medium fuel oil με δυναμικό ιξώδες 500 mPa s αποκτάται ως προϊόν μίξης του πετρελαίου με δυναμικό ιξώδες 2000 mPa s και κηροζίνης, που οδηγεί στη μείωση του ιξώδους. Εδώ εδράζεται ένα κύριο μειονέκτημα της μεθόδου WSL σε σχέση με την BFT, ήτοι η χρήση επικίνδυνων χημικών προϊόντων που είναι η κηροζίνη και το χλωροφόρμιο, για το οποίο θα γίνει μνεία στη συνέχεια. [36]



Εικόνα 2.8: Προδιαγραφές της διαχωριστικής χοάνης που χρησιμοποιείται στη δοκιμή Warren Spring Laboratory, σύμφωνα με το πρότυπο LR 448 (OP). [36]

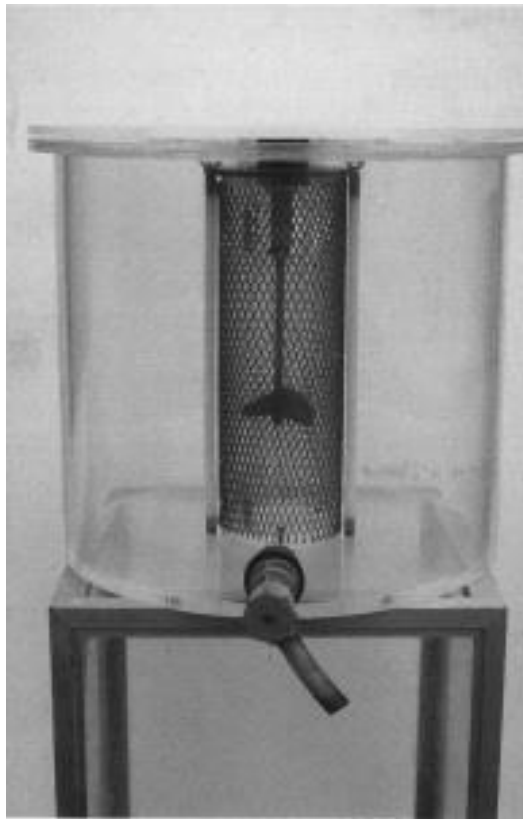
Στη δοκιμή WSL, σε μια διαχωριστική χοάνη μεταφέρονται 250 mL θαλασσινού νερού, επί του οποίου εκχύνονται 5 mL του πετρελαίου δοκιμής. Επί του πετρελαίου, εγχέεται με τη κατάλληλη σύριγγα το προς δοκιμή χημικό διασκορπιστικό με DOR που κυμαίνεται από 1:20 έως 1:30. Η μίξη του διαλύματος πραγματοποιείται με μια μηχανικώς κινούμενη βάση για 2 λεπτά. Ακολουθεί περίοδος ηρεμίας ενός λεπτού και από τη στρόφιγγα του πυθμένα της διαχωριστικής χοάνης λαμβάνονται 50 mL μείγματος. Πραγματοποιείται 3 φορές εκχύλιση με χλωροφόρμιο και μετράται η απορρόφηση του δείγματος σε κυψελίδες 10 mm με φασματοφωτόμετρο στα 580 nm. Τα πρότυπα βαθμονόμησης, που παρασκευάζονται από το πετρέλαιο δοκιμής, πρέπει να μετρώνται ταυτόχρονα με το δείγμα του διαλύματος. Χρησιμοποιώντας τη καμπύλη βαθμονόμησης που έχει προκύψει, μετράται η απορροφητικότητα και μέσω αυτής η συγκέντρωση του πετρελαίου και η αποτελεσματικότητα του διασκορπιστικού. [36]

#### **2.4.3 Δοκιμές τοξικότητας Sea Test και Rocky Shore Test**

Σύμφωνα με τη Fisheries Research Technical Report No. 102 (1996), το Ηνωμένο Βασίλειο έχει καθιερώσει τη διενέργεια δυο δοκιμών τοξικότητας για την έγκριση των διασκορπιστικών ουσιών. Πρόκειται για τις δοκιμές Sea Test και Rocky Shore Test που διεξάγονται για την έγκριση μιας χημικής διασκορπιστικής ουσίας που προορίζεται να χρησιμοποιηθεί σε περιστατικά ρύπανσης στην ανοιχτή θάλασσα και σε βραχώδεις ακτές αντίστοιχα. [11]

Το πετρέλαιο αναφοράς που χρησιμοποιείται στις ανωτέρω δοκιμές είναι το Kuwait crude. Το νερό των δοκιμών είναι φυσικό θαλασσινό νερό που έχει συλλεχθεί από θαλάσσια περιοχή απαλλαγμένη από βιομηχανική, γεωργική μόλυνση και μόλυνση από λύματα. Πριν από τη χρήση του στις δοκιμές, εφαρμόζεται φίλτρο 10 μm. Η θερμοκρασία των δοκιμών είναι 15 °C ( $\pm 1$  °C) και η αλατότητα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 28 % και 35 %. [30]

Στη δοκιμή Sea Test συγκρίνεται η τοξικότητα του μίγματος πετρελαίου – διασκορπιστικής ουσίας (σε αναλογία DOR 1:10) σε σχέση με την τοξικότητα του πετρελαίου, όταν χρησιμοποιούνται οι ίδιες συνθήκες μηχανικής ανάδευσης. Ως θαλάσσιο είδος της δοκιμής χρησιμοποιείται η καφέ ή γκριζα γαρίδα (*Crangon crangon L.*). Η διάταξη της δοκιμής (Εικόνες 2.9 και 2.10), αποτελείται από δυο δεξαμενές από plexiglass, μηχανικής ανάδευσης και ανάρρωσης αντίστοιχα. Η δεξαμενή μηχανικής ανάδευσης (mechanical agitation tank) πληρώνεται με 18 L και έχει στο κέντρο της μια στήλη από αποσπώμενο κύλινδρο εντός του οποίου περιστρέφεται μια προπέλα που δημιουργεί τη μηχανική ανάδευση στις 800 ( $\pm 10$ ) rpm. Η προπέλα αντλεί νερό από το άνω μέρος της δεξαμενής προς το κάτω, κινούμενη από ένα κινητήρα συμπιεσμένου αέρα μαγνητικής ζεύξης χωρίς να μεταφέρει αέρα στην στήλη του ύδατος. Επιπλέον, φέρει ρυθμιστές πίεσης και ροής. Ένα πλαστικό πλέγμα τοποθετημένο πλευρικά του αποσπώμενου κυλίνδρου αποτρέπει την επαφή των γαρίδων με την προπέλα. Κάθε δεξαμενή μηχανικής ανάδευσης πληρώνεται με 20 υγιείς γαρίδες *Crangon crangon L.* που αφήνονται να εγκλιματιστούν για δυο ώρες.



*Εικόνα 2.9: Δεξαμενή μηχανικής ανάδευσης της δοκιμής τοξικότητας Sea Test του Ηνωμένου Βασιλείου. [30]*



*Εικόνα 2.10: Δεξαμενές μηχανικής ανάδευσης (επάνω) και ανάρρωσης (κάτω) μιας δοκιμής τοξικότητας Sea Test του Ηνωμένου Βασιλείου. Κάθε δοκιμή αποτελείται από πέντε επαναλήψεις (replicates). [30]*

Αφού παρέλθει το χρονικό διάστημα εγκλιματισμού, 18 ml (1000 ppm) του πετρελαίου αναφοράς προστίθενται ομοιόμορφα στην επιφάνεια του νερού της κάθε δεξαμενής. Στη συνέχεια, προστίθενται 1,8 ml της υπό δοκιμή χημικής διασκορπιστικής ουσίας και η προπέλα περιστρέφεται για 100 min. Κατόπιν, όλες οι γαρίδες (ζωντανές, νεκρές ή ετοιμοθάνατες) μεταφέρονται στην δεξαμενή ανάρρωσης (recovery tank) χωρητικότητας 18 L. Η δεξαμενή ανάρρωσης αποτελείται από αργά ρεούμενο θαλασσινό νερό σε επαφή με τον αέρα. Με την μεταφορά των γαρίδων στην δεξαμενή ανάρρωσης, καταχωρίζονται οι θερμοκρασίες και η θνητότητα καθώς και ύστερα από ανάρρωση διάρκειας 24 h. Η δοκιμή αποτελείται από 5 ταυτόχρονες επαναλήψεις της διαδικασίας που περιγράφηκε ανωτέρω. Η ίδια δοκιμή πραγματοποιείται και χωρίς την χρήση διασκορπιστικής ουσίας παρά μόνο πετρελαίου (δοκιμή ελέγχου). Η διασκορπιστική ουσία θεωρείται ότι έχει περάσει επιτυχώς τη δοκιμή όταν η μέση θνητότητα που παρατηρείται στις γαρίδες που έχουν εκτεθεί στο μίγμα πετρελαίου – διασκορπιστικής ουσίας δεν είναι μεγαλύτερη κατά 20 % σε σχέση με τη μέση θνητότητα που θα προκύψει από την έκθεση των γαρίδων στο πετρέλαιο αναφοράς. [30]

Η δοκιμή τοξικότητας Rocky Shore διεξάγεται για την έγκριση χρήσης μιας διασκορπιστικής ουσίας στο θαλάσσιο περιβάλλον πέριξ των βραχωδών ακτών. Η διαπαλιρροιακή ζώνη (ή αλλιώς ακτή) έχει μεγάλη αξία τόσο από άποψη υποδομών και οικολογικών πόρων. Το οικοσύστημα της διαπαλιρροιακής ζώνης περιλαμβάνει οργανισμούς βόσκησης (grazing organisms) όπως η πεταλίδα και η λιττορίνη. Οι τοξικές επιδράσεις του πετρελαίου σε θαλάσσιο περιβάλλον πλησίον των βραχωδών ακτών και των προϊόντων αντιμετώπισης μιας πετρελαιοκηλίδας (όπως τα χημικά διασκορπιστικά) μπορούν να προκαλέσουν τον θάνατο των ανωτέρω οργανισμών και πολύ σημαντική επιβλαβή οικολογική αλλοίωση εξαιτίας της εκτεταμένης μη ελεγχόμενης ανάπτυξης των φυκών με τα οποία αυτοί τρέφονται. Για αυτό και η δοκιμή τοξικότητας αναπτύχθηκε με βάση ένα τυπικό διαπαλιρροιακό οργανισμό βόσκησης, την κοινή πεταλίδα (*Patella vulgata* L.).

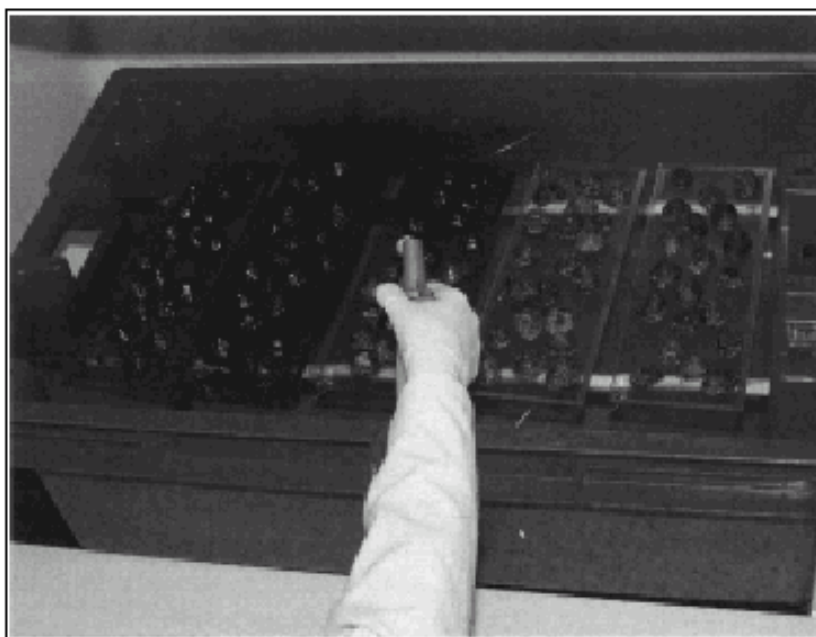
Τα στελέχη του είδους *Patella vulgata* L. πρέπει να έχουν συλλεχθεί από καθαρές ακτές και να έχουν μήκος κελύφους 30-40 mm. Πριν τη διεξαγωγή της δοκιμής, οι πεταλίδες διατηρούνται σε καλά αεριζόμενο αργά ρεούμενο θαλασσινό νερό και υποβάλλονται σε διακοπτόμενη βύθιση (18 h σε βύθιση και 6 h σε ανάδυση). Η διακοπτόμενη βύθιση προσομοιώνει το φαινόμενο της παλίρροιας της διαπαλιρροιακής ζώνης όπου το χρονικό διάστημα επικράτησης της πλημμυρίδας ακολουθείται από το αντίστοιχο επικράτησης της άμπωτης. Οι πεταλίδες εγκλιματίζονται στη θερμοκρασία του εργαστηρίου που απαιτεί η δοκιμή (15 °C ± 1 °C θερμοκρασία αέρα και νερού) τουλάχιστον 96 h πριν τη χρήση τους και δεν τρέφονται όσο βρίσκονται στο εργαστήριο. [30]

Η διάταξη της δοκιμής τοξικότητας Rocky Shore αποτελείται από μια πλακέτα δοκιμής από Plexiglass πάχους 6mm και μια δεξαμενή ανάρρωσης. Επί των πλακετών δοκιμής τοποθετούνται 20 πεταλίδες και καθεμία ψεκάζεται με 0,8 ml διασκορπιστικής ουσίας από απόσταση 10 cm, που δίνει ρυθμό εφαρμογής 0,4 l/m<sup>2</sup>, ήτοι ο συνιστώμενος



ρυθμός εφαρμογής διασκορπιστικής ουσίας για απορρύπανση βραχωδών ακτών. Κατόπιν, η πλακέτα δοκιμής μεταφέρεται σε δεξαμενή ανάρρωσης στην οποία ρέει θαλασσινό νερό. Μία ώρα μετά την εφαρμογή του ψεκασμού, μετράται ο αριθμός των ζωντανών πεταλίδων. Πεταλίδες που έχουν αποκολληθεί, είτε είναι πιθανώς ζωντανές είτε νεκρές, θεωρούνται ότι είναι νεκρές. Μέτρηση των νεκρών πεταλίδων πραγματοποιείται και στις 24 h, 48 h και 72 h μετά τον αρχικό ψεκασμό. Παράλληλα, θα πρέπει να τηρούνται τα χρονικά διαστήματα έκθεσης σε νερό και αέρα που περιγράφηκαν παραπάνω. Η δοκιμή αποτελείται από 5 ταυτόχρονες επαναλήψεις της διαδικασίας, άρα χρειάζονται 5 πλακέτες στις οποίες οι πεταλίδες ψεκάζονται μόνο με χημική διασκορπιστική ουσία και 5 πλακέτες «ελέγχου» στις οποίες οι πεταλίδες ψεκάζονται με το πετρέλαιο δοκιμής.

Η διασκορπιστική ουσία θεωρείται ότι έχει περατώσει τη δοκιμή με επιτυχία όταν η μέση θνητότητα που παρατηρείται στις πεταλίδες που έχουν εκτεθεί στη διασκορπιστική ουσία δεν είναι μεγαλύτερη κατά 20 % σε σχέση με τη μέση θνητότητα που θα προκύψει από την έκθεση των πεταλίδων στο πετρέλαιο αναφοράς. [30]



*Εικόνα 2.11: Ψεκασμός πεταλίδων που έχουν τοποθετηθεί πάνω σε πλάκες με πετρέλαιο στα πλαίσια της δοκιμής Rocky Shore. [30]*

## **2.5 Χορήγηση έγκρισης «τύπου» χημικών διασκορπιστικών ουσιών στην Αυστραλία**

Στην Αυστραλία, οι χημικές διασκορπιστικές ουσίες αποτελούν υποσύνολο των μέσων αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδων (Oil Spill Control Agents – OSCA), τα οποία περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, χημικές ουσίες βιοαποκατάστασης (Bioremediation

Agents), απορροφητικά υλικά, επιφανειακές ουσίες καθαρισμού (Surface Cleaners), απολιπαντές (Degreasers), ουσίες στερεοποίησης (Solidifying Agents) και προϊόντα διάσπασης γαλακτωμάτων (Emulsion Breakers). Η χρήση μέσων αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδων ως τμήμα του αντίστοιχου εθνικού σχεδίου εκτάκτων αναγκών (National Plan for Maritime Environment Emergencies) απαιτεί την προηγούμενη συμπερίληψή τους στο σχετικό μητρώο (OSCA Register) από την AMSA (Australian Maritime Safety Authority) έπειτα από επιτυχή διεξαγωγή των απαιτούμενων δοκιμών. Κάθε προϊόν που έχει περάσει επιτυχώς τις δοκιμές εντάσσεται στο ανωτέρω αναφερόμενο μητρώο για πέντε χρόνια. Μετά την πάροδο των πέντε ετών, τα προϊόντα επανελέγχονται σε ότι αφορά την ικανοποίηση των απαιτήσεων που εφαρμόζονται εκείνη την στιγμή. [2]

Τα χρησιμοποιούμενα πετρέλαια αναφοράς στις δοκιμές έγκρισης χρήσης είναι το αργό πετρέλαιο Κουβέιτ (Kuwait crude oil), το IFO 180 και το IFO 380 με φυσικές παραμέτρους που απεικονίζονται στον επόμενο πίνακα.

Πετρέλαιο Αναφοράς	Παράμετρος	Τιμή	Μέθοδος προσδιορισμού
<b>Αργό πετρέλαιο Kuwait</b>	Πυκνότητα @ 15°C	0,9124	ASTM D1298
	Ασφαλτένια (% κ.β.)	4,2	MA-1221
	Κηροί %	1,9	ASTM D2887
	Κινηματικό ιξώδες (cSt @ 50 °C)	86,0	ASTM D445
	Σημείο Ροής (°C)	-3,0	ASTM D97
<b>IFO 180</b>	Πυκνότητα @ 15°C	0,98	ASTM D1298
	Ασφαλτένια (% κ.β.)	10	MA-1221
	Κηροί %	<0,5	ASTM D2887
	Κινηματικό ιξώδες (cSt @ 50°C)	180	ASTM D445
	Σημείο Ροής (°C)	-10	ASTM D97
<b>IFO 380</b>	Πυκνότητα @ 15°C	0,99	ASTM D1298
	Ασφαλτένια (% κ.β.)	6,0	MA-1221
	Κηροί %	-	ASTM D2887
	Κινηματικό ιξώδες (cSt @ 50°C)	380	ASTM D445
	Σημείο Ροής (°C)	<5	ASTM D97
<b>Κηροζίνη (για την τροποποίηση των ανωτέρω)</b>	Άοσμη Κηροζίνη	Σύμφωνα με πρότυπο BS2869 Ams 1 and 2, Class C1	

Πίνακας 2.4: Χρησιμοποιούμενα πετρέλαια αναφοράς για τις δοκιμές έγκρισης διασκορπιστικών ουσιών στην Αυστραλία.

Η δοκιμή αποτελεσματικότητας βασίζεται στη διάταξη μεθόδου MNS (Mackay, Nadeau, Steelman), που περιγράφηκε στην ενότητα 2.3, με θερμοκρασία θαλασσινού νερού 20°C. Οι χημικές διασκορπιστικές ουσίες (όλων των τύπων) πρέπει να επιτύχουν

ποσοστό αποτελεσματικότητας 50 % και δοκιμάζονται και για τους τρεις τύπους των πετρελαίων αναφοράς. Ωστόσο, μια διασκορπιστική ουσία θεωρείται ότι έχει επιτύχει την δοκιμή όταν παρουσιάζει ποσοστό αποτελεσματικότητας 50% έστω και σε ένα από τα τρία πετρέλαια αναφοράς. Η AMSA κάνει επίσης δεκτές δοκιμές αποτελεσματικότητας διασκορπιστικών που έχουν διεξαχθεί εκτός της Αυστραλίας, αν τα πετρέλαια αναφοράς είναι ουσιαστικά παρόμοια και οι μέθοδοι δοκιμών (όταν δεν εφαρμόζεται η μέθοδος Mackay, Nadeau, Steelman) αποδεδειγμένα κατάλληλα προσαρμοσμένες σύμφωνα με τις απαιτήσεις των αυστραλιανών μεθόδων δοκιμών. [3]

Όπως και στη περίπτωση του Ηνωμένου Βασιλείου, οι δοκιμές τοξικότητας είναι δύο, η Sea Test και Rocky Shore Test, όπου η πρώτη εφαρμόζεται στις διασκορπιστικές ουσίες που προορίζεται να χρησιμοποιηθούν στην ανοιχτή θάλασσα και διενεργείται καθολικά και η δεύτερη σε περίπτωση χρήσης των διασκορπιστικών σε ακτές. Σε περίπτωση που η έγκριση επιδιώκεται για την χρήση μιας διασκορπιστικής ουσίας στην ανοιχτή θάλασσα, αλλά αυτή η χρήση μπορεί να επηρεάσει και μια ακτή, τότε μπορεί να απαιτηθεί ένας συνδυασμός των δυο δοκιμών σύμφωνα με τις οδηγίες που θα παρέχει η AMSA. [2]

Τα θαλάσσια είδη της δοκιμής τοξικότητας Sea Test παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί και απαντώνται στις θάλασσες της Αυστραλίας. Ορισμένα από αυτά τα είδη είναι μόνο εποχιακά διαθέσιμα και είναι αντιπροσωπευτικά της βιογεωγραφικής ποικιλομορφίας της Αυστραλίας. Έτσι, σε ενδεχόμενο ελλείψεων ειδών του πίνακα και με τη προηγούμενη έγκριση της AMSA, είδη παρόμοια μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις δοκιμές τοξικότητας. Η δοκιμή τοξικότητας Sea Test πρέπει να περιλαμβάνει:

- Δυο διαφορετικά είδη καρκινοειδών, ένα εύκρατο και ένα τροπικό είδος από την ομάδα 1 του πίνακα.
- Δυο διαφορετικά είδη ιχθυδίων, ένα εύκρατο και ένα τροπικό είδος από την ομάδα 2 του πίνακα.
- Τουλάχιστον τρία επιπλέον είδη από τις ομάδες 3-7 του πίνακα με την προϋπόθεση ότι ένα είδος προέρχεται από τις ομάδες 3 ή 4 και ένα είδος από τις ομάδες 6 ή 7.

Ομάδα Αναφοράς	Ταξινομική Ομάδα	Όνομα είδους	Είδος		Είδος δοκιμής	
			Εύκρατο	Τροπικό		
<b>1</b>	1.1	Καρκινοειδή	Penaeus monodon (Tiger Prawn)		X	Οξείας Τοξικότητας 96h
	1.2		Allorchestes compressa (Amphipod)	X		Οξείας Τοξικότητας 96h
	1.3		Melita plumulosa (Amphipod)	X		Οξείας Τοξικότητας 96h
<b>2</b>	2.1	Ιχθύδια	Pagrus auratus (Pink Snapper)	X	X	Ανισορροπίας ιχθύων 96h
	2.2		Serolia lalandi (Yellow Tail Kingfish)	X	X	Ανισορροπίας ιχθύων 96h
	2.3		Lates calarifer (Barramundi)		X	Ανισορροπίας ιχθύων 96h
	2.4		Macquaria novemaculeata (Australian Bass)	X		Ανισορροπίας ιχθύων 96h
	2.5		Acanthopagrus butcheri (Black Bream)	X		Ανισορροπίας ιχθύων 96h
	2.6		Acanthochromis polycaanthus (Spiny Chromis, Damselfish)		X	Ανισορροπίας ιχθύων 96h
<b>3</b>	3.1	Φύκη / Φυτοπλαγκτόν	Nitzschia closterium (Unicellular diatom)	X		Αναστολής Ανάπτυξης 72h
	3.2		Isochrysis aff. galbana (Unicellular Flagellate)		X	Αναστολής Ανάπτυξης 72h
<b>4</b>	4.1	Μακροφύκη	Ecklonia radiata (Kelp)	X		Αναστολής Ανάπτυξης 72h
	4.2		Hormosira banksii (Neptunes Necklace)	X		Αναστολής Ανάπτυξης 72h
<b>6</b>	6.1	Ζωοπλαγκτόν	Mimachlamys asperima (Doughboy Scallop)	X		Ανάπτυξης προνυμφών 48h
<b>7</b>	7.1	Εχινοειδή	Heliocidaris tuberculata (Sea urchin)	X		Ανάπτυξης προνυμφών 72h

Πίνακας 2.5: Θαλάσσια είδη δοκιμής τοξικότητας Sea Test στην Αυστραλία. [3]

Το αποφασιστικό κριτήριο επιτυχίας / αποτυχίας στη δοκιμή εφαρμόζεται μόνο για τα είδη των Ομάδων Αναφοράς 1 και 2. Για την επιτυχής περάτωση της δοκιμής απαιτείται η συγκέντρωση επίδρασης στην οποία αντιδρά το 50 % των οργανισμών που εκτίθενται

στη χημική διασκορπιστική ουσία ( $EC_{50}$ ) να είναι μεγαλύτερη από 10 mg/l ( $EC_{50} > 10$  mg/l). Εντούτοις, σε περίπτωση που ένα είδος από τις Ομάδες Αναφοράς 1 ή 2 δεν επιτύχει το κατώφλι των 10 mg/l, η AMSA μπορεί, κατά την απόλυτη διακριτική της ευχέρεια, να δεχτεί, για αυτό το είδος, αποτέλεσμα μεγαλύτερο του 1 mg/l και η χημική διασκορπιστική ουσία να επιτύχει την δοκιμή, αρκεί τα υπόλοιπα τρία είδη από τις ομάδες 3-7 να επιτύχουν το κατώφλι των 10 mg/l στις αντίστοιχες δοκιμές τους.

Η δοκιμή τοξικότητας Rocky Shore περιλαμβάνει δυο είδη από τον παρακάτω πίνακα. Ένα από αυτά τα είδη πρέπει να δοκιμαστεί τόσο υπό εύκρατες όσο και υπό τροπικές συνθήκες, δηλαδή ξεχωριστά κάτω από κατάλληλη εύκρατη θερμοκρασία και κατάλληλη τροπική θερμοκρασία. Το δεύτερο επιλεγθέν είδος πρέπει να δοκιμαστεί είτε υπό εύκρατες είτε υπό τροπικές συνθήκες.

Ομάδα Αναφοράς	Ταξινομική Ομάδα	Όνομα είδους	Είδος		Είδος δοκιμής	
			Εύκρατο	Τροπικό		
<b>8</b>	8.1	Δίθυρα (προνύμφες)	Saccostrea glomerata (Rock Oyster)	X	X	Ανάπτυξης προνυμφών 48h
	8.2		Saccostrea echinata (Milky Oyster)		X	Ανάπτυξης προνυμφών 48h
	8.3		Mytilus edulis (Blue Mussel)	X		Ανάπτυξης προνυμφών 48h

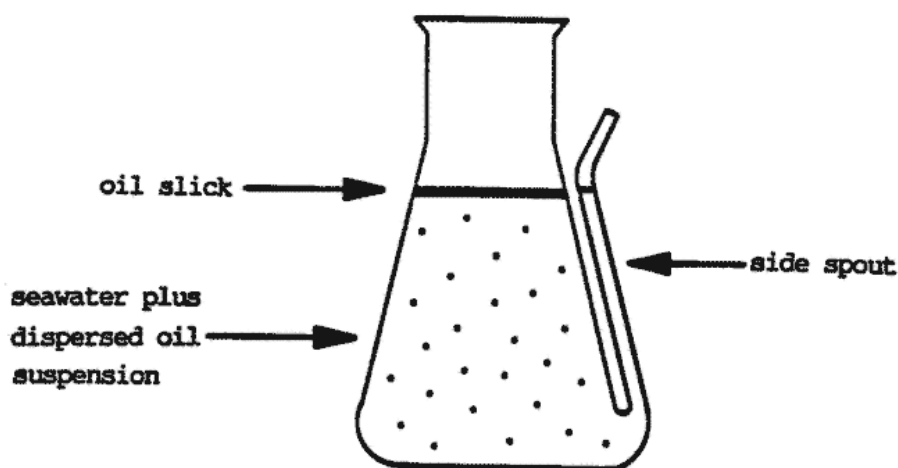
Πίνακας 2.6: Θαλάσσια είδη δοκιμής τοξικότητας Rocky Shore στην Αυστραλία. [3]

Επιτυχής περάτωση της δοκιμής Rocky Shore απαιτεί η συγκέντρωση επίδρασης στην οποία αντιδρά το 50 % των οργανισμών που εκτίθενται στη χημική διασκορπιστική ουσία ( $EC_{50}$ ) να είναι μεγαλύτερη από 10 mg/l ( $EC_{50} > 10$  mg/l). [2]

## 2.6 Χορήγηση έγκρισης «τύπου» χημικών διασκορπιστικών ουσιών στις Η.Π.Α.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η χρήση Χημικών Διασκορπιστικών Ουσιών επιτρέπεται από τους φορείς που είναι υπόχρεοι στην εκπόνηση και εφαρμογή Σχεδίων Έκτακτης Ανάγκης αντιμετώπισης ρύπανσης από πετρέλαιο. Η ομοσπονδιακή υπηρεσία EPA (Environmental Protection Agency) διαθέτει κατάλογο προϊόντων (National Contingency Plan Product Schedule), ο οποίος περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, εμπορικές ονομασίες εγκεκριμένων χημικών διασκορπιστικών ουσιών. Η συμπερίληψη διασκορπιστικής ουσίας στον κατάλογο αυτόν απαιτεί την υποβολή δεδομένων που αφορούν τα φυσικά – χημικά χαρακτηριστικά της, την επιτυχή περάτωση της δοκιμής αποτελεσματικότητας και την υποβολή δεδομένων που αφορούν την δοκιμή τοξικότητας.

Η δοκιμή αποτελεσματικότητας ονομάζεται Swirling Flask Test (SFT). Η SFT βασίζεται σε μια κωνική φιάλη (Erlenmeyer Flask) 125 ml που έχει τροποποιηθεί με την προσθήκη ενός πλευρικού στομίου μέσω του οποίου εξάγονται δείγματα νερού από τον πυθμένα του στομίου δίχως να διαταράσσεται το επιφανειακό στρώμα από πετρέλαιο. [7]



Εικόνα 2.12: Σχηματική απεικόνιση του τύπου φιάλης που χρησιμοποιείται στη δοκιμή αποτελεσματικότητας Swirling Flask Test. [7]

Η SFT προβλέπει την χρησιμοποίηση δυο τύπων αργών πετρελαίων, του Prudhoe Bay και του South Louisiana crude. Για κάθε τύπο πετρελαίου, διενεργούνται τέσσερις επαναλήψεις (replicates) της δοκιμής. Ο λόγος συγκέντρωσης διασκορπιστικού – συγκέντρωσης πετρελαίου είναι 1:10. Επίσης, χρησιμοποιείται συνθετικό θαλασσινό νερό με αλατότητα 34 ppt.

Το συνθετικό θαλασσινό νερό και το διάλυμα πετρελαίου – διασκορπιστικής ουσίας προστίθενται στη κωνική φιάλη. Η κωνική φιάλη τοποθετείται επί διάταξη ανακίνησης, η οποία επιβάλλει περιστροφική κίνηση στα υγρά περιεχόμενα στις 150 rpm για 20 λεπτά με αποτέλεσμα την τυρβώδη ανάμιξή τους. Κατόπιν, η φιάλη αφήνεται σε ηρεμία για 10 λεπτά ούτως ώστε τα σταγονίδια πετρελαίου που δεν διασκορπίστηκαν να ανέλθουν στην επιφάνεια του νερού. Στη συνέχεια, δείγμα νερού αφαιρείται από το πλάγιο στόμιο, εκχυλίζεται με διχλωρομεθάνιο (DCM) και μέσω φασματοφωτόμετρου προσδιορίζεται η συγκέντρωση του πετρελαίου στα μήκη κύματος 340, 370 και 400 nm. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να υπολογιστεί η μάζα του πετρελαίου που έχει διασκορπιστεί. Ο λόγος αυτής της μάζας προς την αρχική προστιθέμενη μάζα του πετρελαίου στο κωνικό δοχείο δίνει το ποσοστό αποτελεσματικότητας της διασκορπιστικής ουσίας. Μια χημική διασκορπιστική ουσία προστίθεται στον κατάλογο NCP Product Schedule ένα το ανωτέρω ποσοστό είναι τουλάχιστον 45 %.

Στη δοκιμή τοξικότητας, άτομα του γένους *Menidia berylina* (είδος αθερίνας που απαντάται στη Βόρεια Αμερική) και *Mysidopsis bahia* (είδος γαρίδας) εκτίθενται σε πέντε διαφορετικές συγκεντρώσεις του υπό εξέταση προϊόντος, σε πετρέλαιο Νο. 2 και σε μίγμα (DOR 1:10) πετρελαίου με τη χημική διασκορπιστική ουσία. Επιπρόσθετα, πραγματοποιείται δοκιμή και με μια τοξική ουσία αναφοράς (θειικό δωδεκύλιο νάτριο). Η διάρκεια αυτής της δοκιμής οξείας τοξικότητας είναι 96 h για τις *Menidia berylina* και 48 h για τις *Mysidopsis bahia*. Η θερμοκρασία των δοκιμών είναι 25 °C. Απαιτείται η υποβολή των τιμών LC<sub>50</sub> στην ΕΡΑ.

## **2.7 Χορήγηση έγκρισης «τύπου» χημικών διασκορπιστικών ουσιών στην Ελλάδα**

Η διαδικασία χορήγησης «έγκρισης τύπου» των χημικών διασκορπιστικών ουσιών στην Ελλάδα ρυθμίζεται από την αριθ. 5219/Φ.11/3/2000 (ΦΕΚ Α' 455) Υπουργική Απόφαση. Η ανωτέρω Υπουργική Απόφαση διακρίνει τις χημικές διασκορπιστικές ουσίες σε 1<sup>ης</sup>, 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> γενιάς. Οι διασκορπιστικές ουσίες 2<sup>ης</sup> γενιάς είναι γνωστές και ως τύπου 1, ενώ οι διασκορπιστικές ουσίες 3<sup>ης</sup> γενιάς διαχωρίζονται σε τύπου 2 και τύπου 3, που αντιστοιχούν επακριβώς στις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά που παρατέθηκαν στην υποενότητα 2.3.2 και τον πίνακα 2.2, δηλαδή ισχύει η ίδια διάκριση στην Ελλάδα και το Ηνωμένο Βασίλειο.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στα Ελληνικά χωρικά ύδατα απαγορεύεται να χρησιμοποιούνται για τη διασπορά πετρελαιοκηλίδων χημικές διασκορπιστικές ουσίες 1<sup>ης</sup> γενιάς. Επιτρέπεται η χρησιμοποίηση διασκορπιστικών ουσιών 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> γενιάς με φυσικοχημικές ιδιότητες – αποδεκτά όρια - που φαίνονται στον επόμενο πίνακα.



α/α	Ιδιότητα	Αποδεκτά όρια		Μέθοδος ελέγχου
		Τύπος 2	Τύπος 3	
<b>1</b>	Εμφάνιση	Καθαρό και ομογενές		Οπτικός έλεγχος
<b>2</b>	Δυναμικό Ιξώδες @ 0°C (m Pa s μέγιστο)	250	250	ASTM D445 IP 71 BS 4708
<b>3</b>	Σημείο Ανάφλεξης (°C ελάχιστο)	60	60	ASTM D93 IP 34 BS 2839
<b>4</b>	Σημείο Θόλωσης (°C μέγιστο)	-10	-10	ASTM D2500 IP 219
<b>5</b>	Ποσοστό Αποτελεσματικότητας			(LR 448 OP)
	Σε πετρέλαιο με 2000 m Pa s (% ελάχιστο)	30	60	
<b>6</b>	Σε πετρέλαιο με 500 m Pa s (% ελάχιστο)	ΔΕ	45	
<b>7</b>	Αναμιξιμότητα με το νερό	ΝΑΙ	ΔΕ	Σε αναλογία 1:10 το μίγμα διασκορπιστικού-νερού δεν πρέπει να έχει μεγαλύτερο ιξώδες από το αδιάλυτο διασκορπιστικό
<b>8</b>	Απαγορευμένα συστατικά	Βενζόλιο, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, φαινόλες, κρεζόλες, υδροξείδια των αλκαλίων και ελεύθερα ανόργανα οξέα		
<b>9</b>	Αντοχή σε αποθήκευση	ΝΑΙ		Μετά από παραμονή σε θερμοκρασίες -10 °C και 50 °C επί 7 ημέρες να μην εμφανίζεται διαχωρισμός φάσεων
<b>10</b>	Βιοαποικοδομησιμότητα (% ελάχιστο)	50		NFT90-346
<b>11</b>	Τοξικότητα	Μη τοξική για την ελληνική θαλάσσια χλωρίδα και πανίδα		

Πίνακας 2.7: Φυσικοχημικές ιδιότητες – αποδεκτά όρια – μέθοδοι ελέγχου που απαιτούνται για τις Χημικές Διασκορπιστικές Ουσίες στην Ελλάδα. [55]

Οι χημικές διασκορπιστικές ουσίες 2<sup>ης</sup> γενιάς, για τις οποίες έχει χορηγηθεί «έγκριση τύπου» με προγενέστερη Υπουργική Απόφαση, επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν μόνο σε έκτακτες περιπτώσεις και ύστερα από έγκριση της Διεύθυνσης Προστασίας Θαλασσιού Περιβάλλοντος. [55]

Η «έγκριση τύπου» χημικών διασκορπιστικών 3<sup>ης</sup> γενιάς χορηγείται από το Γενικό Χημείο του Κράτους για διάρκεια 7 ετών. Οι δοκιμές στις οποίες οι διασκορπιστικές ουσίες υποβάλλονται για αυτήν την έγκριση είναι η δοκιμή αποτελεσματικότητας και η δοκιμή τοξικότητας. Επισημαίνεται ότι οι Ελληνικές Αρχές απαιτούν την επίτευξη ελάχιστου ποσοστού βιοαποικοδομησιμότητας 50 % για υπό την υπό έγκριση ουσία (α/α 10 του ανωτέρω πίνακα), βασιζόμενη στη μέθοδο NFT90-346, όπως είναι η περίπτωση για την αντίστοιχη διαδικασία στη Γαλλία.

Η δοκιμή αποτελεσματικότητας πραγματοποιείται με βάση την αναφορά LR 448 OP (μέθοδος WSL – Warren Spring Laboratory), που έχει περιγραφεί στην υποενότητα 2.3.2.

Για τον έλεγχο της τοξικότητας μιας χημικής διασκορπιστικής ουσίας εφαρμόζεται η μέθοδος οξείας τοξικότητας. Η εύρεση της τοξικότητας στηρίζεται σε ελέγχους οξείας τοξικότητας με τελικό σημείο αναφοράς τη συγκέντρωση μίγματος διασκορπιστικής ουσίας και θαλασσινού νερού στην οποία εμφανίζεται 50 % επίδραση (EC<sub>50</sub>) ή 50 % θνησιμότητα (LC<sub>50</sub>) στους υπό έκθεση οργανισμούς ύστερα από παραμονή τους για συγκεκριμένη χρονική περίοδο. [55]

Στις δοκιμές χρησιμοποιούνται δύο είδη οργανισμών. Το πρώτο είναι μικροσκοπικοί οργανισμοί της κατηγορίας μικρών καρκινοειδών, τροχοζώων ή κωληπόδων (όπως *Artemia*, *Brachionous*, *Acartia*). Οι οργανισμοί αυτοί εκτίθενται σε πέντε αυξανόμενες συγκεντρώσεις μίγματος διασκορπιστικής ουσίας με θαλασσινό νερό. Η επιτυχής δοκιμή απαιτεί η τιμή της EC<sub>50</sub> ή LC<sub>50</sub> των 24 ωρών να είναι μεγαλύτερη από 100 μl/l. [55]

Το δεύτερο είδος οργανισμών είναι γαρίδες, για παράδειγμα του γένους *Palaemon*. Οι γαρίδες εκτίθενται σε τρεις αυξανόμενες συγκεντρώσεις μίγματος διασκορπιστικής ουσίας με θαλασσινό νερό. Η δοκιμή θεωρείται ότι περατώνεται με επιτυχή τρόπο όταν η τιμή EC<sub>50</sub> ή LC<sub>50</sub> των 48 ωρών είναι μεγαλύτερη από 10.000 μl/l. [55]

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΚΟΣΤΟΣ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΕΙΔΩΝ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

## 3.1 Εισαγωγή – Γενικά

Οι πετρελαιοκηλίδες επιδρούν αρνητικά στους ανθρώπους, στα οικοσυστήματα, στην άγρια ζωή και στην οικονομία, ανεξάρτητα της ποσότητας του πετρελαίου που τις προκαλούν. Έχουν τη δυνατότητα να διαταράσσουν τις κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες, την αξία που οι άνθρωποι προσδίδουν στο θαλάσσιο περιβάλλον και τα κέρδη που αποκομίζουν από αυτό. Πολλά περιστατικά θαλάσσιων πετρελαιοκηλίδων έχουν κατά το παρελθόν προσβάλλει τις ακτογραμμές, με σοβαρές οικονομικές επιπτώσεις. Παραδείγματα τέτοιων περιστατικών είναι αυτό του Exxon Valdez το 1992, του Erika το 1999, του Prestige το 2002, του Hebei Spirit το 2007 και του Deepwater Horizon το 2010. Τα κόστη απορρύπανσης των ανωτέρω περιστατικών κυμαίνονται από 108 εκατομμύρια δολάρια (Prestige) σε άνω των 65 δισεκατομμυρίων δολαρίων (Deepwater Horizon). Τα κοινά χαρακτηριστικά αυτών των περιστατικών είναι ότι αποτέλεσαν γεγονότα με ευρεία κάλυψη από τα μέσα ενημέρωσης και παρουσίασαν εκτεταμένες ζημιογόνες επιδράσεις σε μεγάλα μήκη ακτογραμμών, στα εισοδήματα και τις οικονομίες των περιοχών που συνέβησαν. Αντιθέτως, για τις πετρελαιοκηλίδες που κατά γενική παραδοχή θεωρούνται μικρές αντιστοιχεί περιορισμένη βιβλιογραφική επισκόπηση, που καταλήγει ότι δύνανται να επηρεάσουν σε σημαντικό βαθμό οικονομίες σε τοπικό επίπεδο που στηρίζονται σε φυσικούς πόρους. [8]

Σύμφωνα με [32], εντοπίζονται πέντε διαφορετικές κατηγορίες κόστους ως συνέπεια ενός περιστατικού ρύπανσης. Τις κατατάσσουμε σε τρεις ομάδες, ήτοι σε:

- κόστος απορρύπανσης (cleanup costs), που αποτελείται από το κόστος καταπολέμησης της πετρελαιοκηλίδας, το κόστος έρευνας και άλλα κόστη,
- κοινωνικοοικονομικές απώλειες (socioeconomic losses) και
- περιβαλλοντικά κόστη (environmental costs).

Προσθέτοντας τις παραπάνω κατηγορίες κόστους, υπολογίζουμε το ολικό κόστος ενός περιστατικού ρύπανσης από πετρελαιοειδή. Πέρα από κάθε αμφιβολία, το κόστος ενός τέτοιου περιστατικού είναι πολύ δύσκολο να υπολογισθεί. [8]

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί παράγοντες που καθορίζουν το κόστος ενός περιστατικού ρύπανσης από πετρελαιοειδή και περιλαμβάνουν τον τύπο του πετρελαίου, τις μετεωρολογικές συνθήκες, την εποχή του έτους, τη διάρκεια της απόρριψης του πετρελαίου και την ποσότητα που απορρίφθηκε, τα φυσικά, οικονομικά και βιολογικά χαρακτηριστικά της τοποθεσίας που συμβαίνει το περιστατικό, το μέγεθος της επιφάνειας που εξαπλώνεται το πετρέλαιο και την αποτελεσματικότητα της επιχείρησης καταπολέμησης της ρύπανσης. [8]

Το ολικό κόστος που συνεπάγεται μια πετρελαιοκηλίδα μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τουλάχιστον τέσσερις μεθόδους. [31] Συγκεκριμένα:

Α) Υπολογίζοντας και προσθέτοντας όλες τις συνιστώσες κόστους (απορρύπανσης, κοινωνικοοικονομικού, περιβαλλοντικού).

Β) Εκτιμώντας το κόστος απορρύπανσης μέσω μοντελοποίησης και ύστερα υπολογίζοντας το κοινωνικοοικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος θεωρώντας μια αναλογία (ratio) μεταξύ αυτών και του κόστους απορρύπανσης.

Γ) Χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους.

Δ) Θεωρώντας ότι το ολικό κόστος ενός περιστατικού ρύπανσης από πετρέλαιο προσεγγίζεται από τα χρηματικά ποσά που τελικώς χορηγήθηκαν στους αιτούντες αποζημίωση. Δεδομένα που αφορούν τις προαναφερόμενες αποζημιώσεις δημοσιεύονται από το Διεθνές κεφάλαιο για αποζημίωση ρύπανσης από πετρελαιοειδή προϊόντα (International Oil Pollution Compensation Funds - IOPCF), το οποίο εκδίδει ετήσια σχετική αναφορά.

Στις επόμενες υποενότητες θα γίνει παρουσίαση του μοντέλου υπολογισμού του κόστους απορρύπανσης, που αναπτύχθηκε στην [9], του μοντέλου υπολογισμού του συνολικού κόστους που αναπτύχθηκε στην [10] και της προσέγγισης υπολογισμού συνολικού κόστους με βάση τα κόστη που δημοσιεύονται στις ετήσιες αναφορές IOPCF.

Επιπρόσθετα θα εκτεθούν οι ποινικές κυρώσεις και ο τρόπος υπολογισμού του προστίμου που επιβάλλεται ως διοικητικές κυρώσεις στην Ελλάδα.

## **3.2 Μοντέλο κόστους απορρύπανσης από D.S. Etkin**

### **3.2.1 Εισαγωγή**

Το μοντέλο που θα αναλυθεί στη συνέχεια αφορά μια τεχνική υπολογισμού του κόστους απορρύπανσης που εφαρμόζεται για πετρελαιοκηλίδες διαφορετικών τύπων. Αναπτύχθηκε από συλλεχθέντα δεδομένα κόστους από πάνω από 300 μελέτες περιπτώσεων σε 40 κράτη, και λαμβάνει υπόψη τον τύπο πετρελαίου, την τοποθεσία, το μέγεθος της πετρελαιοκηλίδας, την τεχνική απορρύπανσης και τον βαθμό προσβολής των ακτών από πετρέλαιο, οδηγώντας στον ανά μονάδα (per unit, τόνου ή λίτρου πετρελαίου) υπολογισμό του κόστους. Η ανάλυση των παραπάνω παραγόντων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ενός αλγορίθμου εκτίμησης του κόστους υποθετικών ή πραγματικών – υπό εξέλιξη πετρελαιοκηλίδων.

### **3.2.2 Επίδραση του τύπου πετρελαίου στο κόστος**

Ο τύπος του πετρελαίου που δημιουργεί την πετρελαιοκηλίδα επιδρά σημαντικά στο κόστος απορρύπανσης. Σε συνδυασμό με την ποσότητα του διαφυγόντος πετρελαίου και τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες και τα θαλάσσια ρεύματα, ο τύπος του πετρελαίου καθορίζει τις άμεσες περιβαλλοντικές επιπτώσεις του περιστατικού

ρύπανσης. Το κόστος σχετίζεται άμεσα με την αναλογία των κλασμάτων εμμενόντων πετρελαιοειδών. Για παράδειγμα, το πετρέλαιο diesel No 2 και τα ελαφρά αργά πετρέλαια είναι σημαντικά λιγότερο κοστοβόρα ως προς το κόστος απορρύπανσης σε σχέση με τα βαρέα πετρέλαια. Στον επόμενο πίνακα παρατίθενται τα κόστη απορρύπανσης διαφορετικών τύπων πετρελαίου. Οι τιμές έχουν καταρχήν αναπροσαρμοστεί με βάση τον δείκτη πληθωρισμού (δολάρια Η.Π.Α. 1999 – Ιούνιος 2022) και μετατραπεί σε ευρώ με βάση την ισοτιμία που ίσχυε την 30 Ιουνίου 2022 (1 USD=0,9545 EUR) [15]

<b>Τύπος Πετρελαίου</b>	<b>Κόστος (ανά μονάδα)</b>
<b>Καύσιμο Diesel No. 2</b>	3.972,86 €/tn 3,56 €/l
<b>Ελαφρύ αργό πετρέλαιο</b>	7.343,46 €/tn 6,59 €/l
<b>Καύσιμο No.4</b>	41.130,47 €/tn 36,96 €/l
<b>Καύσιμο No.5</b>	39.920 €/tn 35,87 €/l
<b>Αργό πετρέλαιο</b>	12.480,34 €/tn 11,22 €/l
<b>Βαρύ αργό πετρέλαιο</b>	14.702,11 €/tn 13,22 €/l
<b>Καύσιμο No. 6</b>	29.181,54 €/tn 26,39 €/l

*Πίνακας 3.1: Ανά μονάδα κόστος απορρύπανσης ανά τύπο πετρελαίου.*

Η βενζίνη δεν εμφανίζεται στον ανωτέρω πίνακα, επειδή απαιτεί λιγη ή και καθόλου προσπάθεια απορρύπανσης, και πολύ συχνά εξατμίζεται ή διαλύεται μέχρι η ομάδα αντιμετώπισης να σπεύσει στο σημείο της κηλίδας. Γενικότερα, η αντιμετώπιση κηλίδας βενζίνης στοχεύει στο μετριασμό του τοξικού κινδύνου και του κινδύνου ανάφλεξης παρά στην αφαίρεσή της.

Οι πετρελαιοκηλίδες που σχηματίζονται από εμμέμοντα πετρελαιοειδή απαιτούν εκλεπτυσμένες στρατηγικές αντιμετώπισης, που μπορεί να περιλαμβάνουν την χρησιμοποίηση χημικών διασκορπιστικών ουσιών (εφόσον αυτό ενδείκνυται και επιτρέπεται από την τοπική νομοθεσία) ή την μηχανική και χειροκίνητη ανάκτηση του πετρελαίου. Για αυτό και τα εμμέμοντα πετρελαιοειδή γενικά οδηγούν σε πιο δαπανηρές επιχειρήσεις καταπολέμησης της ρύπανσης.

### 3.2.3 Επίδραση του μήκους προσβολής των ακτών στο κόστος

Σχεδόν σε κάθε πετρελαιοκηλίδα, την πιο ακριβή συνιστώσα της επιχείρησης καταπολέμησης της ρύπανσης αποτελεί η απορρύπανση των ακτών. Ο καθαρισμός των ακτών είναι επίπονος και χρονοβόρος και για αυτό η ομάδα σχεδιασμού της επιχείρησης έκτακτης ανάγκης πρέπει να κάνει ό,τι είναι δυνατό, μέσω της χρησιμοποίησης χημικών διασκορπιστικών ουσιών και μεθόδων εγκλωβισμού και ανάκτησης του πετρελαίου, για την ελαχιστοποίηση της προσβολής των ακτών και των δυσμενών περιβαλλοντικών ζητημάτων που θα προκληθούν.

Ανάλυση του κόστους απορρύπανσης συναρτήσει του μήκους των ακτών που προσβλήθηκαν φαίνεται στον επόμενο πίνακα. Δέον όπως τονισθεί πως τα κόστη αντιστοιχούν στο μέσο κόστος του συνόλου της επιχείρησης απορρύπανσης (δηλαδή το κόστος για την απορρύπανση που αντιστοιχεί στην ανοιχτή θάλασσα, στην παράκτια ζώνη και στην ακτογραμμή).

Μήκος ακτογραμμής που προσβλήθηκε	Κόστος (ανά μονάδα)
<b>0-1 km</b>	8.755,13 €/tn 7,86 €/l
<b>2-5 km</b>	9.972,17 €/tn 8,97 €/l
<b>8-15 km</b>	10.115,05 €/tn 9,09 €/l
<b>20-90 km</b>	11.382,01 €/tn 10,22 €/l
<b>100 km</b>	19.620,71 €/tn 17,63 €/l
<b>500 km</b>	28.305,27 €/tn 25,45 €/l

*Πίνακας 3.2: Ανά μονάδα κόστος απορρύπανσης συναρτήσει του μήκους της ακτογραμμής που προσβλήθηκε.*

### 3.2.4 Επίδραση του είδους του θαλάσσιου χώρου στο κόστος

Τα περιστατικά πετρελαιοκηλίδων ομαδοποιήθηκαν σύμφωνα με την εγγύτητά τους από την ακτή. Διακρίνονται ανάλογα από το αν λαμβάνουν χώρα στην ανοιχτή θάλασσα, στην παράκτια ζώνη (εντός 5 km από την ακτογραμμή) και εντός λιμένων. Στο επόμενο πίνακα φαίνονται τα ανά μονάδα κόστη για τις παραπάνω περιοχές ομαδοποίησης.

Θαλάσσιος χώρος	Κόστος (ανά μονάδα)
Εντός λιμένων	33.867,59 €/tn 30,44 €/l
Παράκτια ζώνη	38.633,23 €/tn 34,72 €/l
Ανοιχτή θάλασσα	14.275,61 €/tn 12,67 €/l

*Πίνακας 3.3: Ανά μονάδα κόστος απορρύπανσης συναρτήσει του είδους του θαλάσσιου χώρου που λαμβάνει χώρα μια πετρελαιοκηλίδα.*

Οι πετρελαιοκηλίδες που συμβαίνουν στις παράκτιες ζώνες και τους λιμένες είναι αρκετά πιο δαπανηρές σε ό,τι αφορά την απορρύπανσή τους σε σχέση με τις πετρελαιοκηλίδες στην ανοιχτή θάλασσα. Αυτό οφείλεται στη μεγαλύτερη πιθανότητα προσβολής των ακτών, ιδίως για τα εμμένοντα πετρελαιοειδή και των πιο ακριβών μεθόδων αντιμετώπισης που θα χρησιμοποιηθούν σε αυτή την περίπτωση.

### **3.2.5 Επίδραση του μεγέθους της πετρελαιοκηλίδας στο κόστος**

Το ανά μονάδα κόστος απορρύπανσης είναι αντιστρόφως ανάλογο με το μέγεθος της πετρελαιοκηλίδας. Όσο πιο μεγάλη είναι μια πετρελαιοκηλίδα, τόσο πιο μικρό θα είναι το ανά μονάδα κόστος απορρύπανσης. Αυτό συμβαίνει για λόγους διοικητικής μέριμνας. Μια μικρή σε μέγεθος πετρελαιοκηλίδα βάρους ενός τόνου έχει τις ίδιες απαιτήσεις σε επιτήρηση και προσωπικό καταπολέμησης συγκρινόμενη με μια πετρελαιοκηλίδα δεκαπλάσια σε μέγεθος.

Η κινητοποίηση προσωπικού και εξοπλισμού προβλέπεται από τον τοπικό και εθνικό σχεδιασμό έκτακτης ανάγκης καθώς και από τις ίδιες τις απαιτήσεις καταπολέμησης της ρύπανσης. Η πρόσληψη πληρωμάτων και η ενοικίαση εξοπλισμού μπορεί να οδηγήσει σε αστρονομικά κόστη, ανεξάρτητα από το εάν θα χρησιμοποιηθούν ή θα είναι σε επιφυλακή πλησίον της τοποθεσίας που λαμβάνει χώρα η ρύπανση. Στα ανωτέρω κόστη, θα πρέπει να προστεθούν και η κινητοποίηση σκαφών-πληρωμάτων-εξοπλισμού της ακτοφυλακής και η παροχή υπηρεσιών από εμπειρογνώμονες, εκπρόσωπους επίσημων αρχών και επόπτες, που επηρεάζουν σημαντικά τα σχετικά κόστη των μικρών πετρελαιοκηλίδων. Στον επόμενο πίνακα απεικονίζονται τα ανά μονάδα (€/tn και €/l) κόστη για διάφορα εύρη βάρους και όγκου πετρελαιοκηλίδων.



Μέγεθος πετρελαιοκηλίδας	Κόστος (€/tn)	Κόστος (€/lt)
<b>0,34 – 3,4 tn</b> <b>379-3.785 l</b>	134.092,08	120,5
<b>3,4-17 tn</b> <b>3.785 – 18.925 l</b>	53.424,77	48,01
<b>17-34 tn</b> <b>18.925-37.850 l</b>	18.397,9	16,52
<b>34-340 tn</b> <b>37.850-378.500 l</b>	16.797,35	15,1
<b>340-1.700 tn</b> <b>378.500-1.892.500 l</b>	11.001,49	9,88
<b>1.700-3.400 tn</b> <b>1.892.500-3.785.000 l</b>	6.346,41	5,7
<b>3.400-34.000 tn</b> <b>3.785.000-37.850.000 l</b>	4.075,78	3,66
<b>&gt;34.000 tn</b> <b>&gt;37.850.000 l</b>	615,51	0,55

Πίνακας 3.4: Ανά μονάδα κόστος απορρύπανσης συναρτήσσει του μεγέθους της πετρελαιοκηλίδας.

### 3.2.6 Επίδραση της μεθόδου απορρύπανσης στο κόστος

Η μέθοδος απορρύπανσης επιτελεί πολύ σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του συνολικού κόστους αντιμετώπισης ενός περιστατικού ρύπανσης από πετρελαιοειδή. Συνήθως, εφαρμόζονται περισσότερες από μια μέθοδοι καταπολέμησης και η πρωταρχική μέθοδος συμβάλλει περισσότερο στο ανά μονάδα κόστος απορρύπανσης.

Ιδιαίτερα η χρήση χημικών διασκορπιστικών ουσιών έχει αποδειχθεί ότι ελαττώνει σημαντικά τα ολικά κόστη απορρύπανσης. Αυτή η μείωση μπορεί να αποδοθεί στα χαμηλότερα εργατικά κόστη επειδή χρησιμοποιείται λιγότερο προσωπικό για μικρότερη χρονική περίοδο και στο χαμηλότερο κόστος χρήσης εξοπλισμού (ακόμα και στην περίπτωση χρήσης αεροσκαφών με ειδικό εξοπλισμό ψεκασμού διασκορπιστικών) σε σχέση με τη μέθοδο του εγκλωβισμού και της μηχανικής ανάκτησης.

Στον επόμενο πίνακα απεικονίζεται το ανά μονάδα κόστος απορρύπανσης σε σχέση με την πρωταρχική μέθοδο απορρύπανσης που χρησιμοποιείται.

Πρωταρχική μέθοδος αντιμετώπισης	Κόστος (€/tn)	Κόστος (€/lt)
<b>Χειροκίνητη αφαίρεση πετρελαίου</b>	39.670,83	36,20
<b>Μηχανική αφαίρεση πετρελαίου</b>	16.456,21	14,87
<b>Χρήση χημικών διασκορπιστικών ουσιών</b>	9,698,08	8,71
<b>Επιτόπου καύση</b>	5,384,37	4,84
<b>Φυσική διασπορά</b>	2.213,74	1,98

Πίνακας 3.5: Ανά μονάδα κόστος απορρύπανσης ανάλογα με την εφαρμοστέα πρωταρχική μέθοδο αντιμετώπισης μιας πετρελαιοκηλίδας.

Από τον ανωτέρω πίνακα παρατηρείται ότι το ανά μονάδα κόστος αντιμετώπισης είναι υψηλότερο όταν πρωταρχική μέθοδος αντιμετώπισης είναι η χειροκίνητη αφαίρεση του πετρελαίου, κάτι που οφείλεται στα υψηλά εργατικά κόστη σε σχέση με τις άλλες μεθόδους.

Τα χαμηλά κόστη της χρήσης χημικών διασκορπιστικών ουσιών ως πρωταρχικής μεθόδου οφείλονται ακόμα στο ότι καταφέρνουν και επιτυγχάνουν μείωση της προσβολής των ακτών από πετρέλαιο και άρα λιγότερη ανάγκη της ακριβής χειροκίνητης αφαίρεσής του. Επιπρόσθετα, πρέπει να σημειωθεί ότι η επιτόπου καύση, αν και ελκυστική από άποψη κόστους, διέπεται από αυστηρό ρυθμιστικό πλαίσιο στις περισσότερες χώρες λόγω των κινδύνων που σχετίζονται με τις επιβλαβείς εκπομπές υδρογονανθράκων ως αποτέλεσμα της καύσης.

### 3.2.7 Διαφορές κόστους ανά χώρα

Κάθε κράτος ακολουθεί διαφορετική πολιτική σε ό,τι αφορά το αποδεκτό επίπεδο απορρύπανσης που θα επιτευχθεί στα πλαίσια αντιμετώπισης μιας ρύπανσης από πετρελαιοειδή. Ακόμα, τα κράτη δεν υιοθετούν τις ίδιες πρωταρχικές μεθόδους αντιμετώπισης. Τα εργατικά κόστη, το κόστος χρήσης εξοπλισμού, τα κόστη που προκύπτουν από τη διοικητική μέριμνα διαφέρουν μεταξύ των κρατών. Επιπλέον, οι διαφορές στο κόστος μεταξύ των κρατών επηρεάζονται από τις διαφορετικές κοινωνικοοικονομικές αξίες που προσδίδονται στο περιβάλλον. Στο επόμενο πίνακα παρατίθενται στοιχεία ανά μονάδα κόστους για ορισμένα ανεπτυγμένα κράτη. Συμπεραίνεται ότι οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν από τα υψηλότερα ανά μονάδα κόστη. Οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν καθιερώσει υψηλά πρότυπα απαιτούμενης απορρύπανσης και παρουσιάζουν μεγάλα εργατικά κόστη. Οι χώρες της Ασίας παρουσιάζουν επίσης υψηλά κόστη λόγω των εκτεταμένων δραστηριοτήτων ιχθυοκαλλιεργειών στις ακτές τους. Γενικότερα, όσο πιο ανεπτυγμένο είναι ένα κράτος, τόσο πιο σύνθετους κανονισμούς αντιμετώπισης ρύπανσης έχει υιοθετήσει και όσο πιο

υψηλά περιβαλλοντικά πρότυπα έχει θέσει, τόσο πιο ακριβή γίνεται η ανά μονάδα επιχείρηση αντιμετώπισης μιας πετρελαιοκηλίδας.

Χώρα	Κόστος (€/tn)	Κόστος (€/lt)
<b>Ηνωμένες Πολιτείες</b>	44.093,46	39,63
<b>Γαλλία</b>	3.961,98	3,56
<b>Ελλάδα</b>	14.684,19	13,20
<b>Ιταλία</b>	11.260,11	10,12
<b>Ισπανία</b>	755,15	0,67
<b>Νορβηγία</b>	39.795,86	35,75
<b>Σουηδία</b>	26.927,03	24,21
<b>Ηνωμένο Βασίλειο</b>	5.306,78	4,77
<b>Αυστραλία</b>	10.313,58	9,26
<b>Νέα Ζηλανδία</b>	4.805,08	4,53
<b>Χονγκ Κονγκ</b>	8.030,77	6,88
<b>Ιαπωνία</b>	59.595,32	53,56
<b>Μαλαισία</b>	131.842,13	118,65
<b>Φιλιππίνες</b>	1.164,56	1,05
<b>Σιγκαπούρη</b>	672,41	0,60
<b>Νότια Κορέα</b>	22.059,89	19,83

Πίνακας 3.6: Ανά μονάδα κόστος απορρύπανσης ανά χώρα.

### 3.2.8 Αλγόριθμος εκτίμησης κόστους απορρύπανσης

Η ενσωμάτωση σε έναν αλγόριθμο των παραγόντων από τους οποίους εξαρτάται το κόστος ενός περιστατικού ρύπανσης της θάλασσας από πετρέλαιο και αναφέρθηκαν στις προηγούμενες υποενότητες οδηγεί στις εξής σχέσεις:

$$C_{ui} = C_n t_i o_i m_i s_i r_i l_i \quad (3.1)$$

$$C_{ei} = C_{ui} A_i \quad (3.2)$$

όπου:

$C_{ui}$  το ανά μονάδα κόστος απορρύπανσης για το σενάριο  $i$ ,

$C_{ei}$  το ολικό εκτιμώμενο κόστος για το σενάριο  $i$ , λαμβάνοντας υπόψη την έκταση  $A$  της πετρελαιοκηλίδας,

$C_n$  το ανά μονάδα κόστος απορρύπανσης στη χώρα  $n$ ,

$t_i$  συντελεστής τροποποίησης τύπου πετρελαίου για το σενάριο  $i$ ,

$o_i$  συντελεστής τροποποίησης μήκους ακτογραμμής που προσβλήθηκε από πετρέλαιο για το σενάριο  $i$ ,

$m_i$  συντελεστής τροποποίησης πρωταρχικής μεθόδου αντιμετώπισης για το σενάριο  $i$ ,

$s_i$  συντελεστής τροποποίησης μεγέθους πετρελαιοκηλίδας για το σενάριο  $i$ ,

$l_i$  συντελεστής τροποποίησης του είδους του θαλάσσιου χώρου που προσβλήθηκε από πετρέλαιο για το σενάριο  $i$ .

Οι τιμές των ανωτέρω συντελεστών τροποποίησης φαίνονται στον κατωτέρω πίνακα.

Παράγοντας κόστους	Συντελεστής τροποποίησης
<b>Τύπος Πετρελαίου (<math>t_i</math>)</b>	
Καύσιμο Diesel No. 2	0,18
Ελαφρύ αργό πετρέλαιο	0,32
Καύσιμο No.4	1,82
Καύσιμο No.5	1,82
Αργό πετρέλαιο	0,55
Βαρύ αργό πετρέλαιο	0,65
Καύσιμο No. 6	0,71
<b>Μέγεθος Πετρελαιοκηλίδας (<math>s_i</math>)</b>	
< 34 tn	2,00
34-340 tn	0,65
340-1.700 tn	0,27
1.700-3.400 tn	0,15
3.400-34.000 tn	0,05
>34.000 tn	0,01
<b>Είδος θαλάσσιου χώρου (<math>l_i</math>)</b>	
Εντός λιμένων	1,46
Παράκτια ζώνη	1,28
Ανοιχτή θάλασσα	0,46
<b>Πρωταρχική μέθοδος αντιμετώπισης (<math>m_i</math>)</b>	
Χρήση χημικών διασκορπιστικών ουσιών	0,46
Επιτόπου καύση	0,25
Μηχανική αφαίρεση πετρελαίου	0,92
Χειροκίνητη αφαίρεση πετρελαίου	1,89
Φυσική διασπορά	0,10
<b>Μήκος ακτογραμμής που προσβλήθηκε (<math>o_i</math>)</b>	
0-1 km	0,47
2-5 km	0,54
8-15 km	0,54
20-90 km	0,61
100 km	1,06
500 km	1,53

Πίνακας 3.7: Τιμές των τροποποιητικών συντελεστών  $t_i$ ,  $s_i$ ,  $l_i$ ,  $m_i$  και  $o_i$ .

Ο τροποποιητικός συντελεστής  $r_i$  αντανακλά τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ενός τόπου. Για παράδειγμα, αν είναι γνωστό ότι σε ένα κράτος τα εργατικά κόστη απορρύπανσης είναι μεγαλύτερα κατά 30 % σε σχέση με ένα άλλο κράτος, το κόστος απορρύπανσης μπορεί να υπολογιστεί αυξάνοντας κατά 30 % το αρχικά υπολογισθέν κόστος για το δεύτερο κράτος.

Η ανωτέρω μέθοδος δεν αποτελεί ακριβή μέθοδο υπολογισμού του κόστους απορρύπανσης αλλά μια γενική τάση που στηρίζεται σε ιστορικά δεδομένα πετρελαιοκηλίδων. Για αυτό και πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή. [9] Κάθε πετρελαιοκηλίδα είναι ένα ξεχωριστό περιστατικό που εξαρτάται από τις συντρέχουσες περιστάσεις. Το κόστος αντιμετώπισης της θαλάσσιας ρύπανσης με βάση τα ανωτέρω είναι δύσκολο να προβλεφθεί.

### **3.3 Κοινωνικοοικονομικές απώλειες και περιβαλλοντικά κόστη**

Οι κοινωνικοοικονομικές απώλειες αποτελούνται από τις υλικές ζημιές και την απώλεια εισοδήματος. Οι υλικές ζημιές αναφέρονται στις ζημιές που προκαλούνται στα πλοία, σκάφη, εξοπλισμό και υποδομές που χρησιμοποιούνται στις επιχειρήσεις αποκατάστασης και απορρύπανσης. Περιλαμβάνει επίσης και το κόστος των ζημιών που προκαλούνται στο πλοίο που μπορεί να υπήρξε η αφορμή της ρύπανσης του θαλασσίου περιβάλλοντος.

Οι απώλειες εισοδήματος περιλαμβάνουν τις ζημιές που προκαλούνται σε τομείς της οικονομίας στους οποίους η ρύπανση έχει αρνητικές επιπτώσεις. Παραδείγματα αυτών των τομέων είναι η αλιεία και ο τουρισμός. Οι απώλειες εισοδήματος αναφέρονται στη χρονική περίοδο που μεσολαβεί για την αποκατάσταση του θαλασσίου περιβάλλοντος που υποβαθμίστηκε χάριν της ρύπανσης από πετρελαιοειδή. Στην περίπτωση του τουρισμού, η απώλεια εισοδήματος προκαλείται από τη μείωση της τουριστικής ελκυστικότητας, η οποία συνδέεται άμεσα με το θαλάσσιο περιβάλλον. Στην περίπτωση του αλιευτικού τομέα, μια πετρελαιοκηλίδα μπορεί να ωθήσει τις αρμόδιες αρχές να απαγορεύσουν τοπικά την αλιευτική δραστηριότητα για λόγους δημόσιας υγείας ή να προκαλέσει την δυσπιστία των καταναλωτών, με αποτέλεσμα την μείωση του εισοδήματος των αλιέων.

Τα περιβαλλοντικά κόστη είναι το μέρος του συνολικού κόστους της ρύπανσης από πετρέλαιο που είναι το δυσκολότερο να υπολογιστεί επειδή οι περιβαλλοντικοί πόροι, τα αγαθά και οι υπηρεσίες που παρέχει το περιβάλλον είναι μη εμπορεύσιμα. Οι περιβαλλοντικοί οικονομολόγοι έχουν αναπτύξει μια σειρά προσεγγίσεων για τον υπολογισμό της οικονομικής αποτίμησης των επιδράσεων σε μη εμπορεύσιμα αγαθά. Προκειμένου να υπολογιστούν οι περιβαλλοντικές ζημιές, πραγματοποιείται έμμεσος συσχετισμός των περιβαλλοντικών πόρων με κάποια εμπορεύσιμα αγαθά ή

«κατασκευάζεται» μια υποθετική αγορά στην οποία οι καταναλωτές καλούνται να πληρώσουν για αυτούς τους πόρους. [31]

Η Μέθοδος Υποθετικής ή Εξαρτημένης Αξιολόγησης (Contingency Valuation Method) είναι από τις πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους. Η μέθοδος λειτουργεί με δεδομένα μιας υποθετικής αγοράς μέσω της οποίας επιδιώκεται να υπολογιστεί η διάθεση του ερωτώμενου να πληρώσει (Willingness to Pay – WTP) ή να αποζημιωθεί (Willingness to Accept – WTA) για τις μεταβολές στην παρεχόμενη ποιότητα ή ποσότητα ενός περιβαλλοντικού αγαθού ή υπηρεσίας και εκτιμά με άμεσο τρόπο την οικονομική αξία ενός περιβαλλοντικού αγαθού από τις εκφρασμένες προτιμήσεις των μελών μιας κοινωνίας. [50]

Σύμφωνα με [42] το άθροισμα των κοινωνικοοικονομικών απωλειών και του περιβαλλοντικού κόστους είναι ανάλογο του κόστους απορρύπανσης. Η σχέση τους εξαρτάται από τον την τοποθεσία που έλαβε χώρα η πετρελαιοκηλίδα, τον τύπο του ατυχήματος και τον τύπο του πετρελαίου. Στις διάφορες έρευνες πάνω στο κόστος ενός περιστατικού ρύπανσης από πετρέλαιο, συχνά γίνεται η παραδοχή ενός σταθερού λόγου του ανωτέρω αθροίσματος και του κόστους απορρύπανσης. Στην εν λόγω μελέτη αυτός ο λόγος είναι ίσος με 1,25 αν και αναφέρεται ότι υπάρχει σημαντική αβεβαιότητα για τον καθορισμό του.

### **3.4 Μοντέλο ολικού κόστους από D.S. Etkin**

Ένα μοντέλο που μπορεί να εκτιμήσει το ολικό κόστος μιας πετρελαιοκηλίδας είναι το BOSCEM (Basic Oil Spill Cost Estimation Model) και αναπτύχθηκε από την D.S. Etkin για την Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (U.S. E.P.A.). Το μοντέλο υπολογίζει το ολικό κόστος, δηλαδή το κόστος απορρύπανσης, τις κοινωνικοοικονομικές απώλειες και το περιβαλλοντικό κόστος για τρέχουσες ή υποθετικές πετρελαιοκηλίδες. Τα δεδομένα εισόδου του μοντέλου είναι: η ποσότητα του πετρελαίου που διέρρευσε (σε γαλόνια), ο τύπος του πετρελαίου, η εφαρμοζόμενη πρωταρχική μέθοδος αντιμετώπισης και ο βαθμός απόδοσής της, η τοποθεσία που λαμβάνει χώρα η πετρελαιοκηλίδα (όπως ανοιχτή θάλασσα, ακτή, υγροβιότοπος, λασπότοπος), η κοινωνικοοικονομική και πολιτισμική αξία της ανωτέρω τοποθεσίας, την ευαλωτότητα του γλυκού νερού από μια πετρελαιοκηλίδα και την ευαισθησία του ενδιαιτήματος και της άγριας ζωής από το πετρέλαιο.

Ο υπολογισμός του κόστους απορρύπανσης γίνεται πολλαπλασιάζοντας το ανά μονάδα κόστος (κόστος ανά γαλόνι που βασίζεται στον τύπο του πετρελαίου, την ποσότητα και την μέθοδο αντιμετώπισης καθώς και την απόδοση αυτής) με τον όγκο του πετρελαίου που διέρρευσε και ένα συντελεστή που βασίζεται στην τοποθεσία.

Ο υπολογισμός των κοινωνικοοικονομικών απωλειών γίνεται πολλαπλασιάζοντας το ανά μονάδα κόστος (κόστος ανά γαλόνι που βασίζεται στον τύπο του πετρελαίου και την ποσότητα) με τον κατάλληλο τροποποιητικό συντελεστή κοινωνικοοικονομικού και πολιτισμικού κόστους και με την ποσότητα του πετρελαίου.

Ο υπολογισμός του περιβαλλοντικού κόστους γίνεται πολλαπλασιάζοντας το ανά μονάδα περιβαλλοντικό κόστος (κόστος ανά γαλόνι που βασίζεται στον τύπο του πετρελαίου και την ποσότητα) με την ποσότητα του πετρελαίου και το άθροισμα του κατάλληλου τροποποιητικού συντελεστή ευαλωτότητας του γλυκού νερού και του τροποποιητικού συντελεστή ενδιαιτήματος / άγριας ζωής πολλαπλασιασμένο με 0,5.

Οι συντελεστές και τα ανά μονάδα κόστη που αναφέρονται παραπάνω μπορούν να βρεθούν στο [10]. Το BOSCEM έχει χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του ολικού κόστους πετρελαιοκηλίδων σε εσωτερικά πλούμα ύδατα των Η.Π.Α.

### 3.5 Υπολογισμός κόστους από δεδομένα των ΙΟΡCF

Η αποζημίωση για τη ρύπανση από πετρέλαιο που προκαλείται από πετρελαιοφόρα διέπεται από τέσσερις διεθνείς συμβάσεις. Αυτές είναι οι Διεθνείς Συμβάσεις περί Αστικής Ευθύνης για Ζημίες από Ρύπανση με Πετρέλαιο (CLC) του 1969 και του 1992 και οι συμβάσεις για την θέσπιση Διεθνούς Ταμείου Αποζημιώσεων από Ρύπανση Πετρελαίου του 1971 και 1992 (ΙΟΡCF). Οι συμβάσεις δημιουργούν ένα διεθνές σύστημα όπου κόστη απορρύπανσης και εύλογες απαιτήσεις αποζημιώσεων ικανοποιούνται. Οι αποζημιώσεις ικανοποιούνται πρώτα από τους ιδιοκτήτες των πετρελαιοφόρων έως το όριο της CLC διαμέσου της υποχρεωτικής ασφάλισης των πλοίων και ύστερα από τα Διεθνή Ταμεία, σε περίπτωση που το ποσό της αποζημίωσης υπερβαίνει αυτό το όριο (εξαρτάται από την ολική χωρητικότητα του πλοίου). Κάθε έτος, τα ΙΟΡCF δημοσιεύουν τις απαιτήσεις αποζημίωσης με τις οποίες ήρθαν αντιμέτωπα στο παρελθόν. [32]

Στην μέθοδο που θα παρατεθεί γίνεται η παραδοχή ότι το κόστος απορρύπανσης και το ολικό κόστος μιας πετρελαιοκηλίδας μπορούν να προσεγγιστούν από την αποζημίωση που τελικώς καταβάλλεται στους ενάγοντες.

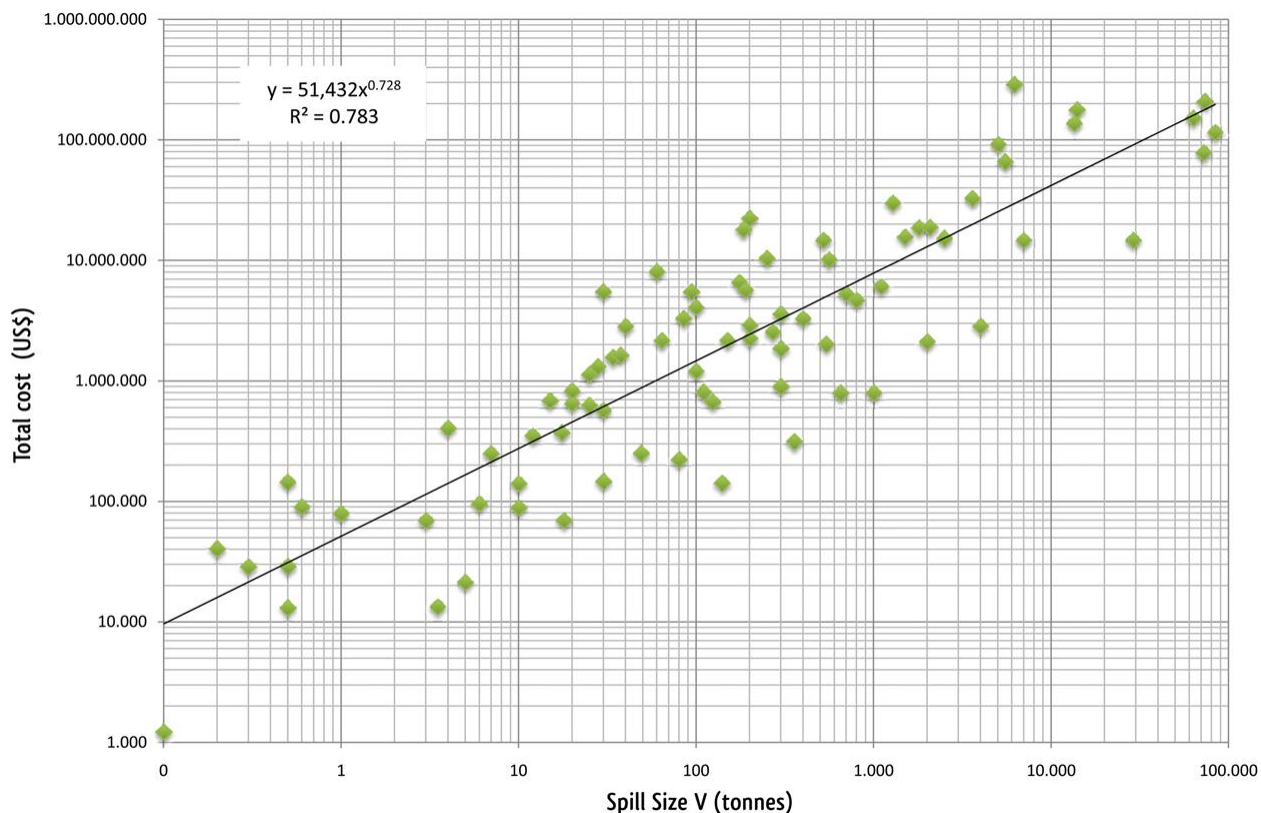
Κάθε ετήσια αναφορά των ΙΟΡCF περιέχει το σύνολο των ατυχημάτων απόρριψης πετρελαίου από δεξαμενόπλοια που συνέβησαν στο παρελθόν και τα Διεθνή Ταμεία προχώρησαν σε αποζημιώσεις. Έτσι, δημιουργείται μια βάση δεδομένων όπου πραγματοποιείται ανάλυση παλινδρόμησης (regression analysis). Η ανάλυση παλινδρόμησης οδηγεί σε μια σχέση της μορφής:

$$C = aV^x \quad (3.3)$$

όπου C το ολικό κόστος της πετρελαιοκηλίδας, V το βάρος της πετρελαιοκηλίδας σε τόνους, a και x σταθερές που προκύπτουν από την ανάλυση παλινδρόμησης.

Σύμφωνα με [14] ο λογάριθμος του μεγέθους της πετρελαιοκηλίδας είναι ευθέως ανάλογος με το λογάριθμο του ολικού κόστους με υψηλό συντελεστή συσχέτισης. Παράλληλα, πριν την εκτέλεση της ανάλυσης παλινδρόμησης, εξετάζεται η ύπαρξη

πιθανών ακραίων παρατηρήσεων (outliers) που αφαιρούνται από αυτήν. Παράδειγμα τέτοιας ανάλυσης φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 3.1: Ανάλυση παλινδρόμησης του λογαρίθμου του μεγέθους της πετρελαιοκηλίδας και του λογαρίθμου του ολικού κόστους με βάση τα δεδομένα IOPCF 2008. [32]

Από το ανωτέρω διάγραμμα συμπεραίνεται ότι το γραμμικό μοντέλο εξηγεί κατά 78,3 % την μεταβλητότητα των δεδομένων ( $R^2=0,783$ ). Το  $R^2$  (R-squared) είναι γνωστό ως συντελεστής προσδιορισμού και αποτελεί ένα στατιστικό μέτρο του κατά πόσο κοντά είναι τα δεδομένα στην καμπύλη αναγωγής. Η εξίσωση της ευθείας αναγωγής είναι  $y = 51,432x^{0,728}$  όπου  $y$  το ολικό κόστος της πετρελαιοκηλίδας και  $x$  το βάρος της.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα κόστη που τα IOPCF δημοσιεύει δεν είναι τα πραγματικά κόστη που προκαλούνται αφού συμβεί μια πετρελαιοκηλίδα. Πρόκειται μόνο για τα χρηματικά ποσά που συμφωνήθηκε να καταβληθούν στους ενάγοντες. Αν και τα ποσά αυτά είναι αληθινά και δεν μπορούν να αμφισβητηθούν, δημιουργείται η αμφιβολία αν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως προσεγγιστικά του κόστους των πετρελαιοκηλίδων. Επίσης, ένα άλλο σημαντικό θέμα που εγείρεται από πολλούς ερευνητές είναι ότι οι απαιτήσεις που υποβάλλονται στα IOPCF πιθανώς υποεκτιμούν το κόστος των πετρελαιοκηλίδων διότι δεν περιλαμβάνουν τα κόστη των περιβαλλοντικών ζημιών. Οι



περιβαλλοντικές ζημιές δεν αποζημιώνονται από τα ΙΟΡΡΚ και η αποζημίωση περιορίζεται στα κόστη των εύλογων μέτρων που ελήφθησαν για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος που ρυπάνθηκε και οι απαιτήσεις για τις ζημιές που προκλήθηκαν στο οικοσύστημα δεν πληρούν τα κριτήρια του παραδεκτού.

## **3.6 Κριτήρια αξιολόγησης περιβαλλοντικού κινδύνου για την πρόληψη ατυχημάτων διαρροής πετρελαίου από τα πλοία**

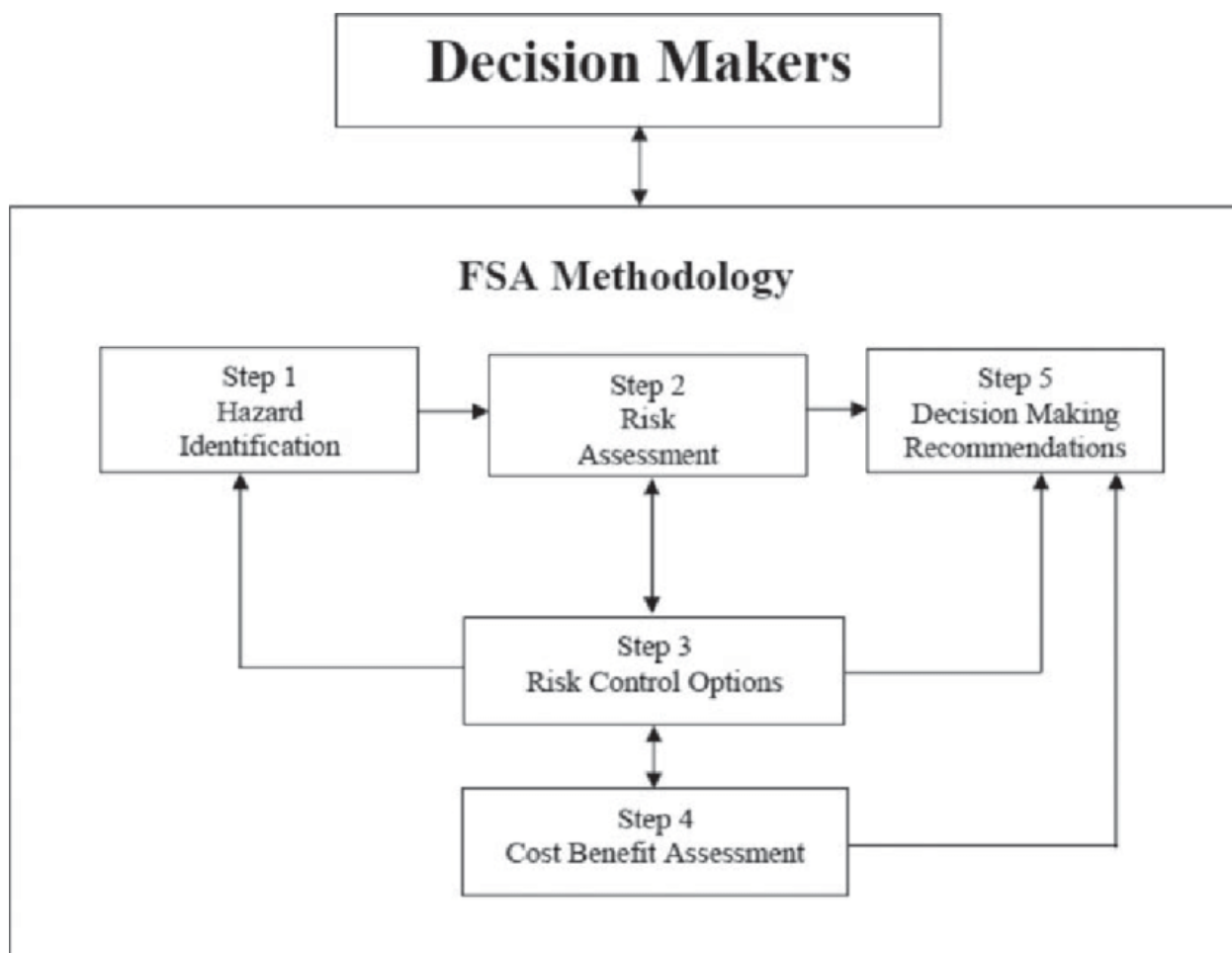
### **3.6.1 Formal Safety Assessment**

Η Formal Safety Assessment (FSA) είναι μια δομημένη και συστηματική μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στον ΙΜΟ (International Maritime Organization) και στοχεύει στην ενίσχυση της ασφάλειας του ναυτιλιακού τομέα σε τομείς όπως η προστασία της ανθρώπινης ζωής, της υγείας, του θαλασσιού περιβάλλοντος και της ιδιοκτησίας κάνοντας χρήση εργαλείων ανάλυσης ρίσκου και αξιολόγησης κόστους – ωφελείας. Έτσι, η FSA δύναται να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την αξιολόγηση νέων κανονισμών στον τομέα της ναυτιλιακής ασφάλειας και προστασίας θαλασσιού περιβάλλοντος ή για την σύγκριση μεταξύ υπαρχόντων κανονισμών και νέων εξεταζόμενων κανονισμών που επιφέρουν βελτιώσεις, με αποτέλεσμα την προσπάθεια επίτευξης ισορροπίας και αρμονίας μεταξύ των διάφορων τεχνικών και λειτουργικών ζητημάτων.

Η μεθοδολογία της FSA στηρίζεται σε πέντε βήματα: [16]

1. Βήμα 1<sup>ο</sup>: Προσδιορισμός των κινδύνων. Ανάλυση των αιτιών των κινδύνων που είναι πιθανό να προκύψουν και να προκαλέσουν ατυχήματα καθώς των αποτελεσμάτων που προκαλούνται.
2. Βήμα 2<sup>ο</sup>: Αξιολόγηση των κινδύνων. Επιλέγονται τα πιο σημαντικά σενάρια του 1<sup>ου</sup> βήματος και ιεραρχούνται ως προς τον παράγοντα κινδύνου.
3. Βήμα 3<sup>ο</sup>: Προσδιορισμός επιλογών ελέγχου κινδύνου (Risk Control Options – RCO). Σε αυτό το βήμα επινοούνται ρυθμιστικά μέτρα για τον έλεγχο και την ελάττωση των προσδιορισμένων κινδύνων.
4. Βήμα 4<sup>ο</sup>: Εκτίμηση κόστους – οφέλους (Cost Benefit Assessment). Σε αυτό το βήμα υπολογίζονται τα κόστη και τα οφέλη κάθε επιλογής ελέγχου κινδύνου με σκοπό τη σύγκριση κόστους και οφέλους μεταξύ τους.
5. Βήμα 5<sup>ο</sup>: Συστάσεις για την λήψη αποφάσεων. Στο τελευταίο βήμα προσδιορίζονται οι απαραίτητες δράσεις στις οποίες οφείλουν να προβούν οι αρμόδιοι εκθέτοντας του κινδύνους που προσδιορίστηκαν και τις επιλογές ελέγχου κινδύνων για την αντιμετώπισή τους, λαμβάνοντας υπόψη τις αναλύσεις και τις συγκρίσεις που προηγήθηκαν.

Η επόμενη εικόνα απεικονίζει το λογικό διάγραμμα της μεθοδολογίας της Formal Safety Assessment.



Εικόνα 3.2: Λογικό διάγραμμα της μεθοδολογίας που εφαρμόζεται στη Formal Safety Assessment. [39]

### 3.6.2 Περιβαλλοντική αξιολόγηση επιλογών ελέγχου κινδύνου

Η Formal Safety Assessment αφορά κυρίως την εξέταση αξιολόγησης εφαρμογής επιλογών ελέγχου κινδύνου (RCO) για τη μείωση των ατυχημάτων που οδηγούν σε απώλειες ανθρώπινων ζώων στα πλοία. Σχετικοί είναι οι δείκτες GCAF (Gross Cost of Averting a Fatality) και NCAF (Net Cost of Averting a Fatality). [38]

Ωστόσο, υπάρχουν RCO που στοχεύουν στη μείωση της ποσότητας του πετρελαίου που διαρρέει στο θαλάσσιο περιβάλλον ως συνέπεια ατυχημάτων. Παραδείγματα αποτελούν οι προτάσεις για την υποχρεωτική υιοθέτηση πλευρικών δεξαμενών με αυξημένο πλάτος και διπύθμενων στα πετρελαιοφόρα από την Δανική αντιπροσωπία στην επιτροπή MEPS (Marine Environment Protection Committee) 58 του IMO. [38]

Η επιτροπή MEPS 62 (2011) κατέληξε στην καθιέρωση του εξής κριτηρίου για να θεωρηθεί μια RCO ως οικονομικά αποδοτική στην ανάλυση κόστους – οφέλους (4<sup>ο</sup> βήμα της μεθοδολογίας της Formal Safety Assessment):

$$\Delta C < \Delta SC \quad (3.4)$$

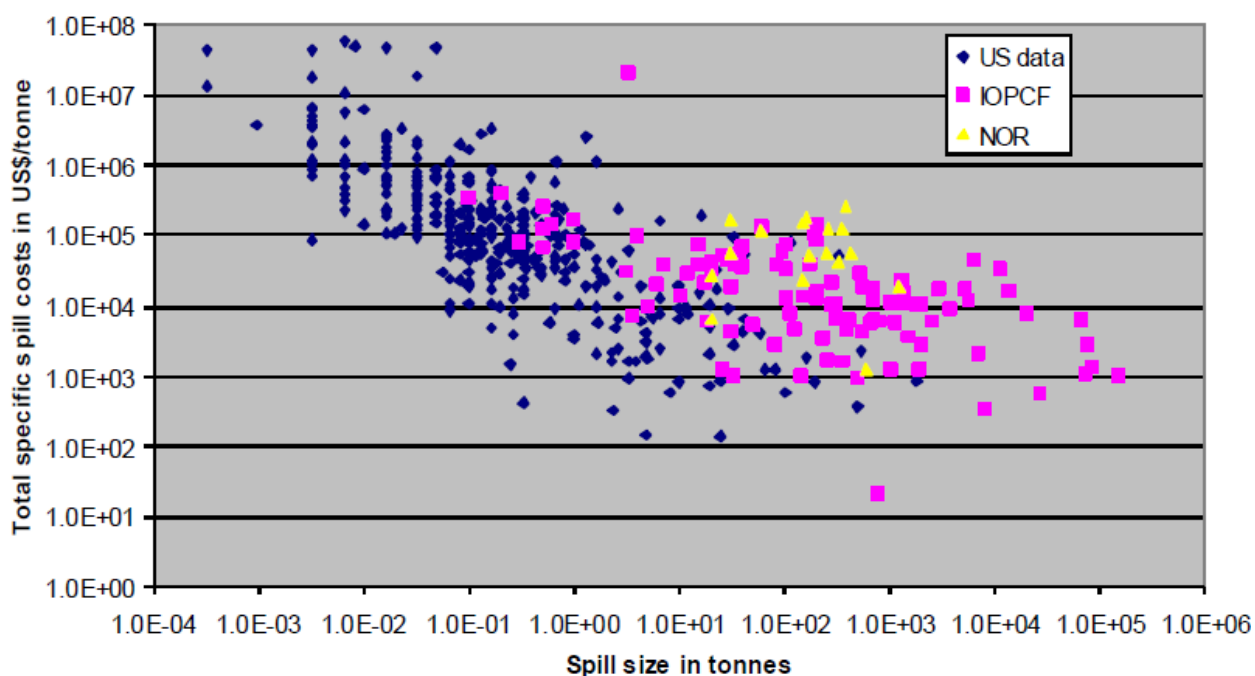
όπου ΔC, ΔSC το κόστος και το όφελος που προκύπτει από την εφαρμογή της RCO, αντίστοιχα. Το ΔSC προκύπτει από την αφαίρεση του ολικού κόστους αντιμετώπισης μιας πετρελαιοκηλίδας με την εφαρμογή της RCO από το αντίστοιχο ολικό κόστος δίχως την εφαρμογή της RCO.

Σε ό,τι αφορά τον υπολογισμό του ολικού κόστους των πετρελαιοκηλίδων, η MEPC 62 προτείνει την εφαρμογή των εξής τύπων:

Βάρος πετρελαιοκηλίδας (V)	f(V):Ολικό κόστος (σε \$) [2009]	f(V):Ολικό κόστος (σε €) [30-06-2022]
Όλες οι πετρελαιοκηλίδες	$67,725V^{0,5893}$	$90,11V^{0,5893}$
$V > 0,1 \text{ tn}$	$42,301V^{0,7233}$	$56,569V^{0,7233}$

Πίνακας 3.8: Προτεινόμενοι τύποι υπολογισμού ολικού κόστους πετρελαιοκηλίδας για εφαρμογή σε μελέτες Formal Safety Assessment. Το ολικό κόστος σε ευρώ αναφέρεται στην ισοτιμία που ίσχυε στις 30-06-2022. [17]

Οι ανωτέρω τύποι προέκυψαν έπειτα από ανάλυση παλινδρόμησης στα δεδομένα κόστους της βάσης δεδομένων IOPCF 2008 (που παρατέθηκε στην προηγούμενη υποενότητα), εμπλουτισμένη με τη βάση δεδομένων του αντίστοιχου Αμερικανικού ταμείου (οι Η.Π.Α. δεν είναι συμβαλλόμενο κράτος στη σύμβαση για τη δημιουργία των ταμείων IOPCF) και με την σχετική βάση δεδομένων της Νορβηγίας. Όλα τα δεδομένα κόστους συναρτήσεις του βάρους των πετρελαιοκηλίδων, στα οποία εφαρμόστηκε η ανάλυση παλινδρόμησης φαίνονται στην επόμενη εικόνα



Εικόνα 3.3: Διάγραμμα ολικού κόστους – μεγέθους πετρελαιοκηλίδων επί των δεδομένων του οποίου εφαρμόστηκε ανάλυση παλινδρόμησης και προέκυψαν οι τύποι του πίνακα 3.8 [17]

Η εγκύκλιος IMO Circ. MSC-MEPC. 2/Circ.12/Rev.2 προτείνει τον πολλαπλασιασμό του  $f(V)$  με έναν συντελεστή ασφαλείας και έναν συντελεστή αβεβαιότητας. Έτσι, προκύπτει το κοινωνικοοικονομικό κόστος των πετρελαιοκηλίδων  $SC(V)$ :

$$SC(V) = F_{assurance} F_{uncertainty} f(V) \quad (3.5)$$

όπου:

$F_{assurance}$  συντελεστής ασφαλείας που αναπαριστά την βούληση της κοινωνίας να πληρώσει προκειμένου να αποφευχθούν τα ατυχήματα και

$F_{uncertainty}$  συντελεστής αβεβαιότητας που αναπαριστά την αβεβαιότητα που διακρίνει τον υπολογισμό του κόστους μέσω δεδομένων κόστους πετρελαιοκηλίδων παρελθόντων ετών.

Οι τιμές των  $F_{assurance}$  και  $F_{uncertainty}$  επιλέγονται από τον μελετητή με επαρκή τεκμηρίωση.

Τέλος, η εγκύκλιος [17] δεν καθιστά υποχρεωτική τη χρήση των ανωτέρω τύπων σε μια μελέτη FSA. Όμως απαιτεί την τεκμηρίωση του μελετητή σε περίπτωση που αυτός αναπτύξει νέες προσεγγίσεις, λαμβάνοντας υπόψη τους στόχους της FSA.

### **3.7 Επιβολή κυρώσεων για παραβάσεις της νομοθεσίας που αφορά στη προστασία του θαλασσιού περιβάλλοντος στην Ελλάδα**

Στην Ελλάδα, οι παραβάτες της νομοθεσίας που αφορά στη προστασία του θαλασσιού περιβάλλοντος υπόκεινται σε ποινικές και διοικητικές κυρώσεις. Σε ό,τι αφορά τις ποινικές κυρώσεις, το άρθρο 3 του νόμου 4037 / 2012 (ΦΕΚ Α'10) (με το οποίο προσαρμόστηκε η ελληνική νομοθεσία με τις σχετικές διατάξεις ευρωπαϊκής οδηγίας σχετικά με τη ρύπανση από τα πλοία και τη θέσπιση κυρώσεων) ορίζει τις θαλάσσιες περιοχές εντός των οποίων επιβάλλονται κυρώσεις και συγκεκριμένα:

*«α) στα εσωτερικά ύδατα κράτους – μέλους, συμπεριλαμβανομένων των λιμένων, κατά το βαθμό που εφαρμόζεται το καθεστώς Μαγροί*

*β) στα χωρικά ύδατα κράτους – μέλους*

*γ) στα στενά που χρησιμοποιούνται για τη διεθνή ναυσιπλοΐα και υπόκεινται στο καθεστώς του πλου διέλευσης, όπως ορίζεται από το Μέρος III τμήμα 2 της Σύμβασης των Ηνωμένων Εθνών του 1982 για το Δίκαιο της Θάλασσας, εφόσον τα στενά αυτά τελούν υπό τη δικαιοδοσία κράτους – μέλους*

*δ) στην Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη (ΑΟΖ) ή σε αντίστοιχη ζώνη κράτους – μέλους, που έχει καθορισθεί με το διεθνές δίκαιο και*

*ε) στην ανοιχτή θάλασσα.»*

Σχετικά με την ανωτέρω περίπτωση (α), τα ελληνικά δικαστήρια έχουν δικαιοδοσία στα εσωτερικά ύδατα κράτους - μέλους, στα οποία περιλαμβάνονται και οι λιμένες, εκτός αν πρόκειται για πλοία με ξένη σημαία, οπότε περιλαμβάνονται μόνο οι ελληνικοί λιμένες, στους οποίους τα πλοία αυτά καταπλέουν και έχουν πλήρη δικαιοδοσία για τις περιπτώσεις (β) – (ε).

Το άρθρο 6 του ν. 4037 / 2012 (ΦΕΚ Α'10) προβλέπει τις εξής ποινικές κυρώσεις:

*«1. Η απόρριψη ρυπογόνων ουσιών από πλοίο σε οποιαδήποτε από τις περιοχές του άρθρου 3, από την οποία προκαλείται υποβάθμιση της ποιότητας του θαλάσσιου ύδατος τιμωρείται:*

*α) με κάθειρξη μέχρι δέκα ετών και χρηματική ποινή από τρεις χιλιάδες (3.000) έως τριακόσιες χιλιάδες (300.000) ευρώ αν, εξαιτίας της σοβαρότητας της υποβάθμισης, δημιουργείται κίνδυνος θανάτου ή βαριάς σωματικής βλάβης ή ευρεία οικολογική διατάραξη ή καταστροφή,*

*β) με φυλάκιση τουλάχιστον ενός έτους και χρηματική ποινή από χίλια πεντακόσια (1.500) έως πενήντα χιλιάδες (50.000) ευρώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις.*

*2. Όποιος από αμέλεια έγινε υπαίτιος:*

*α) της πράξης της περίπτωσης α' της παραγράφου 1, τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον έξι μηνών και χρηματική ποινή από χίλια (1.000) έως δεκαπέντε χιλιάδες (15.000) ευρώ,*

*β) της πράξης της περίπτωσης β' της παραγράφου 1, τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών μηνών και χρηματική ποινή από διακόσια (200) έως τρεις χιλιάδες (3.000) ευρώ.*

*3. Επαναλαμβανόμενες μικρής σημασίας απορρίψεις, οι οποίες, όχι μεμονωμένα αλλά σε συνδυασμό μεταξύ τους και εν όψει της τοπικής και χρονικής ενότητας, επιφέρουν υποβάθμιση της ποιότητας του θαλάσσιου ύδατος, τιμωρούνται με ποινή φυλάκισης τουλάχιστον έξι μηνών και χρηματική ποινή από χίλια (1.000) έως δεκαπέντε χιλιάδες (15.000) ευρώ.*

*4. Όποιος από αμέλεια έγινε υπαίτιος της πράξης της παραγράφου 3 τιμωρείται με ποινή φυλάκισης τουλάχιστον τριών μηνών και χρηματική ποινή από διακόσια (200) έως τρεις χιλιάδες (3.000) ευρώ.*

*5. Όποιος με οποιονδήποτε τρόπο συμβάλλει, χωρίς να μπορεί να χαρακτηριστεί ως συμμετοχος, στην τέλεση των εγκλημάτων των παραγράφων 1 και 3, τιμωρείται με τις αντίστοιχες ποινές, μειωμένες κατά το άρθρο 83 του Ποινικού Κώδικα.*

*6. Αν ο δράστης των παραβάσεων των προηγούμενων παραγράφων περιορίσει ο ίδιος ουσιαδώς ή συντελέσει, με έγκαιρη αναγγελία προς την αρχή, στην ουσιαδή μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της ρύπανσης ή της υποβάθμισης της ποιότητας του θαλάσσιου ύδατος, που προκάλεσε η ενέργεια ή η παράλειψή του, το δικαστήριο μπορεί να του*

επιβάλλει ποινή μειωμένη, σύμφωνα με το άρθρο 83 του Ποινικού Κώδικα ή να τον απαλλάξει από κάθε ποινή.

7. Οι διατάξεις των παραγράφων 2 και 4 δεν εφαρμόζονται σε περίπτωση ελαφράς ασυνείδητης αμέλειας.»

Επιπρόσθετα, σε ισχύ βρίσκεται και το άρθρο 13 παρ. 1<sup>α</sup> του Προεδρικού Διατάγματος 55 / 1998 (ΦΕΚ Α' 58):

«(i) Αυτοί που με πρόθεση προκαλούν σοβαρή ρύπανση τιμωρούνται με φυλάκιση τουλάχιστον 3 μηνών. Αν από την πράξη μπορεί να προκύψει κίνδυνος ζημιάς ή βλάβης σε πρόσωπα ή πράγματα, τιμωρούνται με φυλάκιση τουλάχιστον ενός έτους.

(ii) Αυτοί που από αμέλεια γίνονται υπαίτιοι των παραπάνω πράξεων τιμωρούνται με φυλάκιση. Αυτοί μπορούν να απαλλάσσονται από κάθε ποινή, αν με δική τους πρωτοβουλία εξουδετερώσουν τη ρύπανση και αποτρέψουν κάθε βλάβη ή ζημιά που μπορεί να επέλθει ή αν με γρήγορη αναγγελία προς τις Αρχές συντελέσουν στην εξουδετέρωση της ρύπανσης, καταβάλλοντας ταυτόχρονα και τις συναφείς δαπάνες.»

Οι διοικητικές κυρώσεις για την πρόκληση ρύπανσης στο θαλάσσιο περιβάλλον αναφέρονται στα Προεδρικά διατάγματα 108 / 2019 (ΦΕΚ Α' 196) και 113 / 2019 (Α' 218), που τροποποιούν τα ΠΔ 55 / 1998 και τον ν.4037/2012. Τα ανώτατα όρια των προστίμου που επιβάλλονται είναι:

«α) Με απόφαση της αρμόδιας Αρχής μέχρι 100.000 €.

β) Σε περιπτώσεις εξακολούθησης της ρύπανσης επιβάλλεται από την Αρχή πρόστιμο μέχρι 15.000 € για κάθε ημέρα υπέρβασης της προθεσμίας που έχει ταχθεί για αποκατάσταση.

γ) Σε περίπτωση σοβαρής ρύπανσης ο Υπουργός Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής επιβάλλει πρόστιμο μέχρι 2.000.000 €.»

Από τα ανωτέρω συνάγεται ότι μια Λιμενική Αρχή (Κεντρικό Λιμεναρχείο ή Λιμεναρχείο) μπορεί να επιβάλλει πρόστιμο μέχρι 100.000 €. Το εν λόγω πρόστιμο υπολογίζεται μέσω του εξής τύπου: [46]

$$\text{Πρόστιμο} = 3125 * \Sigma\text{B} \quad (3.6)$$

ενώ σε περίπτωση σοβαρής ρύπανσης ο Υπουργός Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής μπορεί να επιβάλλει πρόστιμο μέχρι 2.000.000 € που υπολογίζεται μέσω του εξής τύπου: [46]

$$\text{Πρόστιμο} = 27.941,1765 * \Sigma\text{B} - 794.117,648 \quad (3.7)$$

όπου ΣΒ είναι ο συντελεστής βαρύτητας περιστατικού και υπολογίζεται ως το άθροισμα των επιμέρους δεικτών βαρύτητας των πινάκων που παρατίθενται στη συνέχεια

1.Είδος Ρυπογόνου ουσίας / Χαρακτηριστικά	Δείκτης Βαρύτητας
1.1 Εμμέμοντα πετρελαιοειδή	5
1.2 Διάφορα είδη Diesel	2
1.3 Πτητικά (Βενζίνη – Κηροζίνη κλπ)	1
1.4 Σεντινόνα με μικρή περιεκτικότητα πετρελαιοειδών	1

Πίνακας 3.9: Δείκτης βαρύτητας υπολογισμού προστίμου ανάλογα με το είδος της ρυπογόνου ουσίας.

2. Αιτία Ρύπανσης	Δείκτης Βαρύτητας
2.1 Παράνομη απόρριψη – λοιπές περιπτώσεις	5
2.2 Λειτουργική (Πετρέλευση – παράδοση SLOPS – φορτοεκφόρτωση δεξαμενόπλοιων)	3
2.3 Ατυχηματική	1

Πίνακας 3.10: Δείκτης βαρύτητας υπολογισμού προστίμου ανάλογα με την αιτία της ρύπανσης.

Η λειτουργική ρύπανση περιλαμβάνει περιστατικά συσχετιζόμενα με συνήθεις διαδικασίες φόρτωσης – εκφόρτωσης – ερματισμού – αφερματισμού – πετρέλευσης – παράδοσης slops – απόρριψης νερών υδροσυλλεκτών / καταλοίπων / εκπλυμάτων δεξαμενών ακαθάρτου έρματος – εσωτερική μεταφορά πετρελαιοειδών κλπ.

Η ατυχηματική ρύπανση περιλαμβάνει περιστατικά οφειλόμενα σε σύγκρουση – πρόσκρουση – προσάραξη – πυρκαγιά – βύθιση.

3. Είδος υπαιτιότητας	Δείκτης Βαρύτητας
3.1 Αμέλεια	1
3.2 Ηθελημένη	4

Πίνακας 3.11: Δείκτης βαρύτητας υπολογισμού προστίμου ανάλογα με το είδος υπαιτιότητας. Σε περίπτωση υποτροπής ο δείκτης βαρύτητας διπλασιάζεται.

4. Απορριφθείσα ποσότητα	Δείκτης Βαρύτητας
4.1 < 1 m <sup>3</sup>	1
4.2 1-5 m <sup>3</sup>	2
4.3 5-10 m <sup>3</sup>	3
4.4 10-50 m <sup>3</sup>	6
4.5 50 m <sup>3</sup> και άνω	Προστίθενται 0,5 μονάδα / 10 m <sup>3</sup>

Πίνακας 3.12: Δείκτης βαρύτητας υπολογισμού προστίμου ανάλογα με την απορριφθείσα ποσότητα που προκάλεσε τη ρύπανση.

5. Θαλάσσια περιοχή - Υποβάθμιση	Δείκτης Βαρύτητας
5.1 Ανοικτή θάλασσα	1
5.2 Λιμάνι – Αγκυροβόλιο – προβλήτας εγκατάστασης – βιομηχανικές περιοχές	2
5.3 Περιοχές πλησίον ακτών τουριστικού ενδιαφέροντος – προστατευόμενες περιοχές	4

Πίνακας 3.13: Δείκτης βαρύτητας υπολογισμού προστίμου ανάλογα με την θαλάσσια περιοχή που λαμβάνει χώρα η απόρριψη.

6. Κοινωνικός αντίκτυπος	Δείκτης Βαρύτητας
6.1 Εκτός τουριστικής περιόδου	1
6.2 Εντός τουριστικής περιόδου	2

Πίνακας 3.14: Δείκτης βαρύτητας υπολογισμού προστίμου ανάλογα με το αν η χρονική περίοδος του περιστατικού είναι εντός ή εκτός τουριστικής περιόδου.

Σε περιπτώσεις περιστατικών μικρής έκτασης σε περιοχές της περίπτωσης 5.1 ή 5.2 και εφόσον εκτιμάται ότι δεν θα επηρεασθούν περιοχές τουριστικού ενδιαφέροντος τίθεται δείκτης βαρύτητας της περίπτωσης 6.1.

7. Γνωστοποίηση περιστατικού	Δείκτης Βαρύτητας
7.1 Αναφορά από υπαίτιο	0
7.2 Αναφορά από άλλο φορέα	3

Πίνακας 3.15: Δείκτης βαρύτητας υπολογισμού προστίμου ανάλογα με το αν η ο υπαίτιος ανέφερε το περιστατικό ρύπανσης στις Αρχές ή η αναφορά έγινε από άλλο φορέα.

8. Καταπολέμηση Ρύπανσης – Συμπεριφορά υπαιτίου	Δείκτης Βαρύτητας
8.1 Άμεση ανάθεση – ανάληψη καταπολέμησης	0
8.2 Ρύπανση μη δεκτική καταπολέμησης (πτητικά, αυτοδιαλυόμενη κλπ.)	1
8.3 Καθυστέρηση ανάληψης καταπολέμησης	5
8.4 Μη ανάληψη καταπολέμησης / καταπολέμηση από άλλο φορέα	10

Πίνακας 3.16: Δείκτης βαρύτητας υπολογισμού προστίμου ανάλογα με τις ενέργειες και την συμπεριφορά που υπέδειξε ο υπαίτιος του περιστατικού ρύπανσης.



9. Προσβολή ακτών	Δείκτης Βαρύτητας
9.1 Ευαίσθητες περιοχές	1 μονάδα / km
9.2 Μη ευαίσθητες περιοχές	0,5 μονάδα / km

*Πίνακας 3.17: Δείκτης βαρύτητας υπολογισμού προστίμου ανάλογα με το αν η ρύπανση προσβάλλει ακτές ευαίσθητες ή μη ευαίσθητες. Σαν ευαίσθητες περιοχές νοούνται οι προσβάσιμες χρησιμοποιούμενες από το κοινωνικό σύνολο για δραστηριότητες αναψυχής ή τουριστικές, προστατευόμενες, ιδιαίτερου φυσικού κάλλους και οι ιχθυοκαλλιέργειες. Οι περιοχές που δεν εμπίπτουν σε αυτές της κατηγορίες θεωρούνται ως μη ευαίσθητες.*

Ο συντελεστής βαρύτητας ενός περιστατικού ρύπανσης προκύπτει σαν άθροισμα όλων των επιμέρους δεικτών βαρύτητας που αφορούν τις παραμέτρους που επηρεάζουν την αξιολόγηση ενός περιστατικού ρύπανσης.

Σε περιπτώσεις περιστατικού ρύπανσης που διαπιστώνεται ότι το είδος της ρυπογόνου ουσίας είναι διάφορα είδη Diesel, πτητικά, σεντινόνα, η αιτία είναι λειτουργική, ατυχηματική, το είδος της υπαιτιότητας είναι αμέλεια, η απορριφθείσα ποσότητα είναι κάτω από 1 m<sup>3</sup> και η θαλάσσια περιοχή είναι ανοιχτή θάλασσα, λιμάνι, αγκυροβόλιο, προβλήτα εγκατάστασης, βιομηχανικές περιοχές, τίθεται συντελεστής βαρύτητας το ήμισυ (50%) του αντιστοιχούντος.

Σε περιπτώσεις περιστατικού ρύπανσης που διαπιστώνεται ότι το είδος της ρυπογόνου ουσίας είναι εμμένοντα πετρελαιοειδή, η αιτία είναι λειτουργική, ατυχηματική, το είδος της υπαιτιότητας είναι αμέλεια, η απορριφθείσα ποσότητα αντιστοιχεί κάτω από 0,5 m<sup>3</sup> και η θαλάσσια περιοχή είναι ανοιχτή θάλασσα, λιμάνι, αγκυροβόλιο, προβλήτα εγκατάστασης, βιομηχανικές περιοχές, τίθεται δείκτης βαρύτητας για τον πίνακα 3.9 ίσος με 2 και όχι 5.

Σε περιπτώσεις περιστατικών ατυχηματικής ρύπανσης από μικρά σκάφη (αναψυχής, αλιευτικά, κλπ) με χαρακτηριστικά ρυπογόνου ουσίας διάφορα είδη Diesel, πτητικά, καύσιμα, σεντινόνα και με απορριφθείσα ποσότητα μέχρι και 0,5 m<sup>3</sup> οι ανωτέρω πίνακες δεν εφαρμόζονται και το ύψος του επιβαλλόμενου προστίμου εφόσον τελικά επιβάλλεται πρέπει να κυμαίνεται σε εύλογα επίπεδα έως 3.000 € ανάλογα με τη βαρύτητά του. [46]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΕΙΔΗ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

### 4.1 Εισαγωγή

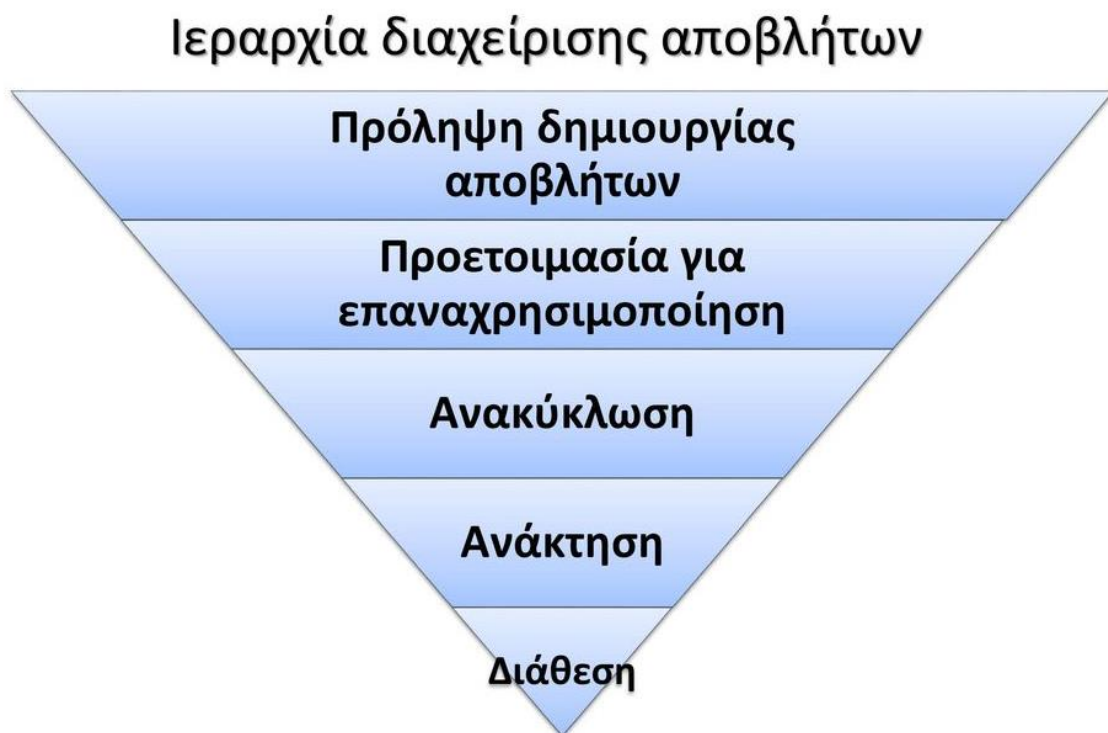
Οι περισσότερες επιχειρήσεις απορρύπανσης ως απόκριση σε περιστατικά πετρελαιοκηλίδων και ειδικότερα η περίπτωση προσβολής των ακτών καταλήγουν στη συλλογή μεγάλων ποσοτήτων πετρελαίου και πετρελαιοειδών αποβλήτων. Η αποθήκευση, η επεξεργασία και η τελική διάθεση των αποβλήτων αυτών αποτελεί σημαντικό μέρος κάθε επιχείρησης απορρύπανσης. Κάθε σχέδιο έκτακτης ανάγκης αντιμετώπισης πετρελαϊκής ρύπανσης (contingency plan) πρέπει να περιλαμβάνει κατάλληλες διατάξεις που αφορούν στη διαχείριση των πετρελαιοειδών αποβλήτων. Με αυτόν τον τρόπο, οι ενέργειες που θα αναληφθούν στην αρχή του περιστατικού, ως εφαρμογή των προβλεπόμενων από το εν λόγω σχέδιο, θα συμβάλλουν στην πρόληψη ζητημάτων που αφορούν τα απόβλητα και τα οποία μπορούν να δυσχεράνουν την προσπάθεια απορρύπανσης και να αποτελέσουν ένα κοστοβόρο πρόβλημα που να διατηρείται εις μακρόν, ακόμα και μετά την ολοκλήρωση της επιχείρησης απορρύπανσης. Η ποσότητα των αποβλήτων που θα παραχθεί εξαρτάται από τον τύπο και την ποσότητα του πετρελαίου που διέρρευσε στη θάλασσα, την έκταση εξάπλωσής του, τον όγκο των υλικών που ήρθε σε επαφή μαζί τους (στην επιφάνεια της θάλασσας και την ακτογραμμή), το βαθμό προσβολής της ακτογραμμής και κυρίως από τις μεθόδους που θα εφαρμοστούν για την καταπολέμηση της ρύπανσης και την ανάκτηση του πετρελαίου. [21,27]

Ακόμα και σε σχετικά ελάχιστους σημασίας πετρελαιοκηλίδες (με την έννοια της μικρής ποσότητας που διέρρευσε στο θαλάσσιο περιβάλλον), η ποσότητα των συλλεχθέντων αποβλήτων μπορεί να προκαλέσει συμφόρηση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας και διάθεσής τους. Η δυνατότητα αντιμετώπισης αυτού του προβλήματος εξαρτάται σημαντικά από τις προτιμώμενες μεθόδους επεξεργασίας των αποβλήτων, οι οποίες πρέπει να περιλαμβάνονται στο σχέδιο έκτακτης ανάγκης. Επίσης, η επιλογή των μεθόδων απορρύπανσης πρέπει να λαμβάνει υπόψη την ποσότητα των αποβλήτων που πιθανολογείται ότι θα παραχθεί, δίνοντας, όπου και εάν αυτό είναι εφικτό, προτίμηση στις μεθόδους που ελαχιστοποιούν αυτήν την ποσότητα. Ωστόσο, ακόμα και στην περίπτωση που εφαρμοστούν οι πλέον κατάλληλες τεχνικές απορρύπανσης, ο όγκος των αποβλήτων που θα παραχθεί μπορεί να ξεπεράσει ακόμα και το δεκαπλάσιο του όγκου της πετρελαιοκηλίδας.

Αφού τα απόβλητα συλλεχθούν, οι προσπάθειες και τα συννοδά κόστη επικεντρώνονται στις διαθέσιμες επιλογές αποθήκευσης, μεταφοράς, επεξεργασίας και διάθεσης και θα πρέπει να συμμορφώνονται με τις τοπικές κανονιστικές απαιτήσεις. Η αποτελεσματική οργάνωση όλων των σταδίων του χειρισμού των αποβλήτων είναι θεμελιώδους σημασίας για τον μετριασμό ενός μείζονος και δαπανηρού προβλήματος.

## 4.2 Ιεραρχία Διαχείρισης Αποβλήτων

Η Ιεραρχία Διαχείρισης Αποβλήτων (Waste Management Hierarchy) είναι ένα καθιερωμένο διεθνές πλαίσιο που αποσκοπεί στην ταξινόμηση και προτεραιοποίηση των επιλογών διαχείρισης αποβλήτων. Εφαρμόζεται σε όλα τα είδη αποβλήτων και μπορεί να αποτελέσει τη βάση και για τη διαχείριση των αποβλήτων που παράγονται από τις επιχειρήσεις απορρύπανσης των πετρελαιοκηλίδων. Η Ιεραρχία Διαχείρισης Αποβλήτων αποτελείται από πέντε διαφορετικά βήματα, που μπορούν να αναπαρασταθούν στη μορφή αντεστραμμένης πυραμίδας, με τη βάση να αποτελεί την πιο επιθυμητή έκβαση της διαχείρισης.



*Εικόνα 4.1: Ιεραρχία διαχείρισης αποβλήτων (Πηγή: προσαρμοσμένο από <https://slideplayer.gr/slide/13519377/>).*

Στην περίπτωση των πετρελαιοειδών αποβλήτων, η ανάλυση των βημάτων του ανωτέρω σχήματος με έναρξη την βάση της αντεστραμμένης πυραμίδας και με την παράθεση παραδειγμάτων έχει ως εξής:

1. Μείωση της παραγόμενης ποσότητας πετρελαιοειδών αποβλήτων μέσω της πρόληψης (prevention) δημιουργίας τους. Παραδείγματα αποτελούν η εφαρμογή τεχνικών καθαρισμού ακτών που ελαχιστοποιούν τη συλλογή άμμου ή / και νερού μέσω της επιτόπου επεξεργασίας του υλικού που ήρθε σε επαφή με το πετρέλαιο (Σχήμα 4.2).

2. Επαναχρησιμοποίηση (Reuse) των υλικών της επιχείρησης απορρύπανσης, για παράδειγμα ο καθαρισμός και η επαναχρησιμοποίηση του εξοπλισμού ατομικής προστασίας.
3. Ανακύκλωση (Recycling) του υγρού πετρελαίου που συλλέχθηκε με την εισαγωγή του στη ροή διεργασιών των διυλιστηρίων ή σταθεροποίησή του πετρελαίου και της συλλεχθείσας άμμου για την χρησιμοποίησή τους σε εγγειοβελτιωτικά έργα και έργα οδοποιίας.
4. Ανάκτηση (Recovery) της θερμογόνου δύναμης των αποβλήτων με τη χρήση τους ως καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ή θερμότητας.
5. Διάθεση (Disposal) των αποβλήτων για τα οποία δεν μπορεί να εφαρμοστεί κάτι από τα ανωτέρω. Η διάθεση επιτυγχάνεται με την καύση, υγειονομική ταφή ή κομποστοποίηση των αποβλήτων.



*Εικόνα 4.2: Καθαρισμός άμμου που έχει έρθει σε επαφή με το πετρέλαιο με χαμηλής πίεσης έκπλυση. Τα τοιχώματα της διάταξης αποτελούνται από απορροφητικό βραχίονα για την παγίδευση του πετρελαίου. [27]*

### **4.3 Υγρά πετρελαιοειδή απόβλητα**

Σε γενικές γραμμές, οι πετρελαιοκηλίδες που σχηματίζονται από εμμένοντα πετρελαιοειδή, όπως τα αργά πετρέλαια, το μαζούτ και ορισμένα λιπαντέλαια,



δημιουργούν σημαντική ποσότητα αποβλήτων. Όπως έχει αναφερθεί στο πρώτο κεφάλαιο, το πετρέλαιο μόλις διαρρέυσει στη θάλασσα, υπόκειται στη γήρανσή του κατά την οποία δημιουργεί γαλακτώματα με την πρόσληψη μεγάλων ποσοτήτων νερού και με την αύξηση του ιξώδους του. Το ποσοστό του νερού μπορεί να κυμαίνεται από 0% έως 90%, συνήθως στο άνω όριο αυτού του εύρους. Οι διατάξεις ανάκτησης του πετρελαίου, όπως τα skimmer, συλλέγουν εκτός από πετρέλαιο και ποσότητα ύδατος. Συσώρευση μίγματος πετρελαίου με νερό γίνεται και κατά την πλύση του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε για την ανάκτηση του πετρελαίου. [27]

Ο διαχωρισμός του μίγματος πετρελαίου – νερού επιτυγχάνεται χάρη στην βαρύτητα, όταν το πετρέλαιο δεν βρίσκεται στη μορφή γαλακτώματος. Το νερό συνήθως απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία / φιλτράρισμα πριν την επαναφορά στην πηγή του. Στην περίπτωση γαλακτώματος, η διάσπασή του επιτυγχάνεται μέσω θερμικής επεξεργασίας ή με τη χρήση χημικών ουσιών (Emulsion – breaking chemicals). Τα μη εμμέμοντα πετρελαιοειδή έχουν την τάση να εξατμίζονται και να διασκορπίζονται με φυσικό τρόπο εντός μικρού χρονικού διαστήματος και επομένως δεν σχετίζονται με ζητήματα δημιουργίας αποβλήτων. Σε επόμενη υποενότητα, θα εξεταστούν οι τρόποι επεξεργασίας του πετρελαίου που ανακτάται.



Εικόνα 4.3: Γαλακτώμα πετρελαίου - νερού που δημιουργήθηκε μετά την προσάραξη του δεξαμενοπλοίου «Sea Empress» κοντά στο Pembrokeshire της Ουαλίας την 15 Φεβρουαρίου 1996. Πηγή: <https://www.robertharding.com/preview/915-110/emulsified-oil-sea-empress-oil-spill-pembrokeshire/>

## 4.4 Στερεά απόβλητα

Με την πάροδο των ωρών, το πετρέλαιο που διαρρέει και σχηματίζει πετρελαιοκηλίδα συσσωρεύει συντρίμμια που προέρχονται είτε από το πλοίο είτε από το απωλεσθέν φορτίο του πλοίου είτε προερχόμενα από την ακτή. Το πετρέλαιο που συλλέγεται στην ακτή είναι συχνά αναμειγμένο με σημαντικές ποσότητες υλικών όπως άμμος, βότσαλα, ξύλα, πλαστικά και φύκια. Κάθε τέτοιο υλικό απαιτεί διαφορετική μέθοδο επεξεργασίας και διάθεσης. Για παράδειγμα, τα απόβλητα από ξύλο ποτισμένα με πετρέλαιο μπορούν να καούν ακόμα και επιτόπου κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες ενώ η καύση των φυκιών δεν μπορεί να εφαρμοστεί. [21]

Άλλα υλικά που κατατάσσονται στη κατηγορία των στερεών αποβλήτων είναι τα προσροφητικά υλικά, ο εξοπλισμός ατομικής προστασίας, τα κατεστραμμένα φράγματα εγκλωβισμού (containment booms) και σάκοι προσωρινής αποθήκευσης του πετρελαίου που συλλέχθηκε. Ακόμα, το ενδεχόμενο να χρησιμοποιηθεί μεγάλος αριθμός εθελοντών και εργατών με μη επαρκή εμπειρία συντείνει στην δημιουργία μεγάλων ποσοτήτων από στερεά απόβλητα αποτελούμενα από τα προαναφερθέντα υλικά. [21]

Συγκεντρωτικά, οι κατηγορίες των στερεών αποβλήτων που μπορεί να προκύψουν είναι:

- Στερεά όπου συνυπάρχει η υγρή φάση όπως πίσσα, κηρώδεις εναποθέσεις, μίγμα άμμου και λάσπης με πετρέλαιο (Εικόνα 4.4), μίγμα ιζημάτων βυθού της θάλασσας με πετρέλαιο. Συνήθως συλλέγονται μαζί με οργανική ύλη.
- Βραχώδες υλικό, πέτρες και βότσαλα που έχουν χαμηλό περιεχόμενο νερού (1%) και οργανικό περιεχόμενο (<10 %). Το περιεχόμενό τους σε πετρέλαιο ποικίλει και μπορεί να είναι μεγαλύτερο από 10 %.
- Προσροφητικά υλικά από συνθετικά υλικά (πετσέτες, πρόβολοι – Εικόνα 4.5) και φυσικής προέλευσης (π.χ. από σιτάρι). Το περιεχόμενο σε πετρέλαιο είναι συχνά μεγαλύτερο από 5 % αλλά μεταβλητό, σε ανόργανα υλικά χαμηλό (<10 %) και σε οργανική ύλη πολύ χαμηλό (<5 %).
- Οργανική ύλη (φύκια, θαλάσσια βλάστηση) που αποτελείται από υλικό βλάστησης σε ποσοστό άνω του 80%, πετρέλαιο σε ποσοστό μεγαλύτερο από 5 % και το υπόλοιπο είναι νερό και ανόργανη ύλη. Η οργανική ύλη είναι βιοαποικοδομήσιμη. Η αποσύνθεσή της συνοδεύεται από δυσάρεστη οσμή και κινδύνους τοξικότητας.
- Στερεά υλικά διάφορων ειδών όπως συντρίμμια, πλαστικά, μέταλλα, ξύλα που επιπλέουν στο πετρέλαιο. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται ατομικός εξοπλισμός προστασίας (γάντια, μπότες, ειδικός ρουχισμός) και χρησιμοποιημένος εξοπλισμός καθαρισμού όπως φράγματα και δοχεία. Τα δυο τελευταία είδη μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν αφού πλυθούν.
- Πανίδα που έχει μολυνθεί από το πετρέλαιο και αποτελείται κυρίως από πουλιά αλλά και από ψάρια, θηλαστικά και ερπετά. Η ζωντανή πανίδα πρέπει να αποστέλλεται σε ειδικευμένες εγκαταστάσεις καθαρισμού. Τα νεκρά άτομα (για

παράδειγμα, Εικόνα 4.6) πρέπει να καταγράφονται πριν τη διάθεσή ή ταφή τους και ορισμένα να διατηρούνται για νεκροψίες και επιστημονικές μελέτες.



*Εικόνα 4.4: Πετρέλαιο που έχει προσβάλλει την ακτή εξαιτίας της πετρελαιοκηλίδας που προκλήθηκε κατόπιν της προσάραξης του πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων «Repa», που συνέβη την 5 Οκτωβρίου 2011 κοντά στην ακτή της Tauranga, Νέα Ζηλανδία. Πηγή: <https://www.thetimes.co.uk/article/oil-from-stranded-ship-reaches-pristine-shore-as-weather-worsens-bwtgol2ppct>*





Εικόνα 4.5: Προσοροφητικό υλικό σε μορφή προβόλου (boom) σε μια προβλήτα του Gulfport, Mississippi, ΗΠΑ την 30 Ιουνίου 2010. Πηγή: <https://www.alamy.com>



Εικόνα 4.6: Νεκρός αστακός καλυμμένος από πετρέλαιο λόγω της πετρελαιοκηλίδας που συνέβη τον Μάιο 2015 κοντά στην παραλία «Refugio State», στην Santa Barbara της Καλιφόρνια. Πηγή: <https://edition.cnn.com/2021/10/05/us/oil-spills-wildlife/index.html>



## 4.5 Μεταφορά, αποθήκευση και προετοιμασία για διάθεση

Η παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων αποβλήτων, στερεών και υγρών, ως αποτέλεσμα μιας επιχείρησης απορρύπανσης πετρελαιοειδών, μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση σημαντικών ζητημάτων διοικητικής μέριμνας και πιο συγκεκριμένα προβλημάτων που αφορούν το χειρισμό, την μεταφορά και την αποθήκευση των αποβλήτων. Με σκοπό οι επιχειρήσεις απορρύπανσης να συνεχίζονται αδιάκοπα, πρέπει να καθιερωθεί ένα χώρος ενδιάμεσης αποθήκευσης (intermediate storage) όπου θα μεταφέρονται τα δημιουργηθέντα απόβλητα από τον χώρο συλλογής τους πριν μεταφερθούν στις εγκαταστάσεις διάθεσης ή τελικής επεξεργασίας τους. Αυτό θα επιτρέπει, επιπρόσθετα, να δοθεί το κατάλληλο χρονικό περιθώριο για την λήψη απόφασης διάθεσης ή επεξεργασίας των αποβλήτων, σε περίπτωση που αυτή δεν έχει ληφθεί. Όταν τα απόβλητα συγκεντρώνονται στην ακτή, πρέπει να συγκεντρωθούν σε σημείο που να μη βρέχεται από την υψηλότερη στάθμη του κύματος. Στη συνέχεια, η μεταφορά τους διεξάγεται σε δυο στάδια, πρώτα από την ακτή προς την ενδιάμεση αποθήκευση και ύστερα από το χώρο ενδιάμεσης αποθήκευσης προς την τελική επεξεργασία ή / και διάθεσής τους. Έτσι, μειώνεται ο κίνδυνος ρύπανσης των οδοστρωμάτων μέσω της μείωσης του αριθμού των οχημάτων που εμπλέκονται στο μεταφορικό έργο του πρώτου σταδίου.

Η μεταφορά, αποθήκευση και διάθεση των πετρελαιοειδών αποβλήτων διέπεται από τις κατά τόπους ισχύουσες νομοθεσίες και κανονισμούς. Σε ορισμένες χώρες, οι ενδιάμεσοι χώροι αποθήκευσης και διάθεσης επιβάλλεται να είναι αδειοδοτημένοι. Για αυτό και η συνεργασία με τις αδειοδοτικές και ρυθμιστικές αρχές είναι πρωταρχικής σημασίας για την επιτυχή περάτωση της διοικητικής συνιστώσας διάθεσης των αποβλήτων.

Στο μέτρο του δυνατού, οι διαφορετικές ροές των αποβλήτων πρέπει να διαχωρίζονται στο σημείο της συλλογής τους και να αποθηκεύονται ξεχωριστά. Η έλλειψη ελέγχου και πειθαρχίας σε οποιοδήποτε στάδιο της διάθεσης των αποβλήτων οδηγεί σε περεταίρω πολυπλοκότητα και αχρείαστα επιπρόσθετα κόστη. Για παράδειγμα, το πετρέλαιο που συλλέχθηκε, τα στερεά αντικείμενα που συνελέγησαν μαζί με αυτό και τα διάφορα στερεά αντικείμενα που δεν ήρθαν σε επαφή με το πετρέλαιο (που, όμως, αποτελούν απόβλητα) πρέπει να αποθηκεύονται σε διαφορετικούς χώρους, προάγοντας τις διαφορετικές μεθόδους επεξεργασίας και διάθεσης που θα ακολουθηθούν για την κάθε κατηγορία.

Πετρέλαιο που συλλέχθηκε και υπάρχει δυνατότητα άντλησής του σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, αποθηκεύεται σε σφραγισμένες δεξαμενές. Ωστόσο, πρέπει να επιδειχθεί μέριμνα σε περίπτωση αποθήκευσης πετρελαιοειδών μεγαλύτερου ιξώδους. Σε μια τέτοια περίπτωση, οι δεξαμενές χρειάζεται να είναι εφοδιασμένες με θερμαντικές διατάξεις, ειδάλλως η κένωση των δεξαμενών μπορεί να καταστεί δύσκολη δίχως τη θέρμανση του πετρελαίου. Μεγάλες ποσότητες ανακτηθέντος πετρελαίου μπορούν να αποθηκευτούν σε δεξαμενόπλοια, αν και αυτό αποτελεί μια ακριβή επιλογή.

Τα πετρέλαια με υψηλό ιξώδες αποθηκεύονται σε φορτηγίδες (barges) ή σε κάδους ανοικτού τύπου που διευκολύνουν τις διαδικασίες επεξεργασίας και μεταφοράς. Σε

περίπτωση που υγρά πετρελαιοειδή απόβλητα πρόκειται να αποθηκευθούν για σεβαστό χρονικό διάστημα, οι κάδοι ανοιχτού τύπου πρέπει να καλύπτονται για την αποφυγή υπερχείλισης από το νερό της βροχής.



*Εικόνα 4.7: Ανακτηθέν πετρέλαιο αποθηκευμένο σε φορτηγίδα. [27]*

Εναλλακτικός τρόπος αποθήκευσης, σε περίπτωση μη διαθεσιμότητας των ανωτέρω διατάξεων, αποτελεί η διάνοιξη τάφρων στο έδαφος και η απόθεση του πετρελαίου εντός αυτών. Οι τάφροι είναι συνήθως μακρόστενου σχήματος με διαστάσεις 2 m πλάτος και 1,5 m βάθος. Επιπρόσθετα, τα τοιχώματά τους επενδύονται με πολυαιθυλένιο μεγάλου πάχους που δεν επιτρέπουν το πετρέλαιο να διαρρέυσει στη γη. Ο σχεδιασμός του βάθους των τάφρων θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη και το ύψος του πιθανού νετού για την μείωση της πιθανότητας υπερχείλισης του πετρελαίου μαζί με το νερό της βροχής. Σε κάθε περίπτωση, έπειτα από την ολική αφαίρεση του πετρελαίου, το έδαφος πρέπει να αποκατασταθεί στην πρότερή του κατάσταση.



*Εικόνα 4.8: Εκφόρτωση γαλακτώματος πετρελαίου από κάδο ανοιχτού τύπου (skip) εντός τάφρου ως χώρου προσωρινής αποθήκευσης.[27]*

## **4.6 Επεξεργασία και διάθεση των αποβλήτων**

### **4.6.1 Εισαγωγή**

Ανάλογα με τον τύπο των πετρελαιοειδών αποβλήτων, την διαθεσιμότητα κατάλληλων χώρων και εγκαταστάσεων, του συνεπαγόμενου κόστους και των νομοθετικών – κανονιστικών περιορισμών, τα πετρελαιοειδή απόβλητα υπόκεινται σε επεξεργασία (treatment) και διάθεση (disposal). Στις επόμενες υποενότητες θα αναλυθούν η ανάκτηση του πετρελαίου από τα πετρελαιοειδή απόβλητα, η σταθεροποίηση, η καύση, η βιοαποκατάσταση και η εναπόθεση των αποβλήτων σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.).

### **4.6.2 Ανάκτηση**

Σε αυτήν την διεργασία, τα υγρά απόβλητα που περιέχουν πετρέλαιο υπόκεινται σε επεξεργασία και ανακτώνται ποσότητες πετρελαίου οι οποίες προωθούνται στα

διυλιστήρια για επαναδιύλιση. Με αυτόν τον τρόπο, πραγματοποιείται εκμετάλλευση των θερμογόνων ιδιοτήτων του πετρελαίου και δημιουργείται χρηματικό κέρδος από την πώλησή του. Η ανάκτηση των πετρελαιοειδών κλασμάτων είναι η πιο αποτελεσματική μέθοδος επεξεργασίας και από τις πρώτες επιλογές που πρέπει να εξετασθούν. Οι παραλήπτες του ανακτηθέντος πετρελαίου είναι διυλιστήρια, σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τσιμεντοβιομηχανίες και επιχειρήσεις που ειδικεύονται στην ανακύκλωση πετρελαιοειδών αποβλήτων. Εντούτοις, οι ως άνω αναφερόμενες εγκαταστάσεις κάνουν δεκτά ανακτηθέντα πετρέλαια με συγκεκριμένα κριτήρια, που αντανakλούν την ποιότητά τους. Για παράδειγμα, το ανακτηθέν πετρέλαιο πρέπει να είναι αντλήσιμο, να έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε στερεά και ποσοστό αλατότητας κάτω από 0,1 % για να προωθηθεί για επαναδιύλιση και κάτω από 0,5 % για να αναμιχθεί με μαζούτ. Έχοντας ως δεδομένο ότι τα ανακτηθέντα πετρέλαια είναι κατάλληλα για ανακύκλωση, βασιζόμενοι στα παραπάνω κριτήρια, είναι πιθανό τα διυλιστήρια και οι άλλες εγκαταστάσεις – πελάτες να έχουν περιορισμένη δυναμικότητα αποθήκευσης και επεξεργασίας. Σε αυτό το ενδεχόμενο, είναι επιτακτική η εύρεση εναλλακτικών αποθηκευτικών χώρων, που μπορούν να διατεθούν από εγκαταστάσεις υποδοχής καταλοίπων των πλοίων και σταθμούς αφερματισμού των πλοίων. [21, 27]

#### **4.6.3 Σταθεροποίηση**

Η σταθεροποίηση (stabilization) αναφέρεται στην αντίδραση της ρυπασμένης άμμου με ανόργανη ουσία όπως το οξειδίο του ασβεστίου (quicklime), την ιπτάμενη τέφρα και το τσιμέντο, παράγοντας ένα αδρανές προϊόν και μειώνοντας τον κίνδυνο διαρροής του πετρελαίου. Το δημιουργούμενο προϊόν μπορεί να αποσταλεί για υγειονομική ταφή με λιγότερο αυστηρές προϋποθέσεις σε σχέση με το ανεπεξέργαστο πετρέλαιο. Μια εναλλακτική αξιοποίηση του αδρανούς μίγματος είναι σε εγγειοβελτιωτικά έργα, σε κατασκευές οδών με χαμηλή φέρουσα ικανότητα όπως οι αγροτικοί οδοί ή σε πλαϊνά αναχώματα των αυτοκινητόδρομων.

Η επαφή με το οξειδίο του ασβεστίου μπορεί να προκαλέσει ενόχληση στα μάτια, στο δέρμα, στο αναπνευστικό σύστημα και στην γαστρεντερική οδό. Το προσωπικό που θα εκτελέσει τις εργασίες σταθεροποίησης είναι σημαντικό να φέρει προστατευτικό ρουχισμό και μάσκες προσώπου για την προστασία του δέρματος, των ματιών και της αναπνευστικής οδού. Επιπρόσθετα, η αντίδραση του οξειδίου του ασβεστίου με το νερό των αποβλήτων συνοδεύεται από έκλυση θερμότητας και μειώνεται το ιξώδες του πετρελαίου, που με τη σειρά του ευνοεί τη «σύνδεσή» του με την ανόργανη ουσία. [21,27]

#### **4.6.4 Καύση**

Η ελεγχόμενη καύση σε υψηλές θερμοκρασίες είναι μια τεχνολογία επεξεργασίας που οδηγεί στην καταστροφή των αποβλήτων. Στην περίπτωση των πετρελαιοειδών

αποβλήτων, οι υψηλές θερμοκρασίες διασπούν τους υδρογονάνθρακες. Η καύση έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία αδρανής τέφρας, μικρότερου όγκου σε σχέση με τα αρχικά απόβλητα. Τα πετρελαιοειδή απόβλητα σε μικρές ποσότητες μπορούν να εισαχθούν σε μικρούς φορητούς καυστήρες όπως αυτούς που χρησιμοποιούνται για την καύση ιατρικών αποβλήτων. Ωστόσο, οι κατά τόπους ισχύουσες νομοθεσίες μπορεί να απαγορεύουν τη χρήση αυτών των συσκευών για την καύση πετρελαιοειδών αποβλήτων. Σε μεγαλύτερη κλίμακα, η εισαγωγή των πετρελαιοειδών αποβλήτων σε τσιμεντοβιομηχανίες και βιομηχανικούς κλιβάνους αποτελεί μια επιτρεπόμενη και βιώσιμη μέθοδο καύσης τους, υποκείμενη σε τεχνικούς περιορισμούς, όπως την αφαίρεση στερεών αντικειμένων και την ύπαρξη βαρέων μετάλλων στα απόβλητα (χλωρίνης ή θείου).

Τα πετρελαιοειδή απόβλητα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτικό καύσιμο στην τσιμεντοβιομηχανία, εκμεταλλευόμενοι την θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου. Η καύση επιτυγχάνει ακόμα και 99 % μείωση του αρχικού όγκου των αποβλήτων. Τα υπολείμματα τέφρας πρέπει με τη σειρά τους να διατεθούν σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς. Όμως, περιέχουν αλουμίνιο, πυρίτιο, άργιλο και άλλα μεταλλικά στοιχεία και δύνανται να εισαχθούν στη ροή τροφοδοσίας πρώτων υλών για την παραγωγή τσιμέντου.

Η πυρόλυση, ήτοι η θερμική διάσπαση των αποβλήτων σε αέρια και στερεά κατάλοιπα απουσία οξυγόνου είναι διεργασία που έχει εφαρμοστεί και στα πετρελαιοειδή απόβλητα, αν και είναι ακόμα μια εξειδικευμένη μέθοδος και ο αριθμός των κατάλληλων εγκαταστάσεων πυρόλυσης είναι μικρός.

#### **4.6.5 Βιοκατάσταση**

Η βιοαποκατάσταση (bioremediation) είναι ένας όρος που περιλαμβάνει τις μεθόδους που επιταχύνουν την μικροβιακή διάσπαση του πετρελαίου. Μια τέτοια μέθοδος είναι η αγροκαλλιέργεια (land-farming), όπου το πετρέλαιο και τα απόβλητα κατανέμονται επί έκτασης καλλιεργήσιμης γης. Η αγροκαλλιέργεια μπορεί να εφαρμοστεί για σχετικά μικρές ποσότητες πετρελαίου που προκύπτουν από μικρής έκτασης πετρελαιοκηλίδες, διότι ο βαθμός βιοαποκατάστασης είναι χαμηλός. Επιπρόσθετα, πριν την υποδοχή των πετρελαιοειδών αποβλήτων, πρέπει να έχει πραγματοποιηθεί άροση του εδάφους και η έκταση να περιβληθεί από αναχώματα συγκράτησης τυχόν διαφεύγοντος πετρελαίου. Στη συνέχεια, τα πετρελαιοειδή απόβλητα κατανέμονται στην επιφάνεια σε βάθος όχι μεγαλύτερο από 20 cm και με μέγιστο ρυθμό εφαρμογής περίπου 400 τόνοι πετρελαίου ανά εκτάριο εδάφους. Κατόπιν, το πετρέλαιο αφήνεται να υποστεί γήρανση μέχρι να μην είναι πλέον κολλώδες. Η ανάδευση του πετρελαίου με το χώμα επιβάλλεται να επαναλαμβάνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα για την αύξηση του αερισμού και κατά συνέπεια του ρυθμού βιοαποκατάστασης, ο οποίος μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη λιπασμάτων. Η αγροκαλλιέργεια απαιτεί την αφαίρεση μεγάλων αντικειμένων όπως συντριμμίων, ξύλων και ογκόλιθων που μπορεί να περιλαμβάνονται στα απόβλητα. [21,27]

Η εύρεση γης για αγροκαλλιέργεια πετρελαιοειδών αποβλήτων είναι δύσκολη. Ο αγρός που επιλέγεται είναι γενικά χαμηλής αξίας και επιπρόσθετα πρέπει να μη βρίσκεται πλησίον τροφοδοσίας πόσιμου νερού για αποφυγή της ρύπανσής του.

#### **4.6.6 Υγειονομική ταφή**

Η υγειονομική ταφή αποτελεί την πιο συνηθισμένη αλλά ταυτόχρονα την λιγότερο επιθυμητή, με βάση την ιεραρχία αποβλήτων, μέθοδο διαχείρισης των πετρελαιοειδών αποβλήτων. Τα απόβλητα διατίθενται μαζί με αβλαβή οικιακά απορρίμματα σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.). Η υγειονομική ταφή διέπεται από όλο και πιο αυστηρή νομοθεσία στις περισσότερες χώρες αλλά παρέχει τη μόνη ρεαλιστική επιλογή για τη διαχείριση μεγάλων ποσοτήτων πετρελαιοειδών αποβλήτων. Αυτά πρέπει να έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε πετρέλαιο για να γίνουν δεκτά από μια χωματερή. Επιπρόσθετα, επιβάλλεται η ανάλυση της επικινδυνότητας του πετρελαίου με κατάλληλες χημικές δοκιμές, πριν την διάθεση των αποβλήτων και μετά την υγειονομική ταφή, ο χώρος υποβάλλεται σε μακρόχρονη αυστηρή παρακολούθηση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

### 5.1 Συμπεράσματα

Από την βιβλιογραφική επισκόπηση των δοκιμών προς έγκριση «τύπου» των Χημικών Διασκορπιστικών Ουσιών, συνάγεται το συμπέρασμα ότι υπάρχει ένα εύρος χρησιμοποιούμενων δοκιμών αποτελεσματικότητας και σημαντική διαφοροποίηση από χώρα σε χώρα. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι οι διαδικασίες δοκιμών είναι αρκετά ανομοιογενείς διότι καταρχήν δεν εφαρμόζεται η ίδια ταχύτητα ανάδευσης του μίγματος θαλασσινού νερού-πετρελαίου και διασκορπιστικού, προσομοιώνοντας διαφορετικές καταστάσεις διαταραχής της θάλασσας. Από την άλλη, έχει γίνει σαφές ότι οι καιρικές συνθήκες και συγκεκριμένα η ταχύτητα του ανέμου επιτελεί σημαντικό ρόλο στην υποβοήθηση της διεργασίας του διασκορπισμού μέσω της ενέργειας που προσδίδει στα κύματα. Επιπρόσθετα, οι εξεταζόμενες χώρες δεν έχουν υιοθετήσει ίδιους λόγους DOR (Dispersant to Oil Ratio) στις δοκιμές τους και διαφοροποιούνται ως προς τα ποσοστά απαιτούμενης αποτελεσματικότητας για τα υπό έγκριση χημικά διασκορπιστικά. Ακόμα, τα πετρέλαια αναφοράς που χρησιμοποιούνται στις δοκιμές είναι διαφορετικά, διότι κάθε χώρα δίνει έμφαση στους πιο συχνούς τύπους των πετρελαίων που μπορεί να διακινηθούν στα χωρικά της ύδατα και συνεπώς να αποτελέσουν αιτία θαλάσσιας ρύπανσης. Από τα ανωτέρω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι διάφορες δοκιμές μπορούν να αποτελέσουν μέτρο κατάταξης μεταξύ των διασκορπιστικών ουσιών μόνο εντός μιας υπό εξέτασης χώρας και όχι καθολικά. Ακόμα, οι δοκιμές τοξικότητας δεν χρησιμοποιούν τα ίδια είδη αλλά αυτά που μπορεί να αποτελούν μέλη της θαλάσσιας πανίδας της εκάστοτε χώρας.

Επιπρόσθετα, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο υπολογισμός του κόστους ενός περιστατικού απόρριψης πετρελαίου στη θάλασσα είναι πολύ δύσκολος, λόγω της πληθώρας των παραγόντων που το επηρεάζουν, όπως ο τύπος του πετρελαίου, η χρησιμοποιούμενη πρωταρχική μέθοδος απορρύπανσης, ο βαθμός προσβολής των ακτών και ακόμα ο απαιτούμενος βαθμός αποκατάστασης του περιβάλλοντος που έχει υιοθετήσει μια χώρα γενικά ή για μια συγκεκριμένη περιοχή. Για αυτόν τον λόγο, τα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί για τον υπολογισμό του κόστους αποτελούν περισσότερο μια γενική τάση για το πώς αυτό διαμορφώνεται από τους παράγοντες που το επηρεάζουν παρά εργαλεία αξιόπιστου υπολογισμού. Σε ότι αφορά τις παραμέτρους που επηρεάζουν την επιβολή προστίμων εναντίον των υπαιτίων ρύπανσης στην Ελλάδα, παρατηρούμε ότι ο συντελεστής βαρύτητας αυξάνεται περισσότερο σε περίπτωση μη ανάληψης της καταπολέμησης της ρύπανσης, της προσβολής ακτών τουριστικού ενδιαφέροντος και με την αύξηση της ποσότητας του πετρελαίου που διέρρευσε.

Ο όγκος των πετρελαιοειδών αποβλήτων που μπορεί να δημιουργηθεί μπορεί να είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από την ποσότητα του πετρελαίου που υπήρξε η αφορμή της πετρελαιοκηλίδας. Τα πετρελαιοειδή απόβλητα, εκτός από το συλλεχθέν πετρέλαιο,



μπορούν να αποτελούνται από άμμο, φύκια και προστατευτικό εξοπλισμό. Έτσι, είναι σημαντικό να επιχειρηθεί ο σωστός διαχωρισμός μεταξύ των διαφόρων τύπων αποβλήτων ούτως ώστε να αποφευχθούν επιπρόσθετα κόστη και να καταστεί δυνατή η επιλογή κατάλληλης μεθόδου επεξεργασίας και η αποφυγή της λιγότερο επιθυμητής διεξόδου με βάση την Ιεραρχία Αποβλήτων, ήτοι της τελικής διάθεσής τους.

## **5.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα**

Σε ότι αφορά τις Χημικές Διασκορπιστικές Ουσίες, αντικείμενο μελέτης μπορεί να αποτελέσει το πλαίσιο έγκρισης της χρήσης τους καθώς και η αποτελεσματικότητά τους κατά την υποθαλάσσια εφαρμογή τους, όπως συνέβη κατά την καταπολέμηση της πετρελαιοκηλίδας που προκλήθηκε στην εξέδρα εξόρυξης του πετρελαίου στον Κόλπο του Μεξικού το 2010.

Θα ήταν επίσης ενδιαφέρουσα η συγκέντρωση στοιχείων κόστους απορρύπανσης από περιστατικά διαρροής πετρελαιοειδών που συνέβησαν κατά το παρελθόν στο Ελληνικό θαλάσσιο χώρο και η σύγκρισή τους με τα κόστη που θα προέκυπταν από την εφαρμογή των τύπων 3.1 και 3.2 καθώς και των τύπων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους μελετητές στα πλαίσια μια μελέτης Formal Safety Assessment (Πίνακας 3.8).

Ένα άλλο ενδιαφέρον αντικείμενο μελέτης θα αποτελούσε η διενέργεια ανάλυσης παλινδρόμησης σε δεδομένα κόστους και ποσότητας πετρελαιοκηλίδων που συνέβησαν στον Ελληνικό θαλάσσιο χώρο.

Τέλος, σε ότι αφορά τα πετρελαιοειδή απόβλητα, θα μπορούσαν να μελετηθούν οι δυνατότητες επεξεργασίας και διάθεσής τους στην Ελλάδα, και συγκεκριμένα σε ποιο βαθμό μπορεί να εφαρμοστεί η Ιεραρχία Διαχείρισης Αποβλήτων στην Ελλάδα προσανατολισμένη στην ελαχιστοποίηση του ποσοστού των αποβλήτων που οδηγούνται σε χώρους υγειονομικής ταφής.



## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ankita Thakur and Bhupendra Koul, 2022, “**Impact of oil exploration and spillage on marine environments**” in *Advances in oil water separation* <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89978-9.00018-5>
- [2] Australian Maritime Safety Agency, 2015, “**Register of Oil Spill Control Agents for Maritime Response Use**”, ανακτήθηκε την 18/12/2021 από <https://www.amsa.gov.au/sites/default/files/np-pol-04-register-of-oil-spill-control-agents-for-maritime-response-use-1.pdf>
- [3] Bhardwaj Neha, Ashok N. Bhaskarwar, 2018, “**A review on sorbent devices for oil-spill control**”, *Environmental Pollution*, Vol. 243, p.p. 1758-1771, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.141>
- [4] Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science (UK), 2017, “**Qualification of Oil-spill Treatment Products - Protocol for efficacy testing**”, ανακτήθηκε την 14/12/2021 από [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/915359/002\\_Qualification\\_of\\_oil\\_spill\\_treatment\\_products.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/915359/002_Qualification_of_oil_spill_treatment_products.pdf)
- [5] Chapman A. et. al, 2007, “**The use of chemical dispersants to combat oil spills at sea: A review of practice and research needs in Europe**”, *Marine Pollution Bulletin* 54 (2007); <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.03.012>
- [6] Code of Federal Regulations, Title 33, Chapter I, Subchapter O, Part 155, Subpart D, §155.1020, ανακτήθηκε την 08/05/2022 από <https://www.ecfr.gov/current/title-33/chapter-I/subchapter-O/part-155/subpart-D/section-155.1020>
- [7] Code of Federal Regulations, Title 40, Chapter I, Subchapter J, Part 300, ανακτήθηκε την 30/11/2021 από <https://www.ecfr.gov/current/title-40/chapter-I/subchapter-J/part-300?toc=1>
- [8] Edgan L. Alexandra et al., 2021, “**Does size matter ? The direct economic costs associated with the MV Rena oil spill**”, *Marine Pollution Bulletin* 173 (2021); <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112978>
- [9] Etkin, D.S., 2000, “**Worldwide analysis of marine oil spill cleanup cost factors**”, *Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*
- [10] Etkin, D.S., 2004, “**Modelling oil spill response and damage costs**, In *Proceedings of 5<sup>th</sup> Biennial Freshwater Spills Symposium*
- [11] European Maritime Safety Agency, 2016, “**Overview of national dispersant testing and approval policies in the EU**”, ανακτήθηκε την 22/11/2021 από <http://www.emsa.europa.eu/newsroom/latest-news/download/4043/2671/23.html>
- [12] Faurot-Daniels Elen, California Department of Fish and Wildlife, Office of Spill Prevention and Response, “**Dispersants: Chemistry, Environmental Fate & Effects and Their Use as a Spill Response Option**”, παρουσίαση που ανακτήθηκε την 10/05/2022 από <https://slideplayer.com/slide/10429001/>

[13] Fingas Merv, 2021, “**Visual Appearance of Oil on the Sea**”, *J. Mar. Sci. Eng.* **2021**, 9(1), 97; <https://doi.org/10.3390/jmse9010097>

[14] Friis-Hansen, P., Ditlevsen, O., 2003, “**Nature preservation acceptance model applied to tanker oil spill simulations**”, *Journal of Structural Safety* **25** (1)(2003); [https://doi.org/10.1016/S0167-4730\(02\)00037-1](https://doi.org/10.1016/S0167-4730(02)00037-1)

[15] Inflation Data, 2022, Inflation Rate Calculator [https://inflationdata.com/Inflation/Inflation\\_Calculators/Inflation\\_Rate\\_Calculator.aspx](https://inflationdata.com/Inflation/Inflation_Calculators/Inflation_Rate_Calculator.aspx)

[16] International Maritime Organization, “**Formal Safety Assessment**”, ανακτήθηκε την 28/07/2022 από <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/FormalSafetyAssessment.aspx>

[17] International Maritime Organization, 2018, “**Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO Rule-making Process (MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2)**”

[18] IPIECA, 2013, “**Guidelines on oil characterization to inform spill planning and decision making**”, ανακτήθηκε την 09/05/2022 από <https://www.ipieca.org/resources/awareness-briefing/guidelines-on-oil-characterization-to-inform-spill-response-decisions/>

[19] IPIECA-IOPF, 2015, “**At-Sea Containment and Recovery: Good practice guidelines for incident management and emergency response personnel**”, ανακτήθηκε την 13/05/2022 από <https://www.ipieca.org/resources/good-practice/at-sea-containment-and-recovery/>

[20] IPIECA-IOPF, 2015, “**Dispersants - Surface Application: Good practice guidelines for incident management and emergency response personnel**”, ανακτήθηκε την 15/05/2022 από <https://www.ipieca.org/resources/good-practice/dispersants-surface-application/>

[21] IPIECA-IOPF, 2015, “**Oil spill waste minimization and management: Good practice guidelines for incident management and emergency response personnel**”, ανακτήθηκε την 28/07/2022 από <https://www.ipieca.org/resources/good-practice/oil-spill-waste-minimization-and-management/>

[22] Ishak Ismila Che et al, 2020, “**A study on Preparedness and Response of Oil Spill**”, *J Phys.: Conf. Ser.* **1529** 032088

[23] ITOPF, 2014, “**Technical Information Paper 02: Fate of Marine Oil Spills**”, ανακτήθηκε την 05/05/2022 από <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/tip-02-fate-of-marine-oil-spills/>

[24] ITOPF, 2014, “**Technical Information Paper 03: Use of Booms in Oil Pollution Response**”, ανακτήθηκε την 13/05/2022 από <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/tip-03-use-of-booms-in-oil-pollution-response/>

[25] ITOPF, 2014, “**Technical Information Paper 04: Use of Dispersants to treat Oil Spills**”, ανακτήθηκε την 15/05/2022 από <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/tip-04-use-of-dispersants-to-treat-oil-spills/>

- [26] ITOPF, 2014, “**Technical Information Paper 08: Use of Dispersants to treat Oil Spills**”, ανακτήθηκε την 16/05/2022 από <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/tip-08-use-of-sorbent-materials-in-oil-spill-response/>
- [27] ITOPF, 2014, “**Technical Information Paper 09: Disposal of Oil and Debris**”, ανακτήθηκε την 28/07/2022 από <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/tip-09-disposal-of-oil-and-debris/>
- [28] ITOPF, 2014, “**Technical Information Paper 16: Contingency Planning for Marine Oil Spills**”, ανακτήθηκε την 16/07/2022 από <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/tip-16-contingency-planning-for-marine-oil-spills/>
- [29] ITOPF, 2022, “**Handbook 2022/23**”, ανακτήθηκε την 09/05/2022 από [https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/Company\\_Lit/ITOPF\\_Handbook22\\_web.pdf](https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/Company_Lit/ITOPF_Handbook22_web.pdf)
- [30] Kirby M. F., Matthiessen P. and Rycroft R. J., Directorate of Fisheries Research, Lowesoft, 1996, “**Fisheries Research Technical Report No. 102**”, ανακτήθηκε την 18/12/2021 από [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/915357/002\\_tech102.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/915357/002_tech102.pdf)
- [31] Kontovas, C.A., H.N. Psaraftis, 2008, “**Marine Environment Risk Assessment: A Survey on the Disutility Cost of Oil Spills**”, *2<sup>nd</sup> International Symposium on Ship Operations, Management and Economics, SNAME Greek Section, Athens* [https://doi.org/10.1016/S1353-2561\(02\)00072-5](https://doi.org/10.1016/S1353-2561(02)00072-5)
- [32] Kontovas C.A. et al., 2010, “**An empirical analysis of IOPCF oil spill cost data**”, *Marine Pollution Bulletin* 60 (2010); <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.05.010>
- [33] Lessard R.R. and Demarco G., 2000, “**The Significance of Oil Spill Dispersants**”, *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol. 6 No.1, p.p. 59-68
- [34] Mandira Agarwal and J. Sudharsan, 2022, “**Advances in burning process and their impact on the environment**” in *Advances in oil water separation* <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89978-9.00020-3>
- [35] Manfra L. et. al, 2017, “**Dispersant approval procedures in France and Italy: A comparative ecotoxicity study**”, *Journal of Ecotoxicology and Environmental Safety* 143 (2017); <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.05.044>
- [36] Morris, P. R. & Martinelli, F., 1983, “**A specification for oil spill dispersants**”, Warren Spring Laboratory Report No. LR 448 (OP)M, pp. A6-A11
- [37] National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Response and Restoration, “**Oil types**”, ανακτήθηκε την 08/05/2022 από <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills/oil-types.html>
- [38] Psaraftis H. N., 2012, “**Formal Safety Assessment: an updated review**”, *Journal of Marine Science and Technology* 17 (2012), <https://doi.org/10.1007/S00773-012-0175-0>

- [39] Rawson A. et al., 2013, “**Practical Application of Domain Analysis: Port of London Case Study**”, *Journal of Navigation* 67 (02)(2003); <https://doi.org/10.1017/S0373463313000684>
- [40] Shipra Jha and Praveen Dahiya, 2022, “**Impact of oil pollution on environment, marine and soil communities**” IN *Advances in oil water separation* <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89978-9.00017-3>
- [41] Soliman, E., 2019, “**Flow of Heavy Oils at Low Temperatures: Potential Challenges and Solutions**”, in R. M. Gounder (ed.), *Processing of Heavy Crude Oils - Challenges and Opportunities*, IntechOpen, London. <https://doi.org/10.5772/intechopen.82286>
- [42] Vanem E. et al., 2008, “**Cost-effectiveness criteria for marine oil spill preventive measures**”, *Reliability Engineering and System Safety* 93 (2008); <https://doi.org/10.1016/j.res.2007.07.008>
- [43] Venosa A. et. al, 2002, “**The Baffled Flask Test for Dispersant Effectiveness: A Round Robin Evaluation of Reproducibility and Repeatability**”, *Spill Science and Technology Bulletin* 7(5-6) (2017); [https://doi.org/10.1016/S1353-2561\(02\)00072-5](https://doi.org/10.1016/S1353-2561(02)00072-5)
- [44] Vergeynst Leendert et al., 2018, “**Biodegradation of marine oil spills in the Arctic with a Greenland perspective**”, *Science of the Total Environment* 626 (2018) <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.173>
- [45] Ward Colin P. and Overton B. Edward, 2020, “**How the 2010 Deepwater Horizon spill reshaped our understanding of crude oil photochemical weathering at sea: a past, present, and future perspective**”, *Environmental Science Processes & Impacts* <https://doi.org/10.1039/doi2020027b>
- [46] Διεύθυνση Προστασίας Θαλασσιού Περιβάλλοντος (ΔΙ.Π.ΘΑ.Π/Υ.ΝΑ.Ν.Π.), 2020, **Μόνιμη Εγκύκλιος Π.Θ.Π. 3<sup>η</sup>**, όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει
- [47] Διεύθυνση Προστασίας Θαλασσιού Περιβάλλοντος (ΔΙ.Π.ΘΑ.Π/Υ.ΝΑ.Ν.Π.), 2020, **Μόνιμη Εγκύκλιος Π.Θ.Π. 12<sup>η</sup>**
- [48] Ένωση Ελλήνων Χημικών, 2017, Δελτίο Τύπου, Θέμα: «**Αγ. Ζώνη Π, μια περίπτωση διατάραξης της περιβαλλοντικής ισορροπίας με σοβαρές επιπτώσεις στην ποιότητα , την υγεία του οικοσυστήματος και ενδεχομένως και την δημοσιά υγεία**».
- [49] Κούκουζα Κ., 2019, “**Συγκριτική Μελέτη της εφαρμογής φυσικών και συνθετικών μικροπορώδων υλικών για την αντιμετώπιση ρύπανσης από πετρελαιοειδή**”, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος Πανεπιστημίου Αθηνών, ανακτήθηκε την 16/05/2022 από <https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/frontend/file/lib/default/data/2885055/theFile>
- [50] Λιώλη Α., 2011, “**Αποτίμηση περιβαλλοντικών αγαθών με τη μέθοδο εξαρτημένης αξιολόγησης, Θεωρία και πράξη**”, Μεταπτυχιακή Εργασία, ΔΠΜΣ Περιβάλλον και Ανάπτυξη, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ανακτήθηκε την 20/07/2022 από [https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/5400/lioliag\\_environmental.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/5400/lioliag_environmental.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

**[51]** Προεδρικό Διάταγμα 55 / 1998 (ΦΕΚ Α'58)

**[52]** Προεδρικό Διάταγμα 11 / 2002 (ΦΕΚ Α' 6 / 2002) «Εθνικό Σχέδιο Έκτακτης Ανάγκης για την αντιμετώπιση περιστατικών ρύπανσης από πετρέλαιο και άλλες επιβλαβείς ουσίες».

**[53]** Προεδρικό Διάταγμα 108 / 2019 (ΦΕΚ Α'196)

**[54]** Προεδρικό Διάταγμα 113 / 2019 (ΦΕΚ Α'218)

**[55]** Υπουργική Απόφαση 5219/Φ.11/4/2000 (ΦΕΚ Α' 455 / 2000), “**Καθορισμός προδιαγραφών και έλεγχος καταλληλότητας των χημικών διασκορπιστικών ουσιών εξουδετέρωσης της ρύπανσης της θάλασσας από πετρέλαιο**”, ανακτήθηκε την 24/10/2021 από <https://www.aade.gr/en/node/4127>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΛΙΜΕΝΙΚΗ ΑΡΧΗ ΗΓΟΥΜΕΝΙΤΣΑΣ

### ΕΚΘΕΣΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ:

**έκτακτης επιθεώρησης**  
**του φορέα διαχείρισης λιμένων «Ο.Λ.ΗΓ. Α.Ε.»**  
**που βρίσκεται στην Ηγουμενίτσα**

Σχετικά: 1. Αριθ.Πρωτ.: 2262.6/39008/2020/24-06-2020 ΜΕ ΠΘΠ 12η  
2.Αριθ.Απόφασης: 01/2011 (Αρ.Πρωτ.:2445/02/11/04-03-2011)

#### Α. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

##### ΛΙΜΕΝΑ ΗΓΟΥΜΕΝΙΤΣΑΣ:

##### 1. Πλωτά Φράγματα

- α) Είδος: Φράκτη
- β) Εμπορική ονομασία: ΜΕΚΕ ΒΟΟΜ 1200
- γ) Έγκριση καταλληλότητας : ΝΑΙ
- δ) Έκταμα: 675 μέτρα
- ε) Εξαρτήματα (άγκυρες, τσαμαδούρες, ναυτικά κλειδιά, σχοινί κλπ): ΝΑΙ, 15 σετ
- στ) Ύψος εξάλων: 45 εκατοστά
- ζ) Βύθισμα : 75 εκατοστά

##### 2. Μέσα περισυλλογής:

- α) Ειδικό σκάφος skimmer (αναρροφητική ικανότητα σε m<sup>3</sup> /h): ΟΧΙ
- β) Φορητή συσκευή περισυλλογής (skimmer) (αναρροφητική ικανότητα σε m<sup>3</sup>/h):  
Μία (01) 30-45 m<sup>3</sup>/h
- γ) Αντλία αναρρόφησης πετρελαιοειδών (αναρροφητική ικανότητα σε m<sup>3</sup> /h):  
Τρεις (03) 5 m<sup>3</sup>/h η κάθε μία

##### 3. Χημικές Διασκορπιστικές ουσίες

- α) Είδος : OILER 60 3<sup>ης</sup> γενιάς τύπου 2 εγκεκριμένο
- β) Ποσότητα (lt) : Ένα (01) βαρέλι των 60 λίτρων συμπυκνωμένο και τρία (03) των 20 λίτρων συμπυκνωμένα
- γ) Διασκορπιστική ικανότητα: ΝΑΙ
- δ) Συσκευή εκτόξευσης (παροχή σε lt/h): Τέσσερις (04) φορητές αντλίες ψεκασμού χωρητικότητας 16 lt/h η κάθε μία, δυναμικότητας 150 lt/h η κάθε μία

##### 4. Απορροφητικά υλικά

- α) Είδος: Απορροφητικό φράγμα
- β) Εμπορική ονομασία: SCORPION P-3013
- γ) Ποσότητα (Kg) / (m): 228 μέτρα
- δ) Απορροφητική Ικανότητα: έως και 25 φορές το βάρος του

- α) Είδος: Απορροφητικό φράγμα
- β) Εμπορική ονομασία: SCORPION P-3020
- γ) Ποσότητα (Kg) / (m): 216 μέτρα
- δ) Απορροφητική Ικανότητα: έως και 25 φορές το βάρος του
- α) Είδος: Απορροφητικό ρολό
- β) Εμπορική ονομασία: SCORPION P-4496
- γ) Ποσότητα (Kg) / (m): 103,6 κιλά
- δ) Απορροφητική Ικανότητα: έως και 25 φορές το βάρος του

- α) Είδος: Απορροφητικές πετσέτες
- β) Εμπορική ονομασία: SCORPION P-100
- γ) Ποσότητα (Kg) / (m): 124,1 κιλά
- δ) Απορροφητική Ικανότητα: έως και 25 φορές το βάρος του

- α) Είδος: Απορροφητικά μαξιλάρια
- β) Εμπορική ονομασία: SCORPION P-5020
- γ) Ποσότητα (Kg) / (m): 231,2 κιλά
- δ) Απορροφητική Ικανότητα: έως και 25 φορές το βάρος του

- α) Είδος: Προσκολλητικές περούκες
- β) Εμπορική ονομασία: Oil –snares SCORPION oil trap
- γ) Ποσότητα (Kg) / (m): 138,7 κιλά
- δ) Απορροφητική Ικανότητα: 65 φορές το βάρος του

5. Μέσα & υλικά καθαρισμού ακτών (αριθ. κατά είδος): (φτυάρια, τσουγκράνες, σακούλες βαρέως τύπου, κλπ): Εννέα (09) σετ αποτελούμενα από φτυάρια, απόχες, τσουγκράνες, σπάτουλες, ξύστρες. Πλαστικές σακούλες μαύρες βαρέως τύπου συνολικού βάρους 140 κιλών

6. Πλωτά μέσα (αναλυτική περιγραφή): (υλικό κατασκευής, μήκος, ιπποδύναμη μηχανής, κλπ)

**Δεν απαιτείται η ύπαρξη πλωτού μέσου σύμφωνα με την Αριθ. Απόφαση: 01/2011 (Αριθ.Πρωτ.:2445/02/11/04-03-2011) που εκδόθηκε από Υπηρεσία μας για τον καθορισμό του απαιτούμενου εξοπλισμού και οργάνωσης για την πρόληψη και καταστολή της ρύπανσης που πρέπει να διαθέτει η λιμενική εγκατάσταση**

## **B. ΟΡΓΑΝΩΣΗ**

7. Σχέδιο καταπολέμησης ρύπανσης (contingency plan):

- α) Ύπαρξη και περιγραφή σχεδίου: NAI ( Port Contingency Plan)
- β) Προσωπικό (αριθμός ατόμων, εκπαίδευση, ειδική ενδυμασία κλπ): Δέκα (10) άτομα μόνιμοι υπάλληλοι της

ΟΛ.ΗΓ. ΑΕ, οι οποίοι εκπαιδεύονται από την *ANTI POLLUTION MONOΠΡΟΣΩΠΗ ΑΝΕ*.

- γ) Υπεύθυνος ΠΘΠ για την αντιμετώπιση περιστατικών ρύπανσης και αντικαταστάτης (ονοματεπώνυμα,

διευθύνσεις κατοικίας, τηλέφωνα επικοινωνίας): Υπεύθυνη: ..... κινητό .....,  
εργασίας ..... ,email: ..... @olig.gr, Αντικαταστάτης: ..... κινητό .....,  
εργασίας

..... email: ..... [@olig.gr](mailto:.....@olig.gr)

δ) Επικοινωνίες (είδος και μέσα): Φορητά VHF και κινητά τηλέφωνα

8. Εξοπλισμός εγκατάστασης:

Πιστοποιητικό ελέγχου εξοπλισμού εγκατάστασης: Δεν απαιτείται

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** α) Ο ΟΛΗΓ Α.Ε. έχει συνάψει σύμβαση παροχής υπηρεσιών  
αντιμετώπισης περιστατικού θαλάσσιας ρύπανσης με την ANTI POLLUTION  
ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ ΑΝΕ

β) Ο ανωτέρω εξοπλισμός είναι καταναμημένος στους λιμένες Ηγουμενίτσας,  
Πλαταριάς, Συβότων και Σαγιάδας

Ηγουμενίτσα, 03-11-2020

Οι Επιθεωρητές

A)

B)