



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

*«Εργαστήριο Διαχείρισης Επικίνδυνων & Τοξικών
Αποβλήτων»*

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ
ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

*«Πετρελαιοειδή και Οργανικοί Ρύποι από το
Ναυάγιο του Sea Diamond – Αξιολόγηση επιπέδου
ρύπανσης και διαχρονικής της εξέλιξης»*



Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

«Περιβαλλοντική & Υγειονομική Μηχανική»

Νομικός Γεώργιος

Εξεταστική Επιτροπή: Γιδαράκος Ευάγγελος (Επιβλέπων καθηγητής)

Βενιέρη Δανάη

Ξεκουκουλωτάκης Νικόλαος

Χανιά, 2011

Ευχαριστίες

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία δεν θα μπορούσε να είχε υλοποιηθεί χωρίς την πολύτιμη βοήθεια, υποστήριξη και επίβλεψη του Καθηγητή μου, κ. Ευάγγελου Γιδαράκου. Παρόλο που συναντήθηκαν αρκετές δυσκολίες όλο αυτό το διάστημα της μελέτης, όλα κύλισαν βάσει προγράμματος χάρη στην άψογη συνεργασία, επιμονή και υπομονή που υπήρχε.

Έπειτα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συνάδελφο μηχανικό και φίλο Μανώλη Δημητρακάκη, για τις πολύτιμες συμβουλές του, την βοήθειά του και την άψογη συνεργασία που είχαμε κατά την διάρκεια της εκπόνησης αυτής της μελέτης. Οφείλω επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ.Νίκο Ξεκουκουλωτάκη για το ενδιαφέρον και την πρόθεση του να με βοηθήσει σε μερικές πτυχές του συγκεκριμένου θέματος.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος για την πολύτιμη βοήθειά τους κατά την διάρκεια των σπουδών μου, καθώς επίσης τους καθηγητές της εξεταστικής επιτροπής κ. Βενιέρη και κ. Ξεκουκουλωτάκη.

Σειρά στις ευχαριστίες έχουν τα παιδιά που συνεργάστηκα στην Σαντορίνη κατά τη διάρκεια όλων των δειγματοληψιών και επισκέψεων στο νησί, Νικήτας Χάλαρης, Καραμολέγκος Βαλάντης και Λιγνός Λουκάς, των οποίων η συμβολή στο συγκεκριμένο έργο ήταν καθοριστική και πολύτιμη.

Στη συνέχεια, ένα τεράστιο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για την στήριξη και την αγάπη τους όλα αυτά τα χρόνια, και που σε κάθε βήμα της ζωής μου είναι δίπλα μου, στηρίζουν κάθε μου απόφαση και φροντίζουν πάντα να φτάνω στο τέλος κάθε μου στόχου.

Ακόμη, θέλω να ευχαριστήσω την κοπέλα μου Ειρήνη για την μικρή αλλά εξαιρετικά σημαντική συμβολή της στην παρούσα διατριβή, για την συμπαράσταση και υποστήριξη της.

Τέλος, ευχαριστώ όλους τους πραγματικούς μου φίλους και όλους όσους συνέβαλλαν με οποιοδήποτε τρόπο στην αποπεράτωση της μελέτης αυτής.

Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία η οποία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών και Επικινδύνων Αποβλήτων του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, αποτελεί μέρος του ερευνητικού προγράμματος «Ποιοτικός και ποσοτικός χαρακτηρισμός των επικίνδυνων και τοξικών ουσιών από το ναυάγιο του Sea Diamond-Μεσοπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες περιβαλλοντικές επιπτώσεις».

Η συγκεκριμένη διατριβή χωρίζεται σε δύο μέρη, στο θεωρητικό και σε αυτό των δειγματοληψιών – αναλύσεων – μοντελοποίησης. Όσο αφορά το πρώτο μέρος, πραγματοποιήθηκε αρχικά μια βιβλιογραφική ανασκόπηση στα χαρακτηριστικά του πετρελαίου που χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπως αυτή του Sea Diamond (πετρέλαιο ναυτιλίας), στην συμπεριφορά του στο θαλάσσιο περιβάλλον, στις σημαντικότερες τεχνικές απορρύπανσης που εφαρμόζονται για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος και τέλος, στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των πετρελαιοειδών σε θαλάσσιους οργανισμούς μακροσκοπικά. Εκτός από τα παραπάνω, έγινε αναφορά σε σημαντικά ναυάγια – ναυτικά ατυχήματα που έχουν συμβεί τα τελευταία χρόνια ανά τον κόσμο και στις επιπτώσεις τους στο θαλάσσιο περιβάλλον. Τέλος, αναφορά έγινε επίσης, στους σημαντικότερους οργανικούς ρύπους που εμπεριέχονται στο πετρέλαιο (μικροσκοπικά), καθώς και στην τοξικότητά τους.

Όσο αφορά τώρα το δεύτερο μέρος, σε αυτό περιλαμβάνονται οι συνολικά πέντε δειγματοληπτικοί έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν στην ευρύτερη περιοχή της Καλντέρας στη Σαντορίνη με σκοπό την αξιολόγηση του επιπέδου ρύπανσης της περιοχής ως προς τους Πετρελαϊκούς και Οργανικούς ρύπους, καθώς και τα αποτελέσματά τους.

Τέλος, εκτός από το κομμάτι των δειγματοληψιών και αναλύσεων, έλαβε χώρα η μοντελοποίηση της συμπεριφοράς και διασποράς των πετρελαιοειδών που απελευθερώνονται από το κουφάρι του πλοίου στη θαλάσσια στήλη της Καλντέρας. Η συγκεκριμένη μοντελοποίηση έγινε με χρήση σεναρίων με σκοπό να μελετηθεί όσο το δυνατόν καλύτερα η τύχη των πετρελαιοειδών στο θαλάσσιο περιβάλλον της περιοχής, καθώς επίσης κατά πόσο λειτουργεί αποτελεσματικά το αντιρρυπαντικό φράγμα που υπάρχει ακριβώς πάνω από το ναυάγιο, στον εγκλωβισμό του ανερχόμενου πετρελαίου.

Abstract

This dissertation was fulfilled in the Laboratory of Toxic and Hazardous Waste Management at the Department of Environmental Engineering of the Technical University of Crete. It is a part of the research project "Qualitative and quantitative characterization of hazardous and toxic substances from the shipwreck of the C/S Sea Diamond-Short-term and long –term environmental impacts evaluation".

This project is divided in two parts, the theoretical and the one of sampling-analyzing-modeling. At the first part, a literature review was made at first place on the characteristics of the oil used in cases like the one of Sea Diamond (Marine Gas oil), on its behavior to the marine environment, on the most important decontamination techniques being used for the protection of the marine environment and finally on the long-term consequences of oil in the marine organisms. Moreover, there was an important reference to the most considerable shipwrecks-maritime accidents that happened worldwide during the previous years. Finally, there was a reference to the most important organic pollutants that the oil consists of and to their toxicity.

The second part of the dissertation contains the five seawater samplings and their results that took place in the gulf of Caldera, Santorini. The aim of these samplings was to evaluate the pollution level of the area from oil and organic pollutants.

Finally, apart from the section of sampling and analyzing there was also modeling of the oil behavior and dispersion which is coming out of the hulk to the marine environment of Caldera region. This specific modeling came off with the use of scenarios, made to deliberate the fate of the oil in the marine environment of Caldera and if the dam which is placed above the shipwreck works properly in oil caging.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	11
1.1. Εισαγωγή - Ιστορικό	11
1.2. Σκοπός της εργασίας	15
1.3. Μεθοδολογία.....	16
1.4. Υφιστάμενη κατάσταση	17
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Πετρελαϊκοί και Οργανικοί Ρύποι που περιέχονται στο ναυάγιο του Sea Diamond.....	19
2.1. Γενικά	19
2.2. Χαρακτηριστικά πετρελαίου θαλάσσης ή πετρελαίου ναυτιλίας	21
2.3. Η περίπτωση του Sea Diamond	24
2.3.1. Γενικά	24
2.3.2. Τύπος και ποσότητες καυσίμων.....	24
2.4. Περιβαλλοντική τύχη πετρελαιοειδών	29
2.4.1. Διασπορά – μετασχηματισμός.....	29
2.5. Τεχνικές απορρύπανσης θαλασσών από πετρελαιοειδή	39
2.5.1. Γενικά	39
2.5.2. Τεχνική μηχανικού καθαρισμού (περισυλλογή).....	40
2.5.3. Τεχνική χημικού καθαρισμού	41
2.5.4. Τεχνική επιτόπιας καύσης.....	42
2.5.5. Σύγκριση τεχνικών.....	43
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Πετρελαϊκοί και Οργανικοί Ρύποι στο θαλάσσιο περιβάλλον	46
3.1. Γενικά	46
3.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη διαρροή πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον - Αναφορές σε ναυάγια	47
3.2.1. Οικοτοξικότητα – βιοσυσσωρευση.....	47
3.2.2. Επιπτώσεις – τοξικότητα	48
3.2.2.1. Αμμώδεις ακτές	51
3.2.2.2. Παράκτια βλάστηση	51
3.2.2.3. Πλαγκτόν.....	52
3.2.2.4. Επιπτώσεις σε άλλους θαλάσσιους οργανισμούς	53
3.2.2.5. Επιπτώσεις στα θαλασσινά πουλιά	54
3.2.2.6. Κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία.....	55
3.2.3. Αναφορές σε ναυάγια-ατυχήματα	56

3.3. Περιβαλλοντικό προφίλ σημαντικών Πετρελαϊκών και Οργανικών ρύπων – μικροσκοπική εξέταση	66
3.3.1. Ολικοί Πετρελαϊκοί Υδρογονάνθρακες (TPHs) στο θαλάσσιο περιβάλλον	66
3.3.1.1. Τι είναι οι Ολικοί Πετρελαϊκοί Υδρογονάνθρακες (TPHs)	66
3.3.1.2. Τοξικότητα των Ολικών Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων (TPHs)	66
3.3.1.3. Συγκεντρώσεις - επίπεδα των Ολικών Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων (TPHs) στο θαλάσσιο περιβάλλον	69
3.3.1.4. Βιοσυσσώρευση των Ολικών Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων (TPHs) στους θαλάσσιους οργανισμούς	70
3.3.2. Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (PAHs) στο θαλάσσιο περιβάλλον	73
3.3.2.1. Τι είναι οι Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (PAHs)	73
3.3.2.2. Οδοί απελευθέρωσης των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs) στο θαλάσσιο περιβάλλον	76
3.3.2.3. Τοξικότητα των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs)	77
3.3.2.4. Συγκεντρώσεις των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs) στο θαλάσσιο περιβάλλον	80
3.3.2.5. Βιοσυσσώρευση των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs) στους θαλάσσιους οργανισμούς	84

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Προσδιορισμός και ποσοτικοποίηση Πετρελαιοειδών και Οργανικών Ρύπων στο κουφάρι του Sea Diamond

4.1. Τύπος και ποσότητες καυσίμων	87
4.2. Υπολογισμός εναπομένουσας ποσότητας πετρελαιοειδών	92

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεριφορά και διασπορά των πετρελαιοειδών στο θαλάσσιο περιβάλλον της Καλντέρας

5.1. Γενικά	94
5.2. Παράμετροι και συνθήκες επιρροής	98
5.2.1. Θαλάσσια στήλη	98
5.2.2. Επιφάνεια θάλασσας	100
5.2.3. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά	100
5.2.3.1. Βάθος	100
5.2.3.2. Θερμοκρασία	102
5.2.3.3. Αλατότητα	102
5.2.4. Χαρακτηριστικά πετρελαίου	103

5.2.4.1. Τύπος πετρελαίου	103
5.2.4.2. Ιξώδες πετρελαίου	104
5.2.4.3. Γήρανση πετρελαίου	105
5.2.5. Συνθήκες ναυαγίου	107
5.3. Ακτίνα απελευθέρωσης πετρελαιοειδών	110
5.4. Προοπτικές απελευθέρωσης ρύπων.....	114
 <i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των πετρελαιοειδών που προέρχονται από το ναυάγιο του Sea Diamond στη θαλάσσια στήλη της Καλντέρας με την χρήση του προγράμματος DESCAR.</i>	
6.1. Εισαγωγή.....	119
6.2. Το μοντέλο DESCAR	120
6.3. Εκτίμηση της δυνητικής απελευθέρωσης των επικίνδυνων ρύπων (προσομοίωση πηγής ρύπανσης και συμπεριφοράς της).....	121
6.4. Εφαρμογή του μοντέλου DESCAR στην περίπτωση του Sea.....	123
Diamond – Σενάρια.....	123
6.4.1. Ρεαλιστικό σενάριο (1).....	123
6.4.2. Ρεαλιστικό σενάριο (2).....	131
6.5. Συμπεράσματα.....	138
 <i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Δειγματοληψίες και Αναλύσεις στην περιοχή μελέτης</i>	
7.1. Πρότυπα δειγματοληψιών.....	141
7.1.1. Διαδικασία της δειγματοληψίας.....	141
7.1.2. Δειγματοληψία πετρελαιοκηλίδας	141
7.1.3. Πρότυπο δειγματοληψίας και ανάλυσης θαλασσινού νερού για την εξέταση των Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων	143
7.2. Σχεδιασμός δειγματοληψίας	146
7.3. Χρονοδιάγραμμα δειγματοληψιών	148
7.4. Παρακολούθηση του επιπέδου ρύπανσης της περιοχής μελέτης από το Πολυτεχνείο Κρήτης.....	150
7.4.1. Πρώτη δειγματοληψία	150
7.4.2. Δεύτερη δειγματοληψία	152
7.4.3. Τρίτη δειγματοληψία	154
7.4.4. Τέταρτη δειγματοληψία.....	156
7.4.5. Πέμπτη δειγματοληψία	161

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Αποτελέσματα Δειγματοληψιών.....	164
8.1. Αποτελέσματα πρώτης δειγματοληψίας.....	164
8.2. Αποτελέσματα δεύτερης δειγματοληψίας	166
8.3. Αποτελέσματα τρίτης δειγματοληψίας.....	168
8.4. Αποτελέσματα τέταρτης δειγματοληψίας	169
8.5. Αποτελέσματα πέμπτης δειγματοληψίας.....	172
8.6. Συνολική εκτίμηση του επιπέδου επιβάρυνσης της περιοχής μελέτης.....	185
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: Διαχρονική εξέλιξη της ρύπανσης από πετρελαιοειδή.....	187
9.1. Γενικά	187
9.2. Το Sea Diamond ως πηγή ρύπανσης στην περιοχή της Καλντέρας.....	189
9.3. Σενάρια διαχρονικής εξέλιξης της ρύπανσης – Μακροπρόθεσμες περιβαλλοντικές επιπτώσεις	193
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: Συμπεράσματα - Προτάσεις.....	196
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	202
Π.1. Σχέδια πλοίου Sea Diamond	202
Π.2. Μοντελοποίηση – Χρήση λογισμικού μοντέλου DESCAR 3.2	207
Π.3. Αναλύσεις δειγμάτων απάντλησης καυσίμων (Μάιος 2009)	215
Π.4. Άλλες πηγές πετρελαικής ρύπανσης	216
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	234
11.1. Ελληνική βιβλιογραφία	234
11.2. Διεθνής βιβλιογραφία	235
11.3. Διαδίκτυο.....	238

ΕΝΟΤΗΤΑ 1

Πετρελαϊκοί και Οργανικοί Ρύποι

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1. Εισαγωγή - Ιστορικό

Όπως είναι γνωστό στις 5 Απριλίου του 2007 το κρουαζιερόπλοιο *Sea Diamond* της εταιρείας Luis Cruises Co. βυθίστηκε στη θαλάσσια περιοχή της Καλντέρας στη Σαντορίνη και συγκεκριμένα στον όρμο Αθηνιός. Εικάζεται, με μεγάλο βαθμό βεβαιότητας, ότι ανάμεσα στον εξοπλισμό του πλοίου περιλαμβάνονται πλήθος τοξικών και επικινδύνων ουσιών όπως οι πετρελαϊκοί και οργανικοί ρύποι, οι οποίοι δύνανται να αποτελέσουν σημαντική πηγή κινδύνου για το οικοσύστημα αλλά και για τη δημόσια υγεία, μέσω της σταδιακής απελευθέρωσης και μετασχηματισμού τους στο θαλάσσιο περιβάλλον. Για να προβλεφθούν και να εκτιμηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του δυστυχήματος-ναυαγίου στο θαλάσσιο οικοσύστημα της περιοχής, κρίνεται απαραίτητη η εκπόνηση εμπεριστατωμένης και συνάμα πολυδιάστατης μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Το Πολυτεχνείο Κρήτης, και συγκεκριμένα το Εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών και Επικινδύνων Αποβλήτων, διαθέτοντας την απαραίτητη τεχνογνωσία και εμπειρία στη διαχείριση τέτοιων επικινδύνων ουσιών με έγκυρη και αξιόπιστη επιστημονική προσέγγιση, εξέφρασε το ενδιαφέρον του για την όσο το δυνατόν καλύτερη προσέγγιση αυτού του σημαντικού περιβαλλοντικού προβλήματος.

Ύστερα από εισηγήσεις και διαβουλεύσεις με τοπικούς αρμόδιους φορείς, ανατέθηκε από την Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Κυκλάδων η διεξαγωγή μιας ολοκληρωμένης μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων, βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων, μέσω:

- της καταγραφής και ποιοτικής αξιολόγησης των τοξικών και επικινδύνων ουσιών που περιείχε το πλοίο κατά τη βύθισή του,
- της πραγματοποίησης ενός μεγάλου αριθμού δειγματοληπτικών ελέγχων σε θαλάσσια στήλη και θαλάσσια επιφανειακά ιζήματα με σκοπό την αξιολόγηση του επιπέδου ρύπανσης της θαλάσσιας περιοχής της Καλντέρας ως προς σημαντικές ρυπογόνες ουσίες (Πετρελαϊκοί και Οργανικοί ρύποι, Βαρέα Μέταλλα),
- της αλιείας ψαριών και συλλογής οστρακοειδών για τη μελέτη βιοσυσώρευσης Βαρέων Μετάλλων στους ιστούς των συγκεκριμένων οργανισμών,

- καθώς επίσης της υλοποίησης διάφορων άλλων πειραμάτων, μοντελοποίησης και εργαστηριακών προσομοιώσεων.

Η παρούσα μελέτη αποτελεί ένα τμήμα της συνολικής μελέτης που πραγματοποιήθηκε για την περίπτωση του ναυαγίου του *Sea Diamond*, κατά την οποία καταβλήθηκε κάθε δυνατή προσπάθεια για να αποφευχθεί κάθε είδους αβάσιμη και μη επιστημονικά τεκμηριωμένη κινδυνολογία, καθώς και να μην αποσιωπηθεί καμία απολύτως πτυχή της πιθανής περιβαλλοντικής επίπτωσης από το ναυάγιο.

Ιστορικό

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το κρουαζιερόπλοιο *Sea Diamond* προσέκρουσε το μεσημέρι της Μ.Πέμπτης, 5 Απριλίου 2007, κοντά στις ακτές του νησιού σε χαρτογραφημένο ύφαλο, και έπειτα από αρκετές ώρες βυθίστηκε στον όρμο Αθηνιός στην θαλάσσια περιοχή της Καλντέρας της Σαντορίνης.



Εικόνα 1.1. Το σημείο στο οποίο βυθίστηκε το πλοίο *Sea Diamond* (Google earth).

Το κρουαζιερόπλοιο ανατράπηκε καθώς βούλιαζε και στη συνέχεια χτύπησε στον πυθμένα της θάλασσας, προκαλώντας σημαντικές εσωτερικές και εξωτερικές βλάβες στον σκελετό του. Βυθίστηκε με την πλώρη στα 125 μέτρα, την πρύμνη στα 147, με κλίση 16° και πλευρική κλίση 40° προς τα δεξιά. Σαν άμεση συνέπεια του δυστυχήματος αποτέλεσε η σταδιακή διαρροή στο θαλάσσιο περιβάλλον ενός μέρους από τη συνολική ποσότητα των καυσίμων τα οποία υπολογίζονται στους 500 περίπου τόνους πετρελαίου μαζούτ, ενώ πλήθος άλλων ρυπογόνων και επικίνδυνων ουσιών περιλαμβάνονται στο κουφάρι του πλοίου.



Εικόνα 1.2. Το πλοίο Sea Diamond λίγο μετά την πρόσκρουση σε ύφαλο.

Την αμέσως επόμενη μέρα του ναυαγίου τα πρώτα σημάδια θαλάσσιας ρύπανσης ήταν ορατά με πολυάριθμες πετρελαιοκηλίδες να κάνουν την εμφάνισή τους στην θαλάσσια περιοχή της Καλντέρας στον συγκεκριμένο όρμο. Το πετρέλαιο άρχισε να εξαπλώνεται μέσα από τα συντρίμια, τα καταστρώματα και τις καμπίνες. Μεγάλες ποσότητες πετρελαίου διέρρευσαν από το ναυάγιο τις πρώτες μέρες και εβδομάδες, ενώ ένα ποσοστό τους συλλέχθηκε από τις ακτές και την θάλασσα τους τρεις πρώτους μήνες μετά το συμβάν.

Άμεση ήταν η προσπάθεια απορρύπανσης των ακτών, καθώς ειδικά απορρυπαντικά σκάφη με διαχωριστές θαλάσσιου νερού από πετρελαιοειδή και δίκτυα περίφραξης πετρελαιοκηλίδων, άρχισαν τις εργασίες στον τόπο του ναυαγίου. Θεωρείται ότι περίπου 300 m^3 μείγματος ελαιωδών καταλοίπων και θαλασσινού νερού έχουν συλλεχθεί από την εν λόγω εταιρεία (**O'Brien and Mamaloukas-Frangoulis, 2009**). Παρόλα αυτά, η ακριβής ποσότητα των πετρελαιοειδών παραμένη άγνωστη. Ωστόσο, δεδομένου ότι κάποιο σημαντικό κλάσμα της συνολικής μάζας των ελαιωδών είναι υδατοδιαλυτό, εκ των πραγμάτων δεν μπορεί να συλλεχθεί. Ακόμα και μετά τις διαδικασίες καθαρισμού, διαπιστώθηκε ότι η διαρροή ήταν και είναι συνεχής, παραμένοντας μέχρι σήμερα άγνωστο το πότε θα σταματήσει.



Εικόνα 1.3. Το κρουαζιερόπλοιο Sea Diamond στον βυθό της Καλντέρας.

Οι διαδικασίες της απορρύπανσης συνεχίζονται μέχρι και σήμερα, με την παρουσία ενός αντιρρυπαντικού φράγματος διαμέτρου ~150 μέτρων και την συλλογή σε καθημερινή βάση επιπλεόντων πετρελαιοειδών με χρήση ειδικών απορροφητικών σφουγγαριών και «περουκών», χωρίς όμως αυτό να αποτελεί κάποια ουσιαστική λύση στο πρόβλημα της θαλάσσιας ρύπανσης και μόλυνσης του θαλάσσιου οικοσυστήματος. Τέλος, τον Μάιο του 2009 και για ένα διάστημα μικρότερο από 20 ημέρες, επιχειρήθηκε απάντληση πετρελαιοειδών από την εταιρεία **Dronic Maritime Ltd**, η οποία μπορεί μόνο ως απότυχημένη να χαρακτηριστεί. Αναφορικά με τις αντληθείσες ποσότητες πετρελαιοειδών υφίσταται όπως διαπιστώθηκε παραπληροφόρηση, η οποία μπορεί να ανατρέψει τις μέχρι τώρα παραδοχές.



Εικόνα 1.4. Ειδικό σκάφος για την απάντληση καυσίμων.

1.2. Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της μεταπτυχιακής διατριβής, η οποία εκπονείται στα πλαίσια του ερευνητικού έργου «Ποιοτικός και ποσοτικός χαρακτηρισμός των επικίνδυνων και τοξικών ουσιών από το ναυάγιο του Sea Diamond-Περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Παρούσες και Μελλοντικές)», είναι η αξιολόγηση του επιπέδου ρύπανσης της περιοχής μελέτης ως προς τους Πετρελαϊκούς και Οργανικούς ρύπους (Total Petroleum Hydrocarbons TPHs, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons PAHs) μέσω μίας σειράς δειγματοληπτικών ελέγχων σε θαλάσσια στήλη και σε θαλάσσια επιφανειακά ιζήματα στην περιοχή της Καλντέρας σε χρονικό διάστημα ενός έτους (Ιανουάριος – Νοέμβριος 2010), καθώς επίσης η μελέτη συμπεριφοράς και διασποράς των πετρελαιοειδών που απελευθερώνονται από το κουφάρι του Sea Diamond στο θαλάσσιο περιβάλλον της Καλντέρας.

Η μελέτη αρχικά βασίστηκε στη συλλογή στοιχείων και πληροφοριών με σκοπό την εκτίμηση των ποσοτήτων πετρελαίου που περιέχονται στο βυθισμένο πλοίο, το είδος και τα χαρακτηριστικά του. Επίσης, κρίθηκε απαραίτητη η βιβλιογραφική έρευνα ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την τοξικότητα που παρουσιάζουν μακροσκοπικά το πετρέλαιο και μικροσκοπικά τα συστατικά του στο περιβάλλον.

Τέλος, στα πλαίσια αυτής της μελέτης πραγματοποιήθηκαν πέντε συνολικά σειρές δειγματοληψιών σε θαλάσσια στήλη και σε θαλάσσια επιφανειακά ιζήματα, με σκοπό, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, την αξιολόγηση του επιπέδου ρύπανσης της περιοχής της Καλντέρας ως προς τους πετρελαϊκούς και οργανικούς ρύπους.

1.3. Μεθοδολογία

Αρχικά, έλαβε χώρα συλλογή στοιχείων και πληροφοριών σχετικά με τις αρχικές ποσότητες πετρελαίου που περιείχε το πλοίο Sea Diamond πριν τη βύθισή του, τις ποσότητες κατά προσέγγιση των πετρελαιοειδών που απελευθερώνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα, καθώς επίσης τα χαρακτηριστικά και το είδος του πετρελαίου που περιέχεται στις δεξαμενές του πλοίου. Έπειτα, πραγματοποιήθηκε μία βιβλιογραφική ανασκόπηση της συμπεριφοράς και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των πετρελαϊκών και οργανικών ρύπων στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Στο τέλος του συγκεκριμένου κεφαλαίου, εξετάστηκε λεπτομερώς το περιβαλλοντικό προφίλ των σημαντικότερων συστατικών του πετρελαίου, των Ολικών Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων και των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων.

Στην συνέχεια, έλαβε χώρα μία μεγάλη σειρά δειγματοληπτικών ελέγχων σε θαλάσσια στήλη και σε επιφανειακά ιζήματα βυθού στην ευρύτερη περιοχή της Καλντέρας, δίνοντας έμφαση στην κλειστή περιοχή του ναυαγίου. Οι δειγματοληπτικοί αυτοί έλεγχοι διήρκεσαν περίπου ένα χρόνο και ο σκοπός τους ήταν η αξιολόγηση του επιπέδου ρύπανσης της συγκεκριμένης περιοχής προερχόμενης από το ναυάγιο. Σκοπός επίσης ήταν η διαπίστωση τυχόν πλουμίου ρύπανσης από πετρελαιοειδή με σημειακή πηγή το βυθισμένο πλοίο.

Τέλος, έλαβε χώρα με την χρήση ενός κατάλληλου για τέτοιες περιπτώσεις προγράμματος, μοντελοποίηση της συμπεριφοράς και διασποράς των πετρελαιοειδών που προέρχονται από το ναυάγιο του Sea Diamond με τη δημιουργία κατάλληλων σεναρίων που ανταπεξέρχονται όσο το δυνατόν καλύτερα στην πραγματικότητα. Στα σενάρια αυτά υπολογίζονται πολλές σημαντικές παράμετροι όπως η ποσότητα πετρελαιοειδών που απελευθερώνεται, οι συνθήκες του νερού, τα θαλάσσια ρεύματα και λοιπά.

1.4. Υφιστάμενη κατάσταση

Ακολουθεί μία σύντομη αναφορά της κατάστασης που επικρατεί την παρούσα φάση στην ευρύτερη περιοχή του ναυαγίου και στο θαλάσσιο οικοσύστημα της συγκεκριμένης περιοχής. Το Green Passport (Πράσινο Διαβατήριο) του πλοίου αναφέρει ένα πλήθος επικίνδυνων και τοξικών ουσιών που υπάρχουν μέσα σε αυτό.

Όπως είναι λογικό, κάθε μία από αυτές τις ουσίες παρουσιάζει διαφορετική συμπεριφορά στο θαλάσσιο περιβάλλον, άλλες είναι δυσδιάλυτες ενώ άλλες δεν διαλύονται καθόλου. Σε κάθε περίπτωση, η διαρροή τους στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι δεδομένη.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, το φαινόμενο αυτό παρατηρείται αυτά τα 4 περίπου χρόνια, δηλαδή από την στιγμή της βύθισης του πλοίου μέχρι σήμερα, έντονη διαρροή κυρίως πετρελαιοειδών, αλλά και άλλων ουσιών, όπως διαπιστώθηκε εξάλλου από τις δειγματοληψίες (Βαρέα Μέταλλα), ιδιαίτερα πάνω ακριβώς από το ναυάγιο.

Αξίζει να σημειωθεί πως γίνεται συλλογή σε καθημερινή βάση των επιπλεόντων πετρελαιοειδών με χρήση ειδικών απορροφητικών σφουγγαριών και «περουκών», χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ουσιαστική λύση στο πρόβλημα της θαλάσσιας ρύπανσης και μόλυνσης του θαλάσσιου οικοσυστήματος. Η ποσότητα που εκτιμάται ότι απελευθερώνεται καθημερινά από το κουφάρι του πλοίου είναι γύρω στα 20-30 l (ή περίπου κιλά) (Michael O'Brien, ITOPF 2010), με ένα ποσοστό απελευθέρωσης 1 l/h.

Από τις συχνές επισκέψεις στον χώρο του ναυαγίου λόγω της υλοποίησης δειγματοληψιών του Πολυτεχνείου Κρήτης, και συγκεκριμένα στο αντιρρυπαντικό φράγμα, διαπιστώθηκαν τα εξής:

1. Σημαντικές ποσότητες πετρελαιοειδών διαφεύγουν εκτός του φράγματος, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.5. Αυτό δείχνει ότι η υφιστάμενη επιφανειακή κάλυψη είναι ανεπαρκής για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος της Καλντέρας, συνεπώς θεωρείται αναγκαία η μεγέθυνση του αντιρρυπαντικού φράγματος.
2. Έντονη ρύπανση στα νοτιοανατολικά του ναυαγίου, όπως διακρίνεται στην Εικόνα 1.6. Σε κάθε δειγματοληψία παρατηρήθηκε το ίδιο ακριβώς σκηνικό.



Εικόνα 1.5. Πετρελαιοκηλίδα στα εξωτερικά τοιχώματα του αντιρρυπαντικού φράγματος.



Εικόνα 1.6. Έντονη ρύπανση νοτιοανατολικά του ναυαγίου.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι το πλοίο έχει υποστεί σοβαρές ζημιές λόγω της σύγκρουσής του με τον βυθό, όπως φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 1.7. Να επισημανθεί επίσης ότι το Sea Diamond βρίσκεται βυθισμένο με την πλώρη στα 125 μέτρα, την πρύμνη στα 147, με κλίση 16° και πλευρική κλίση 40° προς τα δεξιά.

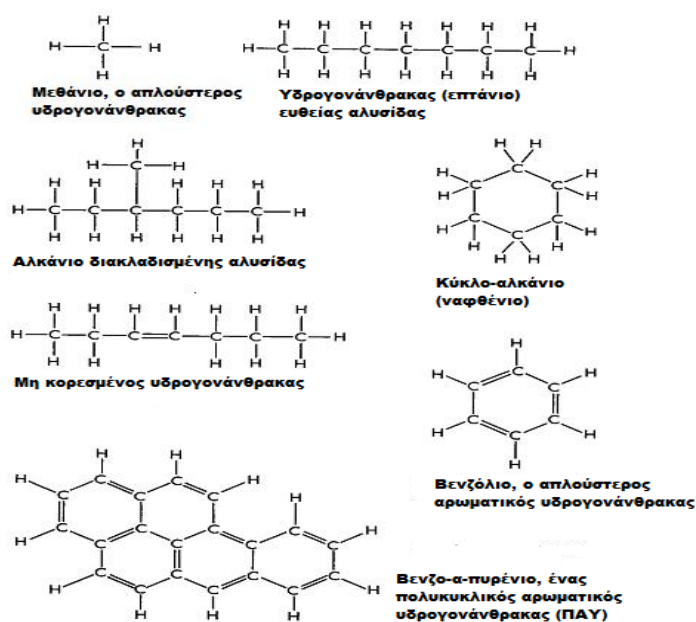


Εικόνα 1.7. Υλικές ζημιές στο κουφάρι του Sea Diamond.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Πετρελαϊκοί και Οργανικοί Ρύποι που περιέχονται στο ναυάγιο του Sea Diamond

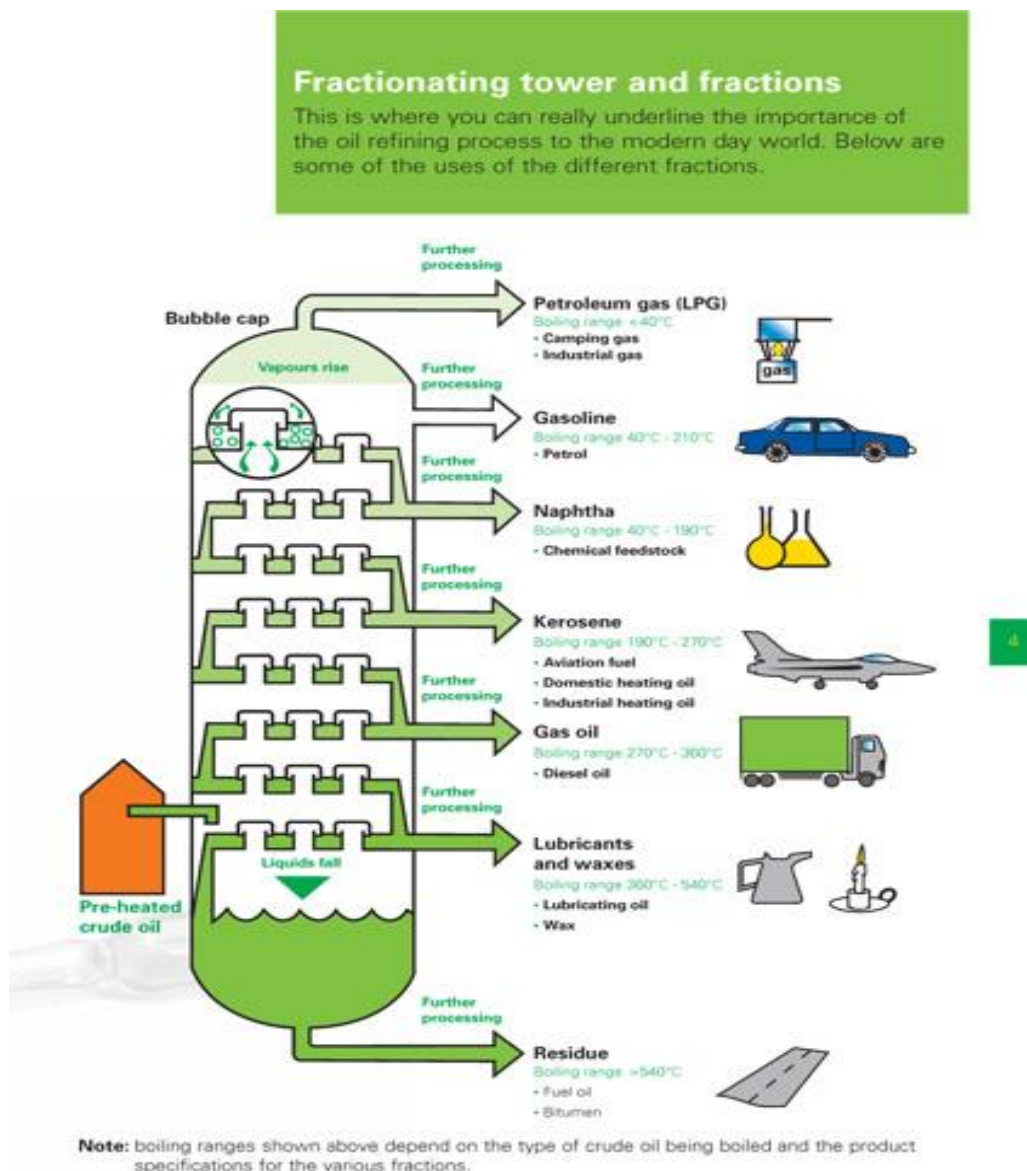
2.1. Γενικά

Ένα από τα σημαντικότερα αγαθά, αλλά και απαραίτητο στοιχείο για την ανάπτυξη και την πρόοδο της παγκόσμιας βιομηχανίας, είναι το πετρέλαιο. Το πετρέλαιο αποτελεί ένα πολύπλοκο μίγμα υδρογονανθράκων, δηλαδή ουσιών που περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο, (αλκανίων, αλκενίων, αρωματικών και πολυαρωματικών, ετεροκυκλικών ενώσεων κτλ), το οποίο όμως περιέχει και αρκετούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, καθώς και άλλες οργανικές ενώσεις (**Wikipedia**). Το ακατέργαστο πετρέλαιο (crude oil) αποτελεί ένα σύνθετο μίγμα από υδρογονάνθρακες με 4 έως 26 ή και περισσότερα άτομα άνθρακα στο μόριό τους. Ανάμεσα στα μόρια που περιέχονται σε αυτό το μίγμα, περιλαμβάνονται μόρια με ευθείες αλυσίδες, διακλαδισμένες αλυσίδες, καθώς και κυκλικές αλυσίδες που περιλαμβάνουν αρωματικές ενώσεις, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.1. Επίσης, εκτός από τους υδρογονάνθρακες, το ακατέργαστο πετρέλαιο περιέχει ενώσεις θείου και βαναδίου (**Water Pollution, 2006**). Μερικές από τις αρωματικές ενώσεις (μονοκυκλικές & πολυκυκλικές) είναι γνωστές με την ονομασία MAHs και PAHs αντίστοιχα (Monocyclic and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) (**Clark, 2002**).



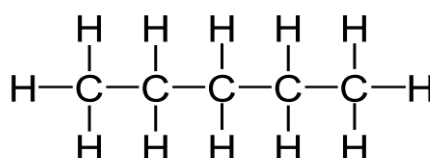
Εικόνα 2.1. Η δομή μερικών υδρογονανθράκων πετρελαίου (**Clark, 2002**).

Το φυσικό πετρέλαιο είναι ρευστό, όπου η σύνθεση και η όψη του μεταβάλλονται ανάλογα με την προέλευσή του. Το αργό (ακατέργαστο) πετρέλαιο, εκτός από τους διάφορους υδρογονάνθρακες, αποτελείται και από άλλες οργανικές ενώσεις αζώτου, θείου, οξυγόνου και από ελάχιστες ποσότητες μεταλλικών ενώσεων, νερού και λευκωματωδών ενώσεων (**Παπαστάθης, 2009**). Επίσης, ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία, και συγκεκριμένα διύλιση όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2, παράγονται τα γνωστά κλάσματα της βενζίνης, της κηροζίνης, του diesel, καθώς και διάφορων ορυκτελαίων.



Εικόνα 2.2. Διύλιση και παράγωγα του πετρελαίου (www.bp.com).

Για παράδειγμα, το κλάσμα της βενζίνης αποτελείται κυρίως από αλκάνια (γνωστά και ως παραφίνες) μικρής αλυσίδας, από πεντάνια (C_5H_{12}) όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.3, μέχρι και από οκτάνια (C_8H_{18}), ενώ το πετρέλαιο diesel και η κηροζίνη περιέχουν κυρίως αλκάνια με μεγαλύτερες αλυσίδες, από εννεάνια (C_9H_{20}) έως δεκαεξάνια ($C_{16}H_{34}$). Από την άλλη πλευρά, το μαζούτ και τα διάφορα λιπαντικά έλαια αποτελούνται από αλκάνια με μεγάλες αλυσίδες (πάνω από 16 άτομα άνθρακα), ενώ τα ακόμη βαρύτερα κλάσματα μπορεί να περιέχουν έως και 35 άτομα άνθρακα στην αλυσίδα.



Εικόνα 2.3. Χημικός τύπος πεντανίου από το οποίο αποτελείται η βενζίνη (Wikipedia).

2.2. Χαρακτηριστικά πετρελαίου θαλάσσης ή πετρελαίου ναυτιλίας

Τα πιο βαριά κλάσματα του ακατέργαστου πετρελαίου ανακτώνται συνήθως στις κατώτερες βαθμίδες της αποστακτικής στήλης και είναι γνωστά με την γενική ονομασία καύσιμο πετρέλαιο, ή βαρύ πετρέλαιο ή μαζούτ (**heavy fuel oil** ή **fuel oil**) για τα βαρύτερα κλάσματα, ακριβώς γιατί περιέχουν τα πιο μεγάλα σε μοριακό βάρος μόρια υδρογονανθράκων (Concave, 1998).

Ωστόσο, η κατηγορία του καύσιμου πετρελαίου, η οποία περιλαμβάνει τα κλάσματα με σημείο βρασμού μεταξύ 175 και 600 °C και μήκος ανθρακικής αλυσίδας από 9 έως 70 άτομα άνθρακα, διεθνώς διακρίνεται στις επιμέρους 6 ομάδες ή κλάσεις καυσίμων και συγκεκριμένα (Wikipedia):

- Οι **κλάσεις No.1, No.2 και No.3** συνήθως αναφέρονται ως αποστάγματα πετρελαίου (**distillate fuel oils**), ή πετρέλαιο diesel (**diesel fuel oils, gasoil**). Συγκεκριμένα, η κλάση No.1 αναφέρεται σε καύσιμα παρόμοια με την κηροζίνη, η οποία αποτελεί το κλάσμα με σημείο βρασμού αμέσως μεγαλύτερο από τη βενζίνη. Η κλάση No.2 αναφέρεται στο μείγμα που είναι γνωστό ως diesel και χρησιμοποιείται κυρίως στις οδικές μεταφορές. Στην ίδια κλάση κατατάσσεται και το πετρέλαιο θέρμανσης, ενώ η κλάση No.3 αναφέρεται σε ένα απόσταγμα το οποίο δεν έχει ευρεία χρήση.

- Η κλάση **No.4** αποτελεί ένα μείγμα αποσταγμάτων και υπολειμματικών κλασμάτων των κλάσεων No.2 και No.6.
- Οι κλάσεις **No.5** και **No.6** αναφέρονται ως υπολειμματικό πετρέλαιο (**residual fuel oil**) ή βαρύ πετρέλαιο (**heavy fuel oil**) ή με την κοινή ονομασία μαζούτ. Τα μείγματα των κλάσεων αυτών είναι το υπόλειμμα (εκτός από το στερεό) που ανακτάται στην αποστακτική στήλη, αφού έχουν ανακτηθεί τα ελαφρύτερα κλάσματα (κηροζίνη, diesel, κλ). Η κλάση No.5 αποτελεί στην πραγματικότητα ένα μείγμα 75-80% κ.β. της κλάσης No.6 και 25-20% της κλάσης No.2. Ακόμη και το καύσιμο της κλάσης No.6 μπορεί να αναμειγνύεται με μικρή ποσότητα της κλάσης No.2 για να πληροί της προδιαγραφές χρήσης (ιξώδες, περιεκτικότητες). Τα κλάσματα αυτά, που είναι παχύρρευστα και περιέχουν μεγάλο ποσοστό θείου, χρησιμοποιούνται σε μεγάλους κινητήρες για την κίνηση πλοίων ή ηλεκτροπαραγωγή και συνήθως απαιτείται μια επί τόπου επεξεργασία (θέρμανση για ομαλή ροή, φιλτράρισμα για απομάκρυνση προσμίξεων) πριν χρησιμοποιηθούν.

Στον Πίνακα 2.1 συνοψίζονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά των κλάσεων των πετρελαίων καύσης.

Πίνακας 2.1. Χαρακτηριστικά των κλάσεων του πετρελαίου καύσης (Wikipedia).

Κλάση	Τύπος καυσίμου	Μήκος αλυσίδας υδρογονανθράκων
No.1	Απόσταγμα	9-16
No.2	Απόσταγμα	10-20
No.3	Απόσταγμα	
No.4	Μείγμα αποστάγματος/υπολείμματος	12-70
No.5	Υπόλειμμα	12-70
No.6	Υπόλειμμα	20-70

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στα πλοία είναι γνωστά κάτω από την γενική ονομασία πετρέλαιο θαλάσσης ή πετρέλαιο ναυτιλίας, όπως ορίζεται από την Πολιτεία από τις ΚΥΑ 12651 και ΚΥΑ 81160/861 στα αντίστοιχα ΦΕΚ (**ΦΕΚ 697/Β/1984 και ΦΕΚ 574/Β/1991**).

Στη διεθνή ορολογία τα ναυτικά καύσιμα είναι γνωστά κάτω από τη γενική ονομασία **bunker fuel**, η οποία προέρχεται από τις δεξαμενές στα πλοία και τα λιμάνια όπου αποθηκεύεται (bunker). Τα πλοία χρησιμοποιούν κυρίως καύσιμα που ανήκουν στην κλάση No.6.

Ωστόσο, για λόγους ελέγχου των αερίων εκπομπών (κυρίως οξείδια του θείου), κατά την είσοδο/έξοδο σε λιμάνια και πλεύση κοντά σε κατοικημένες περιοχές, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO), σύμφωνα με τις επιταγές της Ευρωπαϊκής Κοινότητας όπως αυτές εκφράζονται στην αντίστοιχη Οδηγία (**Οδηγία 1999/32/EK**), επιβάλλει τη χρήση πιο ραφιναρισμένων κλασμάτων. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο στο Πράσινο Διαβατήριο του πλοίου αναφέρονται δυο είδη καυσίμου και συγκεκριμένα Heavy Fuel Oil και Marine Gas Oil (**Environmental Protection Engineering S.A., 2008**).

Συγκεκριμένα, το είδος Heavy Fuel Oil αναφέρεται στο καύσιμο που χρησιμοποιείται κατά την πλεύση σε ανοιχτή θάλασσα και είναι επίσης γνωστό ως **Bunker Fuel C**. Αντίθετα, ο όρος **Marine Gas oil** αναφέρεται σε πιο ραφιναρισμένο καύσιμο που αντιστοιχεί στην κλάση No.2 με βάση την προαναφερθείσα κατηγοριοποίηση (προϊόντα που λαμβάνονται ως αποστάγματα της διεργασίας διύλισης και όχι ως υπολείμματα).

Τα κύρια χαρακτηριστικά του καυσίμου Heavy Fuel Oil, είναι η αυξημένη πυκνότητα, το υψηλό ιξώδες και το υψηλό ποσοστό προσμίξεων. Το ιξώδες (παράμετρος που δείχνει την ικανότητα ροής ενός υγρού) είναι πολύ σημαντικός λειτουργικός παράγοντας και απαιτείται προθέρμανση του καυσίμου (σε συνδυασμό με απομάκρυνση των προσμίξεων) προτού να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους ναυτικούς κινητήρες.

Τέλος, οι προδιαγραφές των καυσίμων για ναυτική χρήση καθορίζονται από το αντίστοιχο διεθνές πρότυπο ISO (**ISO 8217:2005**), σύμφωνα με το οποίο γίνεται διαχωρισμός μεταξύ αποσταγμάτων (distillate fuels) και υπολειμμάτων (residual fuels), όπου στην κατηγορία των αποσταγμάτων περιγράφονται τέσσερις κλάσεις ποιότητας, ενώ στην κατηγορία των υπολειμμάτων περιγράφονται δέκα κλάσεις ποιότητας.

2.3. Η περίπτωση του Sea Diamond

2.3.1. Γενικά

Η ρύπανση από πετρελαιοειδή προϊόντα, αποτελεί μια από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις του ναυαγίου του Sea Diamond στο θαλάσσιο οικοσύστημα της Καλντέρας της Σαντορίνης. Οι επιπτώσεις από τη διαρροή πετρελαιοειδών εκτός από εμφανείς είναι και ανιχνεύσιμες, όπως καταγράφεται και από την παρακολούθηση του θαλάσσιου οικοσυστήματος από το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (Ελ.Κε.Θ.Ε., 2007&2008) αλλά και από την ποιοτική αξιολόγησή τους (Νομικός, 2009).

Η διαρροή πετρελαιοειδών στην Καλντέρα έλαβε χώρα αμέσως μετά το ναυάγιο (Εικόνα 2.4) και παρά τις προσπάθειες περιορισμού της ρύπανσης, κάποια σημαντική ποσότητα καυσίμων διέρρευσε στο θαλάσσιο περιβάλλον.

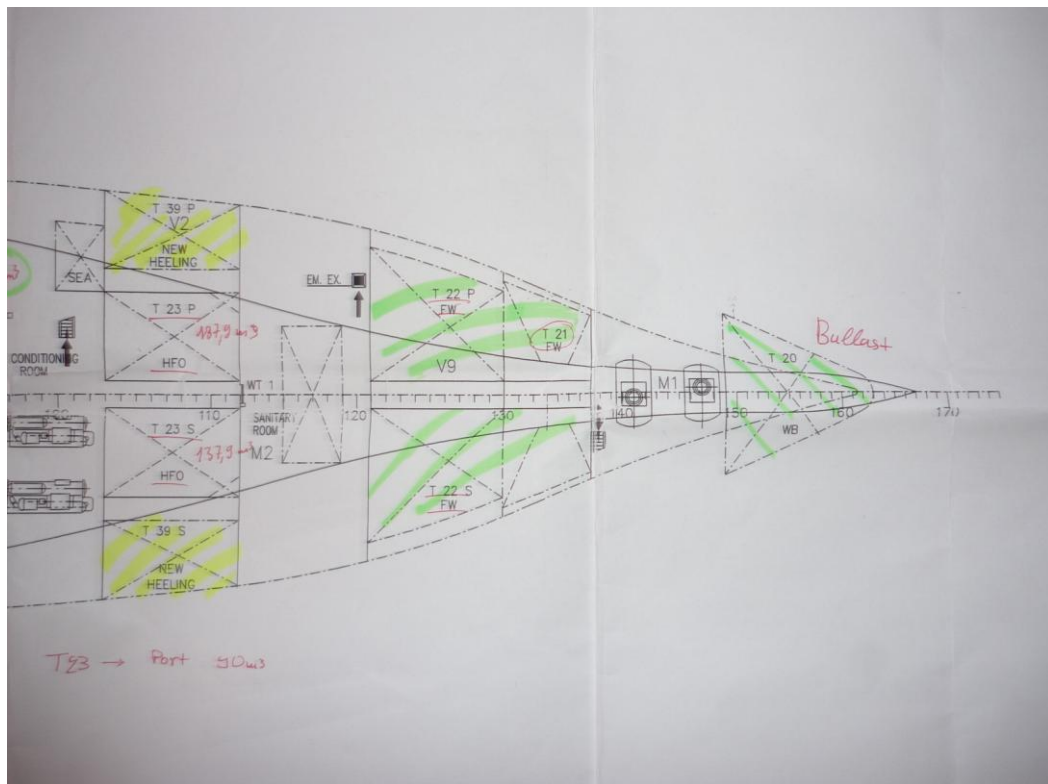


Εικόνα 2.4. Εμφανής ρύπανση από πετρελαιοειδή μερικές ημέρες μετά το ναυάγιο (αριστερά) και προσπάθειες περιορισμού της πετρελαιοκηλίδας (δεξιά) με πλωτά μέσα (www.theheraldbulletin.com & www.tovima.gr).

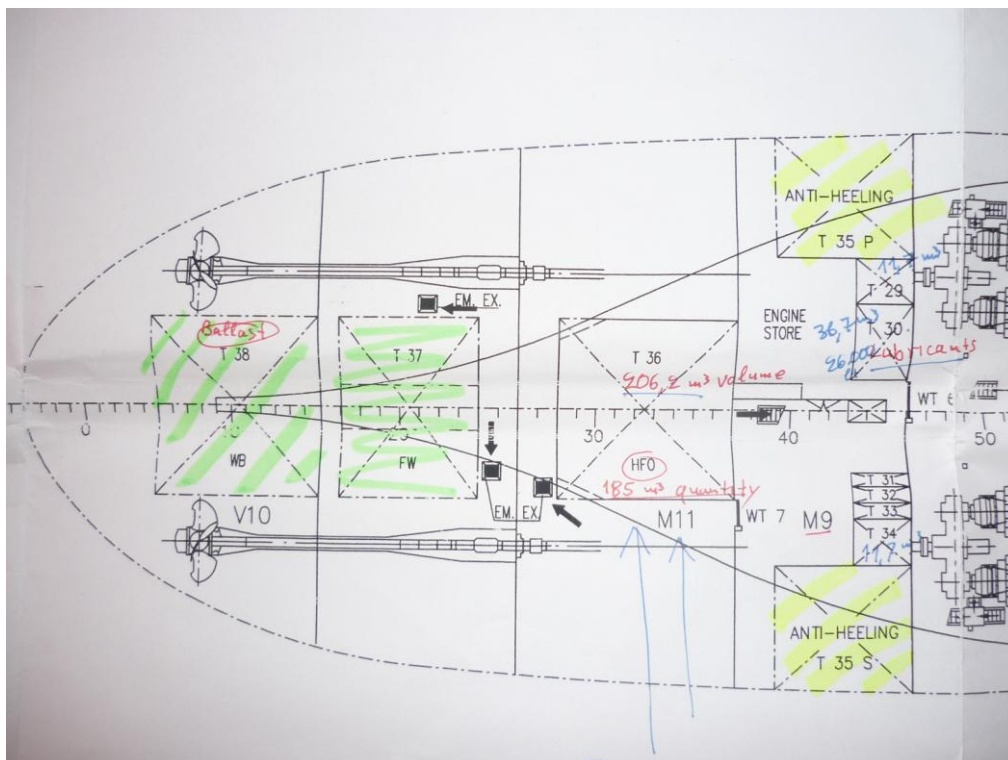
2.3.2. Τύπος και ποσότητες καυσίμων

Η εκτίμηση του τύπου και των ποσοτήτων των καυσίμων μπορεί να γίνει μόνο έμμεσα από τα κατασκευαστικά σχέδια των συστημάτων πρόωσης (μηχανές και περιφερειακά) του Sea Diamond. Σύμφωνα με το Πράσινο Διαβατήριο του Sea Diamond (Environmental Protection Engineering S.A., 2008), και την καταγραφή του περιεχομένου των δεξαμενών πριν από τη βύθιση (05/04/2007), το πλοίο είχε στις δεξαμενές του τις εξής ποσότητες καυσίμων:

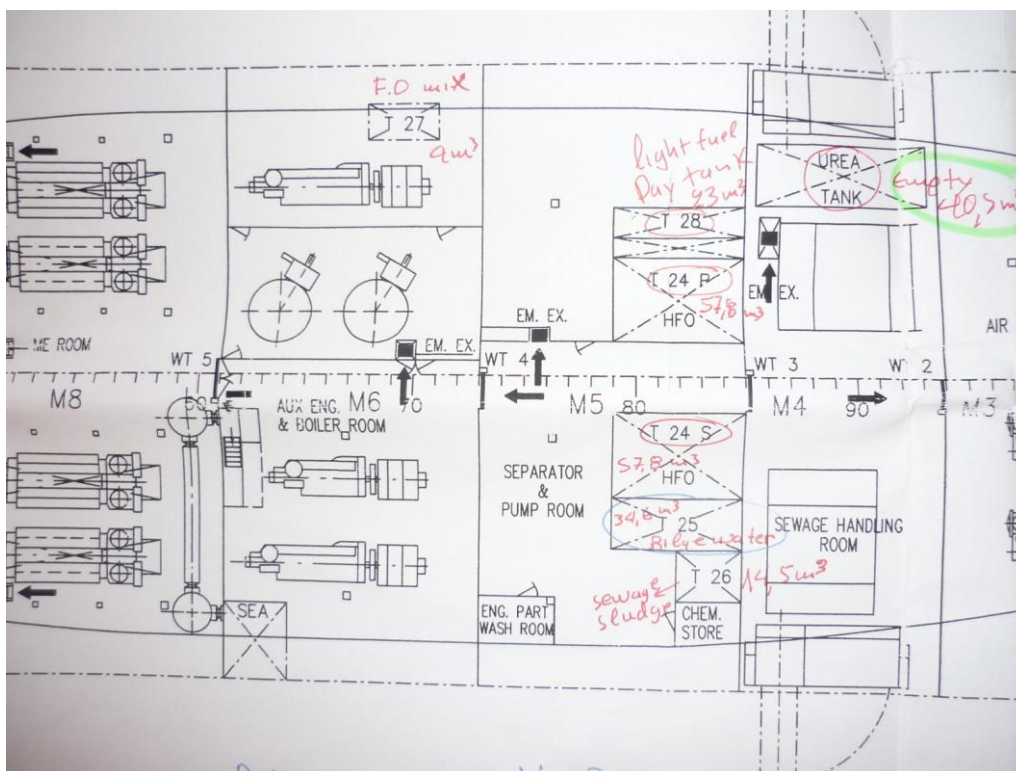
- **437 τόνους** πετρελαίου θαλάσσης βαρέως τύπου (πετρέλαιο που ανακτάται ως υπόλειμμα ή κατάλοιπο από την αποστακτική στήλη), το οποίο είναι γνωστό με την ονομασία **Heavy Fuel Oil** ή **Bunker Oil C**. Οι ποσότητες αυτές σύμφωνα με την εν λόγω καταγραφή, εντοπίζονται στις δεξαμενές αποθήκευσης T 24S, T 24P, T 23S, T 23P και T 36 (Εικόνες 2.5, 2.6 και 2.7).
- **68 τόνους** πετρελαίου θαλάσσης ελαφρού τύπου (πετρέλαιο που ανακτάται ως απόσταγμα από την αποστακτική στήλη), το οποίο είναι γνωστό με την ονομασία **Marine Gas Oil** και αντιστοιχεί σε πετρέλαιο κλάσης No.2 σύμφωνα με την κατάταξη που έχει αναφερθεί ήδη. Οι ποσότητες αυτές σύμφωνα με την καταγραφή, εντοπίζονται στις δεξαμενές T 28 και T 5 (Εικόνα 2.6).



Εικόνα 2.5. Δεξαμενές T 23 αποθήκευσης πετρελαίου θαλάσσης του πλοίου Sea Diamond σύμφωνα με τα κατασκευαστικά σχέδια (κάτοψη).



Εικόνα 2.6. Δεξαμενές T 36 αποθήκευσης πετρελαίου θαλάσσης του πλοίου Sea Diamond σύμφωνα με τα κατασκευαστικά σχέδια (κάτοψη).



Εικόνα 2.7. Δεξαμενές T 24, T 28 αποθήκευσης πετρελαίου θαλάσσης του πλοίου Sea Diamond σύμφωνα με τα κατασκευαστικά σχέδια (κάτοψη).

Η συνολική χωρητικότητα των δεξαμενών του πλοίου καταγράφεται στον Πίνακα 2.2. Από τα στοιχεία του πίνακα, προκύπτει ότι η χωρητικότητα των δεξαμενών είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την αναφερόμενη ποσότητα.

Πίνακας 2.2. Χωρητικότητα δεξαμενών καυσίμου του Sea Diamond.

Δεξαμενές βαρέως καυσίμου (HFO)		Δεξαμενές καυσίμου diesel (MGO)	
Αριθμός δεξαμενής	Χωρητικότητα (m ³)	Αριθμός δεξαμενής	Χωρητικότητα (m ³)
T 23 S	137,9	T 5	73,5
T 23 P	137,9	T 28 (Day)	23
T 4 S	58,6		
T 4 P	58,6		
T 24 S	57,8		
T 24 P	57,8		
T 36	206,2		
Συνολική χωρητικότητα	714,8	Συνολική χωρητικότητα	96,5

Η **Τεχνική Προστασίας Περιβάλλοντος (EPE)**, ανέλαβε από την πρώτη ημέρα του ναυαγίου μέχρι και σήμερα την απομάκρυνση των ελαιωδών καταλοίπων (πετρέλαιο, λιπαντικά, υδραυλικά έλαια) από την περιοχή. Εκτιμάται ότι καθημερινά συλλέγονται περίπου κατά μέσο όρο 20-30 l (ή περίπου kg) (**Michael O'Brien, ITOPF 2010**) πετρελαιοειδών (πισσώδη και ελαιώδη) με την χρήση ειδικών απορροφητικών σφουγγαριών από το εσωτερικό του αντιρρυπαντικού φράγματος διαμέτρου 145 μέτρων. Συνεπώς, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι οι ποσότητες πετρελαίου που απελευθερώνονται από το ναυάγιο είναι μεγαλύτερες. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι είναι σχεδόν αδύνατο να εκτιμηθεί ο ρυθμός και οι συνολικές ποσότητες απελευθέρωσης των πετρελαιοειδών από το κουφάρι του πλοίου. Τέλος, τον Μάιο του 2009 και για ένα διάστημα μικρότερο από 20 ημέρες, επιχειρήθηκε απάντληση πετρελαιοειδών από την εταιρεία **Dronic Maritime Ltd**, η οποία μπορεί μόνο ως απότυχημένη να χαρακτηριστεί. Αναφορικά με τις αντληθείσες ποσότητες πετρελαιοειδών υφίσταται όπως διαπιστώθηκε παραπληροφόρηση, η οποία μπορεί να ανατρέψει τις μέχρι τώρα παραδοχές.

Στον Πίνακα 2.3 συνοψίζονται η περιβαλλοντική τύχη και οι επιπτώσεις από τη διαρροή των διαφόρων κλασμάτων των πετρελαιοειδών στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Πίνακας 2.3. Συνοπτική περιγραφή της τύχης και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των διαφόρων κλασμάτων των πετρελαιοειδών στο θαλάσσιο οικοσύστημα (US Government Accountability Office, 2007).

Τύπος πετρελαίου	Τύχη στο θαλάσσιο περιβάλλον	Περιβαλλοντική επίπτωση
Πολύ ελαφριά κλάσματα (πχ κηροζίνη, βενζίνη)	Ιδιαίτερα πτητικά (πτητικοποίηση εντός 1-2 ημερών). Δεν είναι δυνατή απορρύπανση από διαρροές αυτών των κλασμάτων	Ισχυρή τοξικότητα και σοβαρές επιπτώσεις σε παράκτιες περιοχές
Ελαφριά κλάσματα (πχ diesel, μαζούτ No.2, ελαφριά ακατέργαστα πετρέλαια)	Μετρίως πτητικά, αφήνουν μια ποσότητα υπολείμματος έπειτα από μερικές ημέρες. Η απορρύπανση αν γίνει σωστά μπορεί να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική	Μέτρια τοξικότητα, παρουσιάζουν ωστόσο τη δυνατότητα δημιουργίας μακροχρόνιας ρύπανσης
Μεσαία κλάσματα (οι περισσότεροι τύποι ακατέργαστων πετρελαίων)	Κάποια ποσότητα (σχεδόν το ένα τρίτο) εξατμίζεται μέσα σε 24 ώρες. Η απορρύπανση είναι πιο αποτελεσματική αν διεξαχθεί άμεσα	Μειωμένη τοξικότητα, ρύπανση ακτογραμμών και κυρίως μακροπρόθεσμη επίδραση κυρίως σε πληθυσμούς υδρόβιων πτηνών και ορισμένα θηλαστικά
Βαρέα κλάσματα (βαρέα ακατέργαστα πετρέλαια, πετρέλαιο θαλάσσης, μαζούτ No.6)	Σχεδόν μηδαμινή εξάτμιση. Εξαιρετικά δύσκολος ο καθαρισμός	Μειωμένη τοξικότητα, σημαντική ωστόσο ρύπανση ακτογραμμών και παράκτιων πόρων. Σημαντικές επιπτώσεις σε υδρόβια πτηνά και ορισμένα θηλαστικά μέσω κατάποσης και επικάλυψης στο δέρμα

Το πετρέλαιο ως οργανικός ρύπος (όλα τα κλάσματά του), είναι υποκείμενος στην βακτηριδιακή αποικοδόμηση, με διαφορετικούς βέβαια ρυθμούς για κάθε κλάσμα. Εξάλλου, εκτός από τα βακτήρια και άλλοι οργανισμοί (ορισμένοι μύκητες) μπορούν να μεταβολίσουν τους πετρελαϊκούς υδρογονάνθρακες (Clark, 2002). Οι πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες σε αντίθεση με άλλους ρύπους που είναι γνωστοί ως επίμονοι ρύποι (persistent or conservative pollutants), όπως είναι για παράδειγμα τα βαρέα μέταλλα και οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, δεν έχουν γενικά την τάση να βιοσυσσωρεύονται.

Τέλος, ο υδρόφοβος χαρακτήρας τους και η χαμηλή βιοαποδομησιμότητά τους προκαλεί την βιοσυσσώρευσή τους σε επίπεδα συγκέντρωσης πολύ μεγαλύτερα από αυτά που μετρώνται στο περιβάλλον (D' Adamo et al., 1997).

2.4. Περιβαλλοντική τύχη πετρελαιοειδών

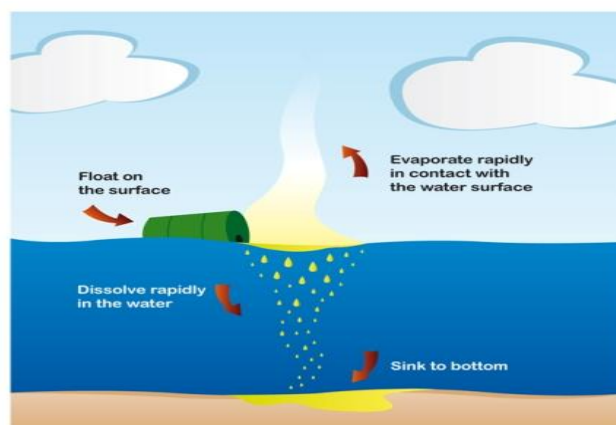
2.4.1. Διασπορά – μετασχηματισμός

Όλα τα συστατικά του πετρελαίου έχουν τη δυνατότητα να αποδομηθούν από βακτηριδιακούς μικροοργανισμούς σε ποσοστό που εξαρτάται από το μέγεθος και το είδος των μορίων των υδρογονανθράκων. Έχει πράγματι παρατηρηθεί ότι τα μικρά μόρια με ευθείες αλυσίδες καθώς και τα μόρια με διακλαδιζόμενες αλυσίδες αποδομούνται πιο γρήγορα σε σχέση με τα μόρια κυκλικής αλυσίδας.

Στην περίπτωση διαρροής πετρελαϊκών προϊόντων και παραπροϊόντων στο θαλάσσιο οικοσύστημα, η εξάπλωση και ο μετασχηματισμός τους αποτελεί ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο φαινόμενο το οποίο εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

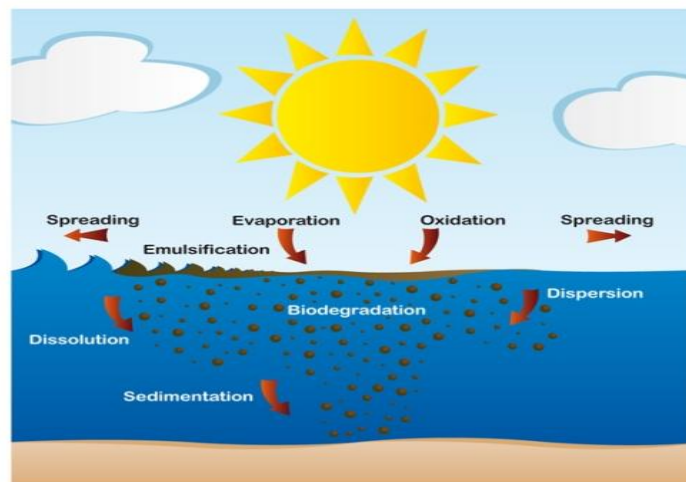
- Την ένταση και τη διάρκεια της ηλιακής ακτινοβολίας
- Την θερμοκρασία τόσο του αέρα όσο και του θαλάσσιου περιβάλλοντος
- Το είδος και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του διαρρέοντος πετρελαίου (πχ ιξώδες, πτητικότητα, ειδικό βάρος, περιεκτικότητα σε επιμέρους κλάσματα, κλπ).

Συνήθως, τα ελαφρύτερα κλάσματα του πετρελαίου τα οποία είναι και τα πιο πτητικά εξατμίζονται σε μικρό χρονικό διάστημα. Άλλα κλάσματα διαλύονται στη στήλη του νερού, άλλα γαλακτωματοποιούνται σε μικρά σταγονίδια μετατρέποντας τα σε βιοαποδομήσιμα από βακτηριακούς οργανισμούς (εξαιτίας του μεγάλου λόγου επιφάνειας προς όγκο), ενώ τα βαρύτερα κλάσματα δημιουργούν πισσώδη συσσωματώματα (tars) όπως και αυτά που συχνά συναντάμε στις ακτές. Στην Εικόνα 2.8 απεικονίζεται η διασπορά των πετρελαιοειδών αμέσως μετά την διαρροή τους σε θαλάσσιο περιβάλλον.

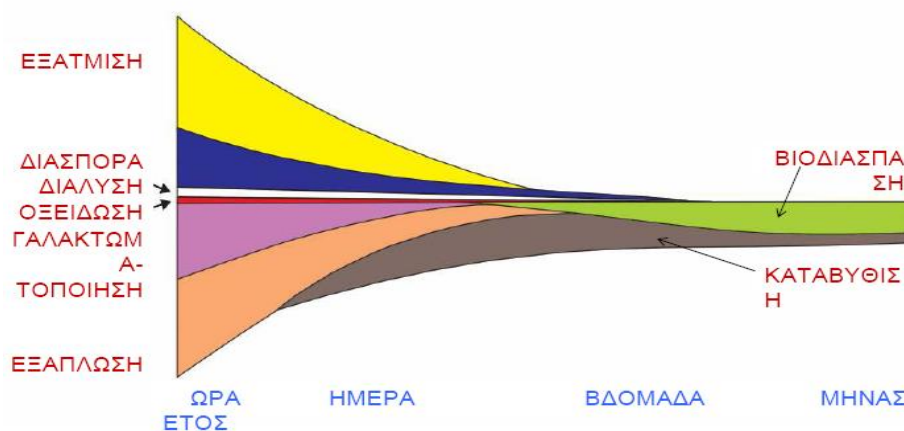


Εικόνα 2.8. Η διασπορά των πετρελαιοειδών κατόπιν διαρροής στο θαλάσσιο περιβάλλον (www.itopf.com).

Το πετρέλαιο που διαρρέει στη θάλασσα υφίσταται μια αργή αποικοδόμηση, η οποία εξαρτάται από διάφορους παράγοντες μεταξύ των οποίων η ποσότητα του διαθέσιμου οξυγόνου καθώς και η ηλιακή ακτινοβολία. Η διεργασία αυτή είναι γνωστή ως «γήρανση» (aging). Επίσης, σχηματίζει επιφανειακό στρώμα και αυτό υπόκειται σε μια σειρά από φυσικοχημικές διεργασίες (εξάτμιση, γαλακτοματοποίηση, φωτοχημική οξείδωση, διάλυση, προσρόφηση, μικροβιακή αποικοδόμηση κτλ, βλέπε Εικόνα 2.9, 2.10 και 2.11). Οι διεργασίες αυτές καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την τοξικότητά του. Όσο αφορά την τελευταία φυσικοχημική διεργασία, αυτή εξαρτάται από τη θερμοκρασία, όπου για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 25 °C έχει υπολογιστεί ότι αποικοδομείται μικροβιακά πετρέλαιο ποσότητας μέχρι και 1 g ανά m² θάλασσας ανά ημέρα, την διαθεσιμότητα θρεπτικών αλάτων και την ποσότητα του οξυγόνου (Ελ.Κε.Θ.Ε, 2008).



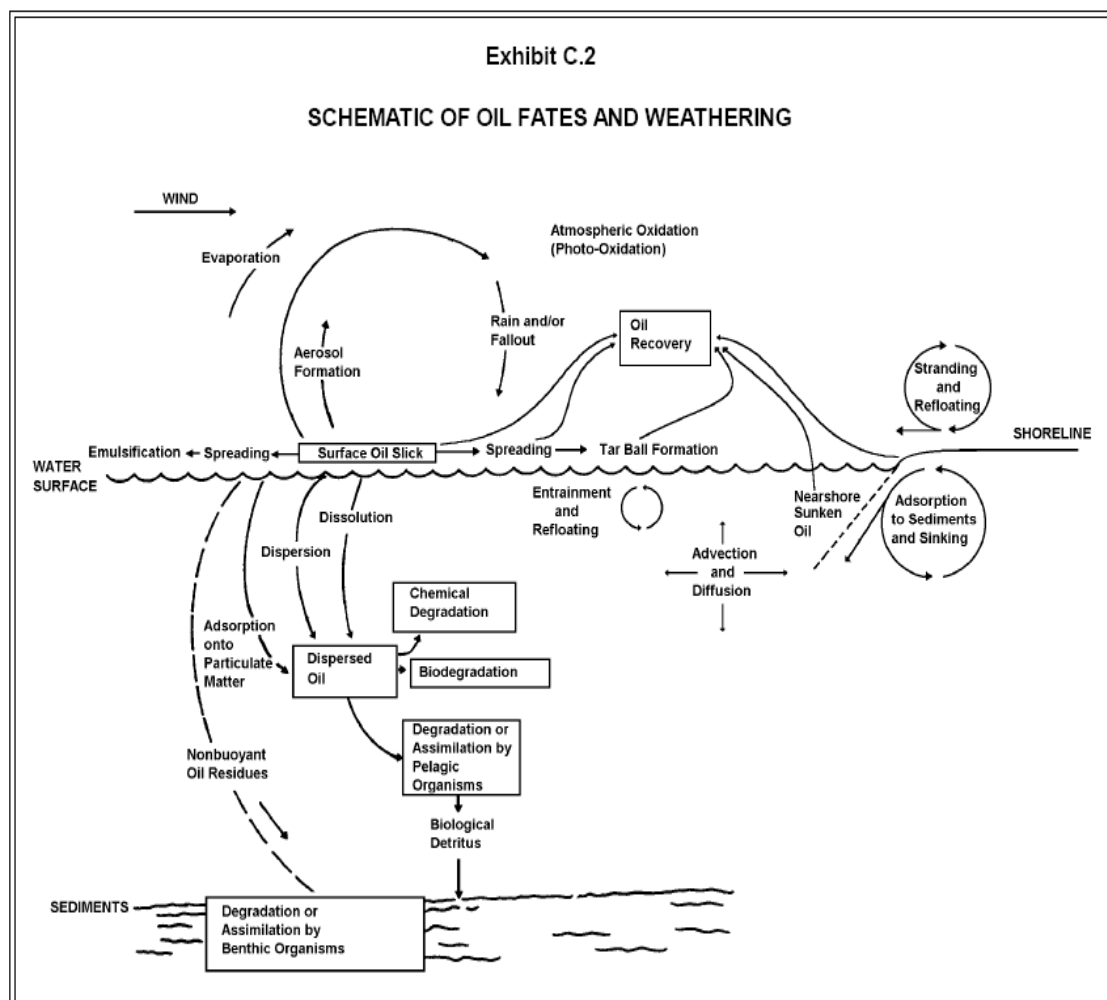
Εικόνα 2.9. Οι φυσικοχημικές διεργασίες που υπόκεινται το Πετρέλαιο στο θαλάσσιο περιβάλλον (www.itopf.com).



Εικόνα 2.10. Οι φυσικοχημικές διεργασίες που υπόκεινται το πετρέλαιο συναρτήσει του χρόνου (Καλογεράκης, 2007).

Επίσης, αξιόλογη ποσότητα πετρελαιοειδών μπορεί να κατακαθίσει στο βυθό της θάλασσας – διαδικασία γνωστή ως ιζηματοαπόθεση (sedimentation) και να μετρηθεί στα δείγματα του θαλάσσιου νερού. Παρ'ολ'αυτά, η ιζηματοαπόθεση δεν εξασφαλίζει ότι η ποσότητα αυτή δεν θα επιστρέψει στο νερό ή ότι δεν θα βιοσυσσωρευτεί μέσω οργανισμών του βυθού.

Ένας άλλος τρόπος εναπόθεσης των πετρελαιοειδών είναι η προσκόλλησή τους στα βράχια, εξαιτίας του μεγάλου τους ιξώδους και της κολλοειδούς φύσης τους. Η ανακύκλωσή τους στην υδατική φάση είναι αρκετά πιθανή με τη συνέργεια ευνοϊκών παραγόντων (πχ έντονος κυματισμός), όπως επίσης και η βιοσυσσώρευσή τους μέσω οστρακοειδών που προσκολλώνται στα βράχια.



Modified from National Research Council (1985)

Εικόνα 2.11. Αναλυτικότερη παρουσίαση των βιολογικών και φυσικοχημικών μεταβολών που υπόκειται το πετρέλαιο στο θαλάσσιο περιβάλλον (NRC, 1999).

Η διανομή του πετρελαίου στην επιφάνεια της θάλασσας επηρεάζεται από τις δυνάμεις της βαρύτητας, το ιζώδες του πετρελαίου και την επιφανειακή τάση του νερού. Σε χρονικό διάστημα μόλις δέκα λεπτών μετά από μια διαρροή, 1 τόνος πετρελαίου μπορεί να διασκορπιστεί σε ακτίνα 50 μέτρων, σχηματίζοντας μια κηλίδα πάχους 10 mm. Η κηλίδα γίνεται λεπτότερη (μικρότερη από 1 mm), καθώς το πετρέλαιο εξακολουθεί να εξαπλώνεται, καλύπτοντας ακόμα και έκταση 12 km² (**Ramade, 1978**). Κατά τη διάρκεια των πρώτων ημερών μετά τη διαρροή, ένα σημαντικό μέρος του πετρελαίου μεταβάλλεται σε αέρια φάση.

Περαιτέρω αλλαγές λαμβάνουν χώρα υπό τη συνδυασμένη επίδραση των μετεωρολογικών και υδρολογικών παραγόντων και εξαρτώνται κυρίως από την ένταση και την κατεύθυνση του αέρα, τα κύματα και τα θαλάσσια ρεύματα. Μια πετρελαιοκηλίδα παρασύρεται συνήθως στην ίδια κατεύθυνση με τον άνεμο. Ενώ η κηλίδα λεπταίνει, ειδικά μετά το πάχος των 0,1 χιλιοστών περίπου, αυτή διαλύεται σε ξεχωριστά κομμάτια που εκτείνονται σε πιο απομακρυσμένες περιοχές.



Εικόνα 2.12. Παράδειγμα διαρροής πετρελαίου από πετρελαιοφόρο πλοίο (www.adn.com).

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, όταν το πετρέλαιο διαρρεύσει στη θάλασσα, διαλύεται και διαχέεται στο θαλάσσιο περιβάλλον με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η διάχυση είναι αποτέλεσμα μιας σειράς των χημικών και φυσικών διεργασιών που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι οποίες αλλάζουν τα συστατικά του πετρελαίου όταν αυτό διαχυθεί. Αυτές οι διεργασίες θα αναφερθούν αναλυτικά παρακάτω, σύμφωνα με την **International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF)**.

Ο τρόπος με τον οποίο μια πετρελαιοκηλίδα διαλύεται στο νερό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το πόσο επίμονος είναι ο ρύπος, δηλαδή το πετρέλαιο. Ελαφριά προϊόντα όπως η κηροζίνη τείνουν να εξατμιστούν και να διαλυθούν γρήγορα και φυσικά, ενώ σπάνια εφαρμόζεται καθαρισμός στην περίπτωση τους. Αυτά ονομάζονται μη επίμονοι υδρογονάνθρακες.

Αντιθέτως, τα βαριά κλάσματα του πετρελαίου χαρακτηρίζονται ως επίμονοι υδρογονάνθρακες, καθώς διαλύονται πιο αργά και συνήθως απαιτούν καθαρισμό. Φυσικές ιδιότητες όπως η πυκνότητα και το ιξώδες του πετρελαίου παίζουν σημαντικό ρόλο στην συμπεριφορά του.

Η διάχυση είναι μία διαδικασία που δεν εμφανίζεται άμεσα. Ο χρόνος που χρειάζεται να λάβει χώρα η διάχυση εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων, συμπεριλαμβανομένου της ποσότητας και του τύπου του πετρελαίου που διέρρευσε, των καιρικών συνθηκών και τέλος, εάν το πετρέλαιο παραμένει στη θάλασσα ή κατευθύνεται προς την ξηρά.

Εξάπλωση (Spreading)

Από τη στιγμή που το πετρέλαιο διαρρέυσει, αρχίζει να εξαπλώνεται στην επιφάνεια της θάλασσας, αρχικά ως μία ενιαία κηλίδα (Εικόνα 2.13). Η ταχύτητα με την οποία λαμβάνει χώρα η διασπορά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ιξώδες του πετρελαίου. Ρευστά και χαμηλού ιξώδους πετρελαιοειδή εξαπλώνονται πιο γρήγορα από αυτά με υψηλό ιξώδες. Παρ' όλα αυτά, οι κηλίδες εξαπλώνονται γρήγορα καλύπτοντας μεγάλες επιφάνειες. Η διάδοση είναι σπάνια ομοιόμορφη, με μεγάλες διακυμάνσεις στο πάχος του πετρελαίου. Μετά από λίγες ώρες η κηλίδα αρχίζει να διαλύεται λόγω των ανέμων, καθώς η δράση των κυμάτων και οι αναταράξεις του νερού, παίζουν σημαντικό ρόλο στην διασπορά και στην εξάπλωση του πετρελαίου (**ITOPF**). Επίσης, ο ρυθμός με τον οποίο το πετρέλαιο εξαπλώνεται καθορίζεται από τις επικρατούσες συνθήκες του νερού, όπως την θερμοκρασία, τα ρεύματα και τις ταχύτητες ανέμου.



Εικόνα 2.13. Εξάπλωση πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον
(www.scientificamerican.com).

Εξάτμιση (Evaporation)

Τα ελαφρύτερα συστατικά του πετρελαίου εξατμίζονται στην ατμόσφαιρα. Το ποσοστό και η ταχύτητα εξάτμισής τους εξαρτώνται από την πτητικότητα του πετρελαίου. Πετρελαιοειδή με ένα μεγάλο ποσοστό ελαφριών και πτητικών ενώσεων θα εξατμιστούν γρηγορότερα και σε μεγαλύτερες ποσότητες από πετρελαιοειδή που περιέχουν βαρύτερες ενώσεις. Για παράδειγμα, η βενζίνη, η κηροζίνη, το πετρέλαιο ντίζελ και όλα τα ελαφριά προϊόντα, έχουν την τάση να εξατμίζονται σχεδόν εξ ολοκλήρου μέσα σε λίγες μέρες. Σε γενικές γραμμές, στις εύκρατες συνθήκες τα συστατικά του πετρελαίου με σημείο βρασμού μικρότερο από 200 ° C έχουν την τάση να εξατμίζονται μέσα στις πρώτες 24 ώρες από την απελευθέρωσή τους (**ITOPF**). Η εξάτμιση μπορεί να επιταχυνθεί με την αύξηση της επιφάνειας που μπορεί να καλύψει το πετρέλαιο όταν εξαπλωθεί. Σε ταραχώδεις θάλασσες, με μεγάλες ταχύτητες ανέμου και υψηλές θερμοκρασίες, το ποσοστό της εξάτμισης τείνει να αυξηθεί.

Διασπορά (Dispersion)

Τα κύματα και οι αναταράξεις στην επιφάνεια της θάλασσας μπορούν να διασπάσουν μέρος ή ακόμα και ολόκληρη πετρελαιοκηλίδα σε μικρότερα σταγονίδια διάφορων μεγεθών. Αυτό γίνεται διότι το πετρέλαιο αναμιγνύεται με το νερό στην ανώτερη επιφάνεια της υδάτινης στήλης. Ορισμένα από τα μικρότερα σταγονίδια παραμένουν αμετάβλητα στο θαλασσινό νερό, ενώ τα μεγαλύτερα τείνουν να αυξηθούν πάλι στην επιφάνεια, μέσω της συγχώνευσής τους με άλλες σταγόνες σχηματίζοντας ένα πολύ λεπτό φιλμ (**ITOPF**). Αυτό ενθαρρύνει άλλες φυσικές διαδικασίες, όπως τη διάλυση, τη βιοαποικοδόμηση και την καθίζηση.

Η ταχύτητα με την οποία το πετρέλαιο διαλύεται εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη φύση του πετρελαίου και τις επικρατούσες συνθήκες της θάλασσας. Επίσης, η διασπορά είναι ταχύτερη όταν το πετρέλαιο είναι χαμηλού ιξώδους και η θάλασσα τρικυμιώδης. Τέλος, η προσθήκη χημικών διασκορπιστικών επιταχύνει τη διαδικασία της φυσικής διασποράς.

Γαλακτωματοποίηση (Emulsification)

Η γαλακτωματοποίηση του πετρελαίου αναφέρεται στη διαδικασία με την οποία τα σταγονίδια του θαλασσινού νερού ενσωματώνονται στα σωματίδια του πετρελαίου.

Αυτό συμβαίνει από τη φυσική ανάμειξη νερού-πετρελαίου η οποία ενθαρρύνεται από την αναταραχή στην επιφάνεια της θάλασσας. Το γαλάκτωμα που έχει σχηματιστεί είναι συνήθως πολύ παχύρρεστο και επίμονο (δε διαλύεται εύκολα) όπως φαίνεται στις Εικόνες 2.14 και 2.15, και συχνά αναφέρεται ως ‘‘μους σοκολάτας’’, λόγω της εμφάνισής του **(ITOPF)**. Ο σχηματισμός αυτών των γαλακτωμάτων αυξάνει τον όγκο των ρύπων (πετρελαιοειδών) ακόμα και τρεις με τέσσερις φορές του αρχικού τους. Αυτό το γεγονός επιβραδύνει άλλες διαδικασίες που θα επιτρέψουν στο πετρέλαιο να διαλυθεί.



**Εικόνες 2.14 & 2.15. Γαλακτωματοποίηση πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον
(www.natureserve.org).**

Διάλυση (Dissolution)

Τα ευδιάλυτα συστατικά του πετρελαίου μπορούν να διαλυθούν στο νερό που τα περιβάλλει. Αυτό εξαρτάται από τη σύνθεση και την κατάσταση του πετρελαίου, και συμβαίνει πιο γρήγορα όταν το πετρέλαιο είναι πλήρως διασκορπισμένο στη στήλη του νερού. Από τα πιο ευδιάλυτα συστατικά στο νερό της θάλασσας είναι οι ελαφρού κλάσματος αρωματικοί υδρογονάνθρακες, όπως το βενζόλιο και το λουόλιο. Ωστόσο, οι ενώσεις αυτές είναι οι πρώτες που χάνονται μέσω της εξάτμισης, διαδικασίας 10 -100 φορές πιο γρήγορης από τη διάλυση (ITOPF).

Οξείδωση (Oxidation)

Τα πετρελαιοειδή όπως είναι φυσικό, αντιδρούν χημικά με το οξυγόνο. Μέσω αυτής της διαδικασίας το πετρέλαιο είτε διασπάται σε διαλυτά προϊόντα είτε σχηματίζονται επίμονες ενώσεις, οι ονομαζόμενες πίσσες (Εικόνα 2.16) ή πισσώδη (tar). Η διαδικασία αυτή επηρεάζεται από την ηλιοφάνεια και τον τύπο του πετρελαίου ο οποίος εκτίθεται στο φως του ήλιου.

Ωστόσο, η συγκεκριμένη διαδικασία είναι πολύ αργή ακόμα και σε έντονη ηλιακή ακτινοβολία, καθώς ακόμα και τα πιο λεπτά φιλμ πετρελαίου οξειδώνονται σε μικρότερο ποσοστό από 0,1% ημερησίως (ITOPF).

Ο σχηματισμός πισσών προκαλείται από την οξείδωση παχίων στρωμάτων πετρελαίου και υψηλού ιξώδους γαλακτωμάτων. Τα πισσώδη, τα οποία βρίσκονται συχνά στις ακτές και εμφανίζουν έναν λίγο σκληρό εξωτερικό φλοιό με μαλακότερο εσωτερικό, αποτελούν ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της διαδικασίας.



Εικόνα 2.16. Πισσώδη δείγματα πετρελαίου (www.climateprogress.com).

Καθίζηση – Καταβύθιση (Sedimentation-Sinking)

Ορισμένα βαριά διυλισμένα προϊόντα του πετρελαίου έχουν μεγαλύτερες πυκνότητες από άλλα, συνεπώς και από το θαλασσίνο νερό. Έτσι, καθιζάνουν στο πυθμένα. Παρόλ'αυτά, το θαλασσίνο νερό έχει πυκνότητα περίπου 1025 kg/m^3 και πολύ λίγα κλάσματα πετρελαίου είναι τόσο πυκνά έτσι ώστε τα κατάλοιπά τους να καθιζάνουν στον θαλάσσιο βυθό. Τα ρηχά νερά είναι συχνά επιβαρυμένα με αιωρούμενα στερεά, εξαιτίας του ότι παρουσιάζουν ευνοϊκότερες συνθήκες για καθίζηση.

Βιοαποικοδόμηση (Biodegradation)

Το θαλασσίνο νερό περιέχει μικροοργανισμούς που μπορούν μερικώς ή πλήρως να αποικοδομήσουν το πετρέλαιο σε ευδιάλυτες στο νερό ενώσεις, και τελικά σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Υπάρχουν πολλά είδη μικροβίων που είναι υπεύθυνα για την αποικοδόμηση συγκεκριμένων ενώσεων του πετρελαίου.

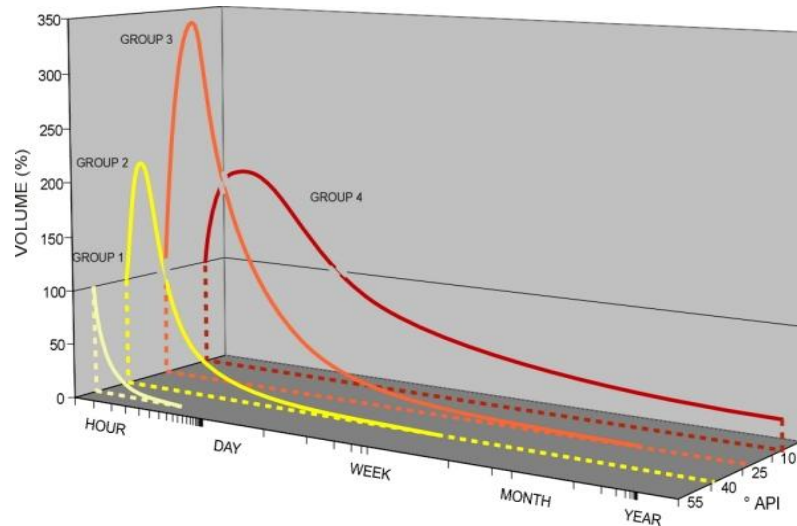
Ωστόσο, ορισμένες ενώσεις είναι πολύ ανθεκτικές και δεν μπορούν να αποικοδομηθούν. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της βιοαποικοδόμησης είναι τα επίπεδα των θρεπτικών (αζώτου και του φωσφόρου) στο νερό, η θερμοκρασία και το επίπεδο οξυγόνου.

Επειδή η βιοδιάσπαση χρειάζεται οξυγόνο, αυτή η διαδικασία μπορεί να γίνει μόνο στη διεπαφή του πετρελαίου-νερού, δεδομένου ότι δεν υπάρχει συστατικό οξυγόνο στο πετρέλαιο. Η δημιουργία των σταγονιδίων πετρελαίου, από φυσική ή χημική διασπορά, αυξάνει την επιφάνεια του πετρελαίου στη θάλασσα και συγχρόνως αυξάνει τις διαθέσιμες εκτάσεις για βιοαποικοδόμηση.

Συνδυασμός Διεργασιών (Combined Processes)

Οι διαδικασίες εξάπλωσης, εξάτμισης, διασποράς, γαλακτωματοποίησης και διάλυσης είναι οι πιο σημαντικές κατά τη διάρκεια των πρώτων σταδίων μιας διαρροής, ενώ η οξείδωση, η καθίζηση και η βιοαποικοδόμηση είναι πιο σημαντικές στη συνέχεια, μιας και καθορίζουν την τελική μοίρα του πετρελαίου. Για να κατανοηθεί λοιπόν η συμπεριφορά των πετρελαιοειδών στο θαλάσσιο περιβάλλον με την πάροδο του χρόνου, πρέπει να γίνει κατανοητή πρώτα η αλληλεπίδραση όλων αυτών των διεργασιών. Για την πρόβλεψη αυτή, έχουν αναπτυχθεί κάποια ειδικά μοντέλα με βάση τον τύπο του πετρελαίου.

Ένα τέτοιο μοντέλο παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.1. και στον Πίνακα 2.4, και υπολογίζει τον ρυθμό απομάκρυνσης πετρελαίου από το θαλάσσιο περιβάλλον ανάλογα με το είδος του. Τα είδη του πετρελαίου έχουν ταξινομηθεί σε ομάδες ανάλογα με την πυκνότητά τους.



Σχήμα 2.1. Ρυθμός απομάκρυνσης του πετρελαίου από την επιφάνεια της θάλασσας ανάλογα με τον τύπο (ITOPF).

Πίνακας 2.4. Κατηγοριοποίηση τύπων πετρελαίου ανάλογα με την πυκνότητά τους (ITOPF).

Group (ομάδα)	Density gr/m ³ (πυκνότητα)	Examples (παραδείγματα)
Group I	less than 0.8	Gasoline, Kerosene
Group II	0.8 - 0.85	Gas Oil, Abu Dhabi Crude
Group III	0.85-0.95	Arabian Light Crude, North Sea Crude Oils (e.g. Forties)
Group IV	greater than 0.95	Heavy Fuel Oil, Venezuelan Crude Oils

Τέλος, αν και τα απλά μοντέλα δεν μπορούν να προβλέψουν τις αλλαγές που υφίσταται το πετρέλαιο στο θαλάσσιο περιβάλλον με μεγάλη ακρίβεια, μπορούν να δώσουν ενδείξεις για το αν μια κηλίδα πετρελαίου είναι πιθανόν να διαλυθεί φυσικά ή αν θα καταλήξει στην ακτή. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν με σκοπό την όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερη και γρηγορότερη αντιμετώπιση διαρροών με την χρήση κατάλληλων τεχνικών.

2.5. Τεχνικές απορρύπανσης θαλασσών από πετρελαιοειδή

2.5.1. Γενικά

Όταν το πετρέλαιο διαρρέει στη θάλασσα, τότε λαμβάνει χώρα μια σειρά διεργασιών, που προκαλούν φυσικές και χημικές μεταβολές στο πετρέλαιο (π.χ. εξάτμιση, οξείδωση, γαλακτωματοποίηση, διάλυση κτλ) και οι οποίες επιδρούν άμεσα στην τοξικότητά του. Ταυτόχρονα, με την ύπαρξη κατάλληλων συνθηκών θερμοκρασίας και έντασης του ανέμου, ένα σημαντικό ποσοστό (έως και 40%) των ελαφρών κλασμάτων του πετρελαίου εξατμίζεται κατά τη διάρκεια των δύο πρώτων ημερών.

Λόγω των παραπάνω διεργασιών, τα περισσότερα είδη του πετρελαίου εξαπλώνονται υπό την επίδραση των δυνάμεων επιφανειακής τάσης, σχηματίζοντας στρώματα πάχους της τάξεως των 0.3 mm. Με τον τρόπο αυτό οι πετρελαιοκηλίδες καταλαμβάνουν συχνά τεράστιες διαστάσεις, καθώς ένα λίτρο πετρελαίου μπορεί να καλύψει επιφάνεια περίπου 1000 m² (**Australian Maritime Safety Authority**). Μετά την πάροδο ορισμένων ημερών, το σχηματισθέν στρώμα (φίλμ) πετρελαίου λεπταίνει ακόμα περισσότερο φθάνοντας το πάχος των 0.5μm, αποκτώντας ένα χαρακτηριστικό "ασημί" χρώμα (γυαλάδα), ενώ διευκολύνεται και η ταχεία διάσπασή του με την προϋπόθεση της ελαφριάς έστω αναταραχής της θαλάσσιας επιφάνειας.

Οι επιπτώσεις των πετρελαιοκηλίδων στα επιφανειακά ύδατα είναι πολλές. Η δημιουργία πετρελαιοκηλίδων στην επιφάνεια της θάλασσας πρώτα απ'όλα εμποδίζει σε σημαντικό βαθμό την ανταλλαγή αερίων μεταξύ της ατμόσφαιρας και της επιφάνειας της θάλασσας. Με τον τρόπο αυτό περιορίζεται η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό, προκαλώντας αρνητικές επιπτώσεις στους ζωντανούς οργανισμούς. Η ελάττωση αυτή με την ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας της θάλασσας βοηθά στην περαιτέρω ανάπτυξη μικροοργανισμών, οι οποίοι καταναλώνουν το εναπομείναν οξυγόνο, επηρεάζοντας σημαντικά την ισορροπία του τοπικού οικοσυστήματος. Ταυτόχρονα, η παρουσία πετρελαίου παρεμποδίζει τη διείσδυση των ακτινών του ήλιου στη θάλασσα με άμεσο αποτέλεσμα τη μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των υδρόβιων φυτών, οδηγώντας στη μείωση της υπάρχουσας χλωροφύλλης και την αναστολή της φωτοσύνθεσης των υποθαλάσσιων φυτών (**Βασιλάκος Α., 2009**).

Για τους παραπάνω λόγους, εκτός από περιπτώσεις ειδικών καιρικών συνθηκών, είναι απαραίτητη η λήψη άμεσων και αποτελεσματικών μέτρων για την προστασία των θαλάσσιων οικοσυστημάτων από τις αρνητικές επιδράσεις που συνοδεύουν τη διαρροή του πετρελαίου.

Τα τελευταία τριάντα χρόνια η τεχνολογία αντιμετώπισης της θαλάσσιας ρύπανσης από πετρελαιοειδή έχει παρουσιάσει σημαντική πρόοδο, τόσο σε αποδοτικότητα όσο και σε κόστος. Οι κυριότερες τεχνικές απορρύπανσης της θάλασσας από προϊόντα πετρελαίου είναι:

- 1. Μηχανικός Καθαρισμός (περισυλλογή)**
- 2. Χημικός Καθαρισμός**
- 3. Επιτόπια Καύση**

2.5.2. Τεχνική μηχανικού καθαρισμού (περισυλλογή)

Η συγκεκριμένη τεχνική λαμβάνει χώρα στην περίπτωση του Sea Diamond (Εικόνα 2.17) και θεωρείται ως η πιο γνωστή και διαδεδομένη. Πρακτικά, αφορά τον μηχανικό διαχωρισμό του μίγματος νερού - πετρελαίου από την επιφάνεια με απομάκρυνση του ύδατος και πιθανή επαναχρησιμοποίηση του πετρελαίου. Περιλαμβάνει τις περισσότερες δυνατότητες επέμβασης σ' ένα περιστατικό διαρροής πετρελαιοειδών, δίνοντας υπό προϋποθέσεις, τις καλύτερες λύσεις. Η διαδικασία επέμβασης συνίσταται στον περιορισμό της πετρελαιοκηλίδας με κατάλληλα πλωτά φράγματα και στην επεξεργασία του επιφανειακού θαλάσσιου νερού, με σκοπό το διαχωρισμό του πετρελαίου από αυτό. Συχνά τα χρησιμοποιούμενα φράγματα σε συνδυασμό με την χρήση ειδικών απορροφητικών «υφασμάτων» (σφουγγάρια, σακούλες), έχουν την ικανότητα απορρόφησης σημαντικών ποσοτήτων πετρελαίου, συντελώντας στον περαιτέρω καθαρισμό της περιοχής.



Εικόνα 2.17. Η εφαρμογή του μηχανικού καθαρισμού με την χρήση αντιρρυπαντικού φράγματος στην περίπτωση του Sea Diamond στη Σαντορίνη.

Παρόλο που η συγκεκριμένη μέθοδος θεωρείται η πιο απλή και φιλικότερη προς το περιβάλλον, απαιτεί σημαντικό κόστος εξοπλισμού, σοβαρή και έμπειρη διαχείριση από εξειδικευμένο προσωπικό, καθώς και χώρο αποθήκευσης και πρόσθετης επεξεργασίας του συλλεγμένου πετρελαίου.

Επιπλέον η μέθοδος αυτή επηρεάζεται σημαντικά από τις καιρικές συνθήκες παρουσιάζοντας περιορισμένη αποδοτικότητα για ανέμους εντάσεως μεγαλύτερης των 4°B (Beaufort), καθώς και για περιπτώσεις λεπτών πετρελαιοκηλίδων. Τέλος, ένα ακόμα σοβαρό μειονέκτημά της, είναι ο σημαντικός χρόνος που μεσολαβεί από την στιγμή του ατυχήματος – διαρροής έως την οργάνωση και προσέγγιση της ομάδος δράσης στο σημείο του ατυχήματος.

2.5.3. Τεχνική χημικού καθαρισμού

Ο διασκορπισμός του πετρελαίου είναι μια φυσική διαδικασία που ακολουθεί την είσοδό του στο θαλασσινό νερό. Το γεγονός αυτό αποτέλεσε την αφορμή για τη δημιουργία ουσιών – ενώσεων που θα επιτάχυναν τη φυσική διαδικασία του διασκορπισμού του πετρελαίου, δηλαδή τα χημικά διασκορπιστικά. Τα διασκορπιστικά είναι μίγματα από οργανικούς διαλύτες, που δρουν μεταξύ νερού και πετρελαιοειδών και μειώνουν τη μεταξύ τους επιφανειακή τάση (**Καλδέλλης & Κονδύλη, 2005**).

Τα πρώτα χημικά διασκορπιστικά που χρησιμοποιήθηκαν τη δεκαετία του '60 αποτελούνταν από αρωματικούς υδρογονάνθρακες, οι οποίοι ήταν ιδιαίτερα τοξικοί, προκαλώντας επικίνδυνες επιπτώσεις στο θαλάσσιο οικοσύστημα. Η επικινδυνότητά τους ήταν τέτοια που ανάγκασε τις αρχές να θεσπίσουν κατάλληλη νομοθεσία, με την οποία απέκλειαν ευαίσθητες περιοχές από τη χρήση χημικών διασκορπιστικών. Ωστόσο, τα σημερινά χημικά διασκορπιστικά ή αλλιώς "τρίτης γενιάς" δεν είναι τόσο τοξικά, και εφαρμόζονται τόσο από πλωτά μέσα όσο και από αεροσκάφη, όπως φαίνονται στις Εικόνες 2.18 και 2.19. Επίσης, είναι σημαντικό ότι η απόδοσή τους ευνοείται από τον κυματισμό της θάλασσας, δηλαδή εμφανίζουν αυξημένη αποδοτικότητα εκεί που οι υπόλοιπες μέθοδοι μειονεκτούν. Παράλληλα, αποτελεί μία αρκετά ταχεία μέθοδο απορρύπανσης.



Εικόνες 2.18 & 2.19. Διασκορπιστικό πετρελαιοκηλίδας και εφαρμογή της τεχνικής χημικού καθαρισμού πετρελαιοειδών στο θαλάσσιο περιβάλλον (www.perthpetroleum.com).

Από την άλλη πλευρά όμως, τα χημικά διασκορπιστικά παρουσιάζουν μερικά σημαντικά μειονεκτήματα. Πρώτα απ'όλα, δεν καταστρέφουν το πετρέλαιο με αποτέλεσμα, μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, να επανεμφανίζονται τμήματα της κηλίδας, ενώ επιβαρύνουν και τα ίδια με την παρουσία τους το τοπικό οικοσύστημα. Επίσης, η δραστηότητά τους μειώνεται με την πάροδο του χρόνου παραμονής (π.χ. μετά από δύο ημέρες) του πετρελαίου στη θάλασσα (γήρανση), ενώ τέλος καθίστανται αδρανή σε χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω από 5°C) για παχύρρευστα κλάσματα του πετρελαίου με ιξώδες μεγαλύτερο των 2000 cSt (UNEP, 1988).

Μία ειδική κατηγορία διασκορπιστικών αποτελούν τα βιογενή επιφανειακά διασκορπιστικά. Η αρχή δράσης τους βασίζεται στην τροφοδοσία των σαπροφυτικών και ετεροτροφικών βακτηριδίων, τα οποία είναι υπεύθυνα για την βιοαποικοδόμηση του πετρελαίου, με ρίζες φωσφορικών αλάτων και οξυγόνο ώστε να επιταχύνεται ο πολλαπλασιασμός τους και να ενισχύεται η δραστηότητά τους (Καλδέλλης & Κονδύλη, 2005).

2.5.4. Τεχνική επιτόπιας καύσης

Η επί τόπου καύση των πετρελαιοκηλίδων αποτελεί την πιο σύγχρονη μέθοδο αντιμετώπισης των εκτεταμένων κυρίως περιστατικών ρύπανσης. Σημαντικό στοιχείο για την επιτυχία της μεθόδου είναι η ύπαρξη πυρίμαχων φραγμάτων, ώστε να περιορίζεται η έκταση του ρυπαντή και να αυξάνεται το πάχος της κηλίδας, που δεν πρέπει να είναι μικρότερο από μερικά χιλιοστά. Παράλληλα, η μέθοδος είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική (έως και 99%) στην πρώτη φάση του ατυχήματος, προτού δηλαδή εξατμισθούν τα εύφλεκτα συστατικά του πετρελαίου ή εξελιχθεί το φαινόμενο της γήρανσης της κηλίδας.

Η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.20.



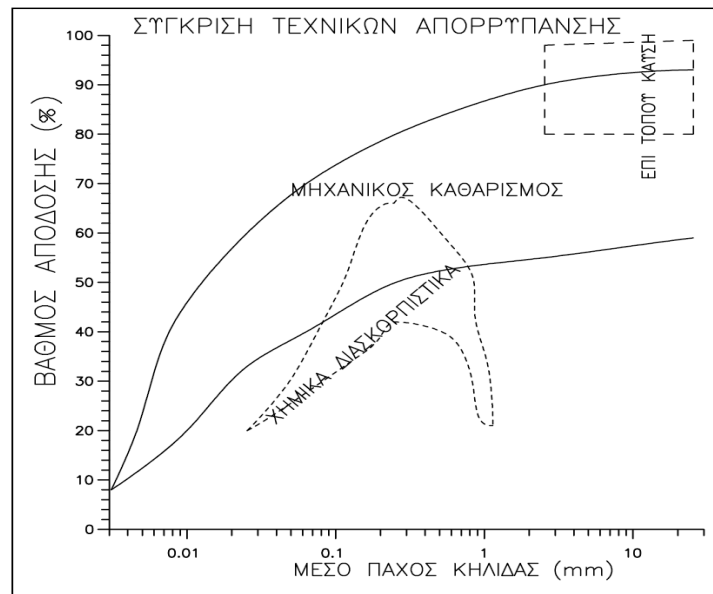
Εικόνα 2.20. Εφαρμογή τεχνικής επιτόπιας καύσης πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον (Καλογεράκης Ν., 2007).

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτικότητα της μεθόδου είναι οι καιρικές συνθήκες, καθώς οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και οι ισχυροί άνεμοι καθιστούν αδύνατη τη διαδικασία εξωτερικής ανάφλεξης. Αντίθετα, εάν η καύση αρχίσει, οι καιρικές συνθήκες δεν επηρεάζουν σημαντικά την εξέλιξή της. Τέλος, απαιτείται άριστος συντονισμός της με κατάλληλα εξοπλισμένα σκάφη, ενώ η καύση του πετρελαίου επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με αέριους ρυπαντές. Η όλη διαδικασία ολοκληρώνεται με τη μηχανική περισυλλογή των καταλοίπων της καύσης.

2.5.5. Σύγκριση τεχνικών

Η αποδοτικότητα των κυριότερων μεθόδων απορρύπανσης συναρτější του πάχους της πετρελαιοκηλίδας παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.2. Σε κάθε περίπτωση τα χημικά διασκορπιστικά εμφανίζουν τη χειρότερη αποδοτικότητα (<70%) σε αντίθεση με την επί τόπου καύση (>80%). Η απόδοση του μηχανικού καθαρισμού αυξάνεται με το πάχος της πετρελαιοκηλίδας, και παραμένει αξιόλογη για όλο το εύρος τιμών του πάχους μιας πετρελαιοκηλίδας.

Όπως είναι κατανοητό, η μέθοδος της μηχανικής περισυλλογής αποτελεί την πλέον περιβαλλοντικά φιλική μέθοδο, δεδομένου ότι είναι η μόνη μέθοδος η οποία δεν επιβαρύνει σημαντικά το περιβάλλον, ενώ απομακρύνει σημαντικές ποσότητες πετρελαιοειδών από τους θαλάσσιους αποδέκτες. Παρόλα αυτά το υψηλό κόστος της μεθόδου, η ποικιλία του απαιτούμενου εξοπλισμού αλλά και η ευαισθησία της στις υφιστάμενες καιρικές συνθήκες, εμποδίζουν την καθολική της χρήση.



Σχήμα 2.2. Σύγκριση αποδοτικότητας μεθόδων-τεχνικών απορρύπανσης (Καλδέλλης & Κονδύλη, 2005).

Αντίθετα, η μέθοδος των χημικών διασκορπιστικών επιβαρύνει σημαντικά το περιβάλλον, γιατί εκτός του ότι δεν εξαφανίζει πλήρως το πετρέλαιο από τα θαλάσσια οικοσυστήματα, η τοξικότητα (έστω και μικρή) των χρησιμοποιούμενων ουσιών, είναι σημαντική. Παρ' όλα αυτά η μέθοδος είναι σαφώς φθηνότερη του μηχανικού καθαρισμού, απαιτεί μικρότερο χρόνο εφαρμογής και το κυριότερο είναι αποδοτική ακόμα και υπό αντίξοες καιρικές συνθήκες.

Τέλος, η μέθοδος της επί τόπου καύσης έχει μεν υψηλό βαθμό απόδοσης, εάν χρησιμοποιηθεί έγκαιρα, εμφανίζει περιορισμένο κόστος, απαιτεί όμως αποδεκτές καιρικές συνθήκες και μεγάλο πάχος πετρελαιοκηλίδας, προϋπόθεση που απαιτεί έγκαιρη διάγνωση και άμεση εφαρμογή της μεθόδου υπό ελεγχόμενες καιρικές συνθήκες. Ταυτόχρονα βέβαια επιβαρύνει το περιβάλλον με την παραγωγή των καυσαερίων.

Στον Πίνακα 2.5 αναφέρονται συγκεντρωτικά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των κυριότερων μεθόδων αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδων. Σε κάθε περίπτωση, η αντιμετώπιση της θαλάσσιας ρύπανσης από πετρελαιοειδή επιβαρύνει το περιβάλλον τόσο από τη δράση του ίδιου του πετρελαίου όσο και από τα αποτελέσματα των μεθόδων απορρύπανσης. Τέλος, επικρατέστερη, με καθαρά περιβαλλοντικά κριτήρια, είναι η μέθοδος του μηχανικού καθαρισμού, η οποία όμως παρουσιάζει σημαντικούς περιορισμούς στην εφαρμοσιμότητά της.

Πίνακας 2.5. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τεχνικών απορρύπανσης θάλασσας από πετρελαιοειδή (Καλδέλλης & Κονδύλη, 2005).

Μέθοδος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<i>Μηχανικός διαχωρισμός</i>	✓ Περιβαλλοντικά φιλική ✓ Υψηλή απόδοση	✓ Υψηλό κόστος ✓ Σύνθετος εξοπλισμός ✓ Ευαισθησία στις καιρικές συνθήκες
<i>Χημικά διασκορπιστικά</i>	✓ Μικρός χρόνος εφαρμογής ✓ Περιορισμένο κόστος ✓ Αποδοτική και σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες	✓ Τοξικότητα των διασκορπιστικών ✓ Δεν εξαφανίζει πλήρως το πετρέλαιο
<i>Επιτόπια καύση</i>	✓ Υψηλός βαθμός απόδοσης ✓ Περιορισμένο κόστος	✓ Περιορισμένη εφαρμοσιμότητα (απαιτεί μεγάλο πάχος πετρελαιοκηλίδων και καλές καιρικές συνθήκες) ✓ Απαιτεί άμεση εφαρμογή ✓ Προκαλεί καυσαέρια (μη φιλική περιβαλλοντικά)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Πετρελαϊκοί και Οργανικοί Ρύποι στο θαλάσσιο περιβάλλον

3.1. Γενικά

Ρύποι θεωρούνται οι ουσίες εκείνες οι οποίες όταν απορρίπτονται στο θαλάσσιο περιβάλλον, μπορεί να προκαλέσουν σημαντική αλλοίωση των φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων που το χαρακτηρίζουν. Οι ρυπογόνες ουσίες που εισέρχονται στη θάλασσα είναι ανόργανες και οργανικές σε στερεά, υγρή ή αέρια μορφή και κατανέμονται στην επιφάνεια, στον κύριο όγκο του νερού και στον πυθμένα, ανάλογα με την προέλευσή τους, τον τρόπο μεταφοράς τους και την χημική τους σύσταση.

Σημαντικές ρυπογόνες οργανικές ουσίες περιέχονται όπως είναι γνωστό, στο πετρέλαιο, εκ των οποίων οι περισσότερες είναι τοξικές για τους θαλάσσιους οργανισμούς. Γενικά, διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες αυτών των ουσιών, οι οποίες είναι (**Σαχινίδης Σ., 2010**):

A. Μικρού μοριακού βάρους, όπου είναι πτητικές και συνεπώς έχουν μικρές επιπτώσεις στο περιβάλλον.

B. Μεσαίου μοριακού βάρους που παραμένουν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στο θαλάσσιο περιβάλλον και είναι κυρίως υπεύθυνες για την τοξικότητα του πετρελαίου.

Γ. Μεγάλου μοριακού βάρους (πίσσες) που είναι αδρανείς από χημική άποψη αλλά προκαλούν παρενέργειες στο οικοσύστημα (**Nelson, 1973**).

Τέλος, η τοξικότητα του πετρελαίου έχει μελετηθεί τόσο με εργαστηριακά πειράματα, όσο και με πειράματα στο πεδίο από τα πολυάριθμα ναυτικά ατυχήματα που έχουν συμβεί τα τελευταία χρόνια.

3.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη διαρροή πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον - Αναφορές σε ναυάγια

3.2.1. Οικοτοξικότητα – βιοσυσσώρευση

Η ρύπανση της θάλασσας αλλά και του εδάφους με πετρελαιοειδή έχει τεράστιες συνέπειες στο φυσικό περιβάλλον. Το πετρέλαιο είναι ελαφρύτερο από το νερό και γι' αυτό επιπλέει στην επιφάνειά του. Από τη στιγμή που το πετρέλαιο θα βρεθεί στη θάλασσα, αμέσως αρχίζει να κινείται, να διασπάται και να αλλάζει τις φυσικές και χημικές του ιδιότητες μέσω μιας σειράς διεργασιών που λαμβάνουν χώρα. Ορισμένες από αυτές τις διεργασίες συμβαίνουν αμέσως μετά τη διαρροή, ενώ άλλες επέρχονται με τον χρόνο. Αυτές αναφέρθηκαν αναλυτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο της μελέτης και περιλαμβάνουν την διάλυση, την καθίζηση, την μετακίνηση, την βιοαποικοδόμηση, την εξάτμιση, την γαλακτωματοποίηση και τη διασπορά.

Καθώς συμβαίνουν αυτές οι διαδικασίες, το πετρέλαιο απειλεί και μπορεί ακόμα να σκοτώσει επιφανειακούς αλλά και πολλούς υποβρύχιους θαλάσσιους οργανισμούς, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε πολύπλοκες τροφικές αλυσίδες, διαταράσσοντας έτσι τη δομή και λειτουργία των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Ορισμένοι οργανισμοί μπορεί να τραυματιστούν ή ακόμα και να θανατωθούν πολύ σύντομα μετά την επαφή τους με το πετρέλαιο μιας κηλίδας (**US Environmental Protection Agency, 2006**).

Είναι γεγονός ότι οι περισσότερες μελέτες μέχρι σήμερα, οι οποίες αναφέρονται στις επιπτώσεις των ναυαγίων στο θαλάσσιο οικοσύστημα, αναφέρονται σε ατυχήματα πετρελαιοφόρων πλοίων. Έτσι τα περισσότερα στοιχεία που υπάρχουν αφορούν την μέτρηση της βιοσυσσώρευσης πετρελαϊκών προϊόντων και παραπροϊόντων σε θαλάσσιους οργανισμούς, καθώς και τη χρονική εξέλιξη της βιωσιμότητας του πληθυσμού επιλεγμένων ειδών σε περιοχές κοντά σε ατυχήματα με πετρελαιοκηλίδες.

Για παράδειγμα οι **Banks et al. (2008)**, μελέτησαν την επίδραση της πετρελαιοκηλίδας που προκλήθηκε από το ναυάγιο του πετρελαιοφόρου *Sea Empress* στα ανοιχτά της Ουαλίας το 1996 στον πληθυσμό της μαυρόπαπιας (*Melanitta nigra*), και σύμφωνα με τα αποτελέσματα, οι 72000 τόνοι αργού πετρελαίου που διέρρευσαν

στη θαλάσσια περιοχή της Ουαλίας, μακροπρόθεσμα δεν επηρέασαν τον πληθυσμό της, παρά μόνο βραχυπρόθεσμα.

Το φαινόμενο της βιοσυσσώρευσης αποτελεί έναν πολύ σημαντικό παράγοντα, και η μέτρησή της σε θαλάσσιους οργανισμούς προσφέρει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος και την εξέλιξη της μόλυνσης.

Οι **Laffon et. al (2006)**, για να μετρήσουν την επίδραση της μόλυνσης από τη βύθιση του πετρελαιοφόρου **Prestige** στα ανοιχτά της ακτής της Γαλικίας στην Ισπανία το Νοέμβριο του 2002, χρησιμοποίησαν ως βιοδείκτη έκθεσης το περιεχόμενο σε Ολικούς Πολυκυκλικούς Αρωματικούς Υδρογονάνθρακες (Total Polycyclic Aromatic Hydrocarbons-TPAH) που μέτρησαν στους ιστούς των μυδιών (*Mytilus galloprovincialis*).

Τα μύδια έχουν χρησιμοποιηθεί σε αρκετές περιπτώσεις ως βιοδείκτης για τη μελέτη της επίδρασης ρύπανσης, όπως και στην περίπτωση της πετρελαιοκηλίδας του πλοίου *Sea Empress* στην Ουαλία το 1996 (**Dyrynda et. al 1997**). Οι λόγοι που κάνουν τα μύδια ιδιαίτερα κατάλληλο οργανισμό για τη μέτρηση και την παρακολούθηση της θαλάσσιας ρύπανσης, είναι ότι βρίσκονται σε αφθονία στην πλειοψηφία των θαλάσσιων οικοσυστημάτων και το σημαντικότερο ότι η διατροφική τους δραστηριότητα στηρίζεται στο φιλτράρισμα του νερού. Αυτό ευνοεί την βιοσυσσώρευση των μολυσματικών και ρυπογόνων παραγόντων.

Μελέτες που πραγματοποιήθηκαν από Ιταλούς ερευνητές (**D'Adamo et al., 1997**) σε εργαστηριακή κλίμακα σχετικά με την πρόσληψη και την βιοαποικοδόμηση πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων σε μια προσομοίωση διατροφικής αλυσίδας, που συνίστατο από μικροάλγη (*Dunalliella tertiolecta*), μύδια (*Mytilus galloprovincialis*) και ψάρια (*Dicentrarchus labrax*), έδειξαν ότι αντίθετα με τα μύδια που βιοσυσσωρεύουν σε μεγάλο βαθμό, τα ψάρια που μελετήθηκαν, διαθέτουν ένα ισχυρό σύστημα ενζυματικής προστασίας στο ήπαρ τους, το οποίο τα προστατεύει από τη βιοσυσσώρευση.

3.2.2. Επιπτώσεις – Τοξικότητα

Οι επιπτώσεις της ρύπανσης από πετρελαιοειδή στο θαλάσσιο περιβάλλον εξαρτώνται από την ποσότητα, τον τύπο και την συγκέντρωση των υδρογονανθράκων που έχει διαχυθεί, τον ρυθμό αποικοδόμησης των πετρελαιοειδών και τον χρόνο που έχει μεσολαβήσει ανάμεσα στην περίοδο του ατυχήματος (ναυαγίου) και την διεκπεραίωση της μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Οι επιπτώσεις μπορούν να συνοψιστούν στις εξής:

- Πιθανή ύπαρξη ανοξικών συνθηκών και συνεπώς πρόκληση ασφυξίας μέχρι θανάτου σε θαλάσσιους οργανισμούς.
- Παρεμπόδιση στην ανάπτυξη – αναπαραγωγή των θαλάσσιων οργανισμών και συνεπώς πρόωρος θάνατος.
- Διατάραξη της φυσιολογίας και της συμπεριφοράς των οργανισμών.
- Τοξικές επιδράσεις σε πλαγκτονικούς και βενθικούς οργανισμούς.
- Βιοσυσσώρευση κάποιων υδρογονανθράκων μέσω της τροφικής αλυσίδας.

Επίσης, τα υδατοδιαλυτά συστατικά του αργού πετρελαίου και των διωλυσμένων προϊόντων του, περιέχουν μια ποικιλία ενώσεων που είναι τοξικές για ένα ευρύ φάσμα θαλασσίων οργανισμών, όπως π.χ τα αυγά, οι προνύμφες των ψαριών και τα νεαρά άτομα τα οποία είναι γενικά πιο ευαίσθητα στη ρύπανση από πετρελαιοειδή.

Έχει υπολογισθεί ότι ακόμη και συγκεντρώσεις της τάξης του 1 $\mu\text{g/l}$ (1ppb) πετρελαίου στη θάλασσα μπορεί να βλάψει τους πιο ευαίσθητους οργανισμούς (UNEP, 1988). Ίχνη πετρελαίου στο νερό επηρεάζουν τη αναπαραγωγή των θαλασσίων οργανισμών, τη δυνατότητα προσανατολισμού τους και τους ρυθμούς αφομοίωσης της τροφής. Μόλις 0.2 $\mu\text{g/l}$ πετρελαίου στο θαλασσινό νερό μπορούν να επηρεάσουν την αναπαραγωγή ορισμένων αλγών (Steele, 1977). Μερικές από τις συνέπειες αυτές ενισχύονται από τη χαμηλή αλατότητα και τις υψηλές θερμοκρασίες, ενώ υπάρχει συνεργιστική δράση ανάμεσα στους αρωματικούς υδρογονάνθρακες και κάποιων μετάλλων (UNEP, 1988).

Σε συγκεντρώσεις 20-40 $\mu\text{g/l}$ το πετρέλαιο μπορεί να επιφέρει αλλαγές στη σύσταση του φυτοπλαγκτού, ευνοώντας πχ. τα μικρότερα είδη, ανατρέποντας κατ' αυτό τον τρόπο τις ισορροπίες ολόκληρης της τροφικής αλυσίδας (Lee, 1977). Συγκεντρώσεις της τάξης των 0.1 g/kg στα ιζήματα μπορούν να επιφέρουν δυσμενείς επιπτώσεις στους βενθικούς οργανισμούς (Elmgren & Frithsen, 1982).

Τα ελαφρύτερα κλάσματα του πετρελαίου, όπως η βενζίνη ή το ντίζελ, διαλύονται και εξατμίζονται γρήγορα αλλά είναι εξαιρετικά τοξικά και μπορούν να δημιουργήσουν σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αντίθετα, τα βαριά κλάσματα πετρελαίου δεν εξατμίζονται. Παρά το γεγονός ότι τα βαριά κλάσματα πετρελαίου είναι λιγότερο τοξικά από τα ελαφριά, μπορούν να βλάψουν τα υδρόβια πτηνά και θηλαστικά μέσω της δερματικής επαφής και της κατάποσης.

Επίσης, τα βαριά κλάσματα του πετρελαίου μπορούν να κατακαθίσουν στον βυθό, να δημιουργήσουν μόλυνση του θαλάσσιου βυθού και να δημιουργήσουν σφαίρες πίσσας που μπορεί να διασκορπιστούν κατά μήκος των παραλιών (**USA Government Accountability Office, 2007**).

Στον Πίνακα 3.1 περιγράφονται οι τύποι του πετρελαίου, οι συμπεριφορές που παρουσιάζουν στον θαλάσσιο περιβάλλον, καθώς και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσουν.

Πίνακας 3.1. Περιγραφή των τύπων του πετρελαίου και των αλληλεπιδράσεων που λαμβάνουν χώρα όταν τα εν λόγω είδη πετρελαίου απελευθερώνονται στο θαλάσσιο περιβάλλον (**U.S. Government Accountability Office, 2007**).

Τύπος Πετρελαίου	Απομάκρυνση και Συμπεριφορά	Περιβαλλοντική Επίπτωση
Πολύ ελαφριά κλάσματα (βενζίνη)	Εξαιρετικά ασταθή-πτητικά (εξατμίζει εντός 1-2 ημερών). Είναι εξαιρετικά σπάνια η δυνατότητα καθαρισμού του πετρελαίου από κηλίδες αυτού του είδους.	<i>Εξαιρετικά τοξικό:</i> Μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις σε οργανισμούς και προβλήματα στις ακτογραμμές.
Ελαφριά κλάσματα (ντίζελ, μαζούτ)	Μέτρια πτητικά (θα αφήσει υπόλειμμα μετά από μερικές ημέρες). Ο καθαρισμός μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματικός για αυτές τις πετρελαιοκηλίδες.	<i>Μέτρια τοξικό:</i> Έχει τη δυνατότητα δημιουργίας μακροπρόθεσμης μόλυνσης των ακτογραμμών.
Μέτρια κλάσματα (τα περισσότερα κλάσματα αργού πετρελαίου)	Λίγη ποσότητα (περίπου το ένα τρίτο) θα εξατμιστεί σε 24 ώρες. Ο καθαρισμός είναι αποτελεσματικός, ειδικά αν διεξαχθεί γρήγορα.	<i>Λιγότερο τοξικό:</i> η μόλυνση του πετρελαίου στις ακτογραμμές μπορεί να είναι σοβαρή και μακροχρόνια, και μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στα υδρόβια πτηνά και θηλαστικά.
Βαριά κλάσματα	Ελάχιστο πετρέλαιο θα εξατμιστεί. Ο καθαρισμός είναι δύσκολος.	<i>Λιγότερο τοξικό:</i> η μόλυνση των ακτογραμμών είναι πιθανή, με σοβαρές επιπτώσεις σε υδρόβια πτηνά και θηλαστικά μέσω της δερματικής επαφής και της κατάποσης.

3.2.2.1. Αμμώδεις ακτές

Το πετρέλαιο δεν αποκολλάται εύκολα από τις αμμώδεις ακτές. Όταν μάλιστα βρίσκεται ακόμα σε υγρή μορφή, τότε απορροφάται σε μεγαλύτερο βάθος. Εκεί, λόγω χαμηλότερης διαθεσιμότητας οξυγόνου, δεν ευνοείται η αποδόμηση του πετρελαίου, το οποίο διατηρεί έτσι τις τοξικές του ιδιότητες για μεγαλύτερο διάστημα (**Rostron, 1990**).

Στο ατύχημα του *Amoco Cadiz* έξω από τις ακτές της Βρετάνης τον Μάρτιο του 1978, κατά το οποίο διέρρευσαν 223000 τόνοι αργού πετρελαίου, ένα μεγάλο μέρος του πετρελαίου μεταφέρθηκε στις εκβολές των παρακείμενων ποταμών (**Gundlach et.al., 1983**). Πέρα από τις άμεσες επιπτώσεις στην πανίδα, οι χαμηλοί ρυθμοί αποδόμησης, που όπως αναφέρθηκε, καθιστούν το πετρέλαιο τοξικό για μεγαλύτερο διάστημα, εμπόδισαν την επανάκαμψη των οικοσυστημάτων της περιοχής. Επιπλέον, πετρέλαιο που προέρχονταν από τα ιζήματα συνέχιζε να ρυπαίνει την περιοχή και μακροπρόθεσμα (**Clark, 1986**).

Τα συστατικά του πετρελαίου μπορούν να παραμείνουν στα ιζήματα ακόμη και για δεκάδες ή εκατοντάδες χρόνια, αν βέβαια επικρατούν αναερόβιες συνθήκες (**Howarth & Marino, 1991**). Στην επόμενη Εικόνα 3.1, φαίνεται η ρύπανση που προκαλούν τα πετρελαιοειδή στις ακτές.



Εικόνα 3.1. Ρύπανση ακτών από πετρελαιοειδή (oil-evolution.blogspot.com).

3.2.2.2. Παράκτια βλάστηση

Το πετρέλαιο προσκολλάται στα παράκτια φυτά και δεν ξεπλένεται εύκολα με την παλίρροια. Τα φύλλα κιτρινίζουν και τελικά νεκρώνονται μετά από μερικές μέρες. Σε περίπτωση σοβαρής ρύπανσης τα φύλλα νεκρώνονται τελείως, διαφορετικά σε μικρής έκτασης μόλυνση, τα φύλλα ξαναβγαίνουν μετά από ένα διάστημα.

Τα πολυετή φυτά δείχνουν μια ποικιλία από αντιδράσεις, από ανθεκτικότητα μέχρι νέκρωση, ανάλογα με τις συνθήκες και τις ποσότητες του πετρελαίου. Κάποια φυτά εκδηλώνουν επίσης προβλήματα ανθοφορίας (**Rostron, 1990**).

Το πετρέλαιο επηρεάζει το έδαφος στις ακτές με δύο τρόπους:

1. Διαπερνά το χώμα και επηρεάζει το ριζικό σύστημα των φυτών, τους μικροβιακούς πληθυσμούς και τη διαθεσιμότητα του οξυγόνου.
2. Όταν επικαθίσει πετρέλαιο στους βλαστούς των φυτών επηρεάζεται η διάχυση του οξυγόνου προς το ριζικό σύστημα και εμποδίζεται έτσι η οξυγόνωση των ριζών και των μικροοργανισμών του εδάφους.

3.2.2.3. Πλαγκτόν

Το πλαγκτόν σαν μικροοργανισμός είναι ιδιαίτερα ευπαθές στις πετρελαιοκηλίδες και μια συνολική εκτίμηση των επιπτώσεων του πετρελαίου σε αυτό είναι συχνά δύσκολο να πραγματοποιηθεί λόγω κάποιων παραγόντων, όπως τη σύσταση του πετρελαίου, τα προϊόντα αποικοδόμησής του στο περιβάλλον, καθώς επίσης και από την ευαισθησία της κάθε πλαγκτονικής ομάδας.

Οι κυριότερες επιπτώσεις του πετρελαίου στους πλαγκτονικούς οργανισμούς συνοψίζονται στις εξής:

- Αλλαγή στη σύνθεση των ειδών που αποτελούν το πλαγκτόν. Συνεπώς αυτό μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση ή μείωση ενός ή περισσότερων ειδών. Επομένως, άμεση διαταραχή του οικοσυστήματος. Το ζωοπλαγκτόν καταναλώνει μικρά σταγονίδια πετρελαίου και μ' αυτόν τον τρόπο οι υδρογονάνθρακες περνούν σε υψηλότερα τροφικά επίπεδα.
- Σε υψηλές συγκεντρώσεις πετρελαιοειδών υπάρχει μία σταδιακή ελάττωση των ρυθμών της φωτοσύνθεσης και οι διατροφικές συνήθειες και λειτουργίες κάποιων οργανισμών μεταβάλλονται.
- Το πετρέλαιο δρα ως δηλητήριο για το πλαγκτόν, παρεμποδίζοντας την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό του και οδηγώντας έτσι στον πρόωρο θάνατο πολλών οργανισμών.

3.2.2.4. Επιπτώσεις σε άλλους θαλάσσιους οργανισμούς

Το πετρέλαιο επιπλέει στην επιφάνεια του νερού και έτσι αποκλείει τον αέρα και αρκετό φως που χρειάζεται η θάλασσα για να συντηρήσει τους οργανισμούς της. Διάφορα βακτήρια αρχίζουν τη διάσπασή του πετρελαίου, η οποία όμως είναι αργή, και μέχρι να πραγματοποιηθεί, πολλοί οργανισμοί εξασθενούν **(Βουτυράκης, 2005)**. Ένα άλλο μέρος του πετρελαίου πηγαίνει στο βυθό, όπου καταστρέφει τα φύκια που δίνουν τροφή και κάλυψη σε πολλούς οργανισμούς. Ένα παράδειγμα τέτοιας καταστροφής συνέβη στην Πύλο στις 23 Φεβρουαρίου του 1980. Το πετρελαιοφόρο Irene' s Serenade πήρε φωτιά στο λιμάνι και βυθίστηκε. Από τους 102600 τόνους πετρελαίου, 32000 ως 50000 τόνοι δεν κάηκαν και χύθηκαν στη θάλασσα. Πετρελαιοειδή πάχους 10 εκατοστών στο βυθό προκάλεσαν θάνατο σε φύκια. Η άλλοτε μοναδική για το υδρόβιο περιβάλλον της περιοχή, γνώρισε μια εποχή χωρίς ψάρια. Οι τεχνικές και γραφειοκρατικές δυσκολίες βράδυναν τον καθαρισμό, με αποτέλεσμα οι επιπτώσεις να είναι περισσότερες από τις αναμενόμενες, αλλά και κανένας καθαρισμός δεν μπορεί να είναι πλήρης **(Βουτυράκης, 2005)**.

Οι βιολόγοι υποστηρίζουν ότι το πετρέλαιο έχει μια ακόμη επίδραση στους θαλάσσιους οργανισμούς. Πολλά ψάρια έχουν εξαιρετικά ευαίσθητη όσφρηση που τα οδηγεί στην τροφή ή τα βοηθάει ν' αποφεύγουν εχθρούς. Η μυρωδιά του πετρελαίου παρεμβαίνει στην όσφρηση των ψαριών. Οι συνέπειες αυτής της παρέμβασης μπορεί να είναι καταστροφικές γι' αυτούς τους οργανισμούς.

Οι Ρώσικοι ποταμοί αδειάζουν κάθε χρόνο 100000 τόνους πετρέλαιο στη θάλασσα **(ΣΣΕ, 2007)**. Αυτή η ποσότητα υπερβαίνει την ικανότητα διάσπασης από βακτήρια. Στην Οδησό στα παράλια της Μαύρης θάλασσας, οι κέφαλοι πεθαίνουν από ρύπανση η οποία υφίσταται στο ένα δέκατο μόνο της επιτρεπομένης. Όσα μικρά ψάρια γεννηθούν, παρουσιάζουν βλάβες, όπως παραμορφωμένο σώμα και συχνά πεθαίνουν. Οι βόρειες ακτές της Σοβιετικής Ένωσης έχουν χαμηλές θερμοκρασίες. Σ' αυτές τις θερμοκρασίες το πετρέλαιο μένει στη θάλασσα για χρόνια.

Η έκθεση των θαλάσσιων οργανισμών σε πετρελαϊκούς υδρογονάνθρακες μπορεί να οδηγήσει σε θνησιμότητα λόγω της οξείας τοξικότητάς τους, ή λόγω δημιουργίας ανοξικών συνθηκών (ασφυξία). Επιπλέον, οι πιθανές μακροπρόθεσμες επιπτώσεις περιλαμβάνουν: διαταραγμένη επιβίωση ή αναπαραγωγή, χρόνια τοξικότητα και υποβάθμιση των οικοσυστημάτων **(Peterson & Bartels, 2002)**.

Το πετρέλαιο, ακόμη και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις, μπορεί να σκοτώσει τα ψάρια ή να προκαλέσει διάφορες θανατηφόρες χρόνιες επιπτώσεις, καθώς και σοβαρή βλάβη σε κοραλλιογενείς υφάλους.

Σύμφωνα με την **CELB (Center for Environmental Leadership in Business, 2003)**, κάθε τύπος πετρελαίου που παραμένει στην επιφάνεια της θάλασσας μπορεί να παρέμβει στην ανάπτυξη των προνυμφών και θαλάσσιων πτηνών. Τα βαριά κλάσματα πετρελαίου βυθίζονται συνήθως στον πυθμένα της θάλασσας και μολύνουν το ίζημα, προκαλώντας πιθανές μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στα βενθικά ενδιαίτηματα. Επίσης, η **CELB (2003)** υποστηρίζει ότι πετρέλαιο κίνησης ντίζελ είναι ιδιαίτερα τοξικό σε ψάρια, ασπόνδυλα και φύκια, παρά το γεγονός ότι το συγκεκριμένο καύσιμο διαλύεται αρκετά γρήγορα στο νερό. Τέλος, αναφέρεται ότι η διαρροή πετρελαίου μπορεί να είναι ιδιαίτερα τοξική για καβούρια και διάφορα άλλα οστρακοειδή σε αβαθή, διότι στους εν λόγω οργανισμούς το πετρέλαιο βιοσυσσωρεύεται συχνά σε διάστημα αρκετών εβδομάδων μετά την έκθεση.

3.2.2.5. Επιπτώσεις στα θαλασσινά πουλιά

Τα θαλασσινά πουλιά δε θα μπορούσαν να εξαιρούνται από αυτού του είδους την μόλυνση, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.2. Από τη στιγμή που ένα πουλί βουτήξει σε νερά με πετρέλαιο η πιθανότητα επιβίωσης του είναι σχεδόν μηδενική. Το δυστύχημα του Τόρρεν Κάνυον στοίχισε τη ζωή σε 100000 πουλιά (**Wikipedia**).



Εικόνα 3.2. Μολυσμένο πουλί από πετρελαιοειδή (**EPA**).

Σύμφωνα με την **Bluewater Network (2000)**, η κατάποση του πετρελαίου μπορεί να σκοτώσει πτηνά, να οδηγήσει σε λιμοκτονία, ή ακόμα να προκαλέσει ασθένειες. Μια канаδική μελέτη υπολόγισε ότι 300000 θαλασσοπούλια σκοτώνονται κάθε χρόνο στον Ατλαντικό Καναδά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.3, ως αποτέλεσμα των παράνομων απορρίψεων πετρελαίου από τα πλοία (**Wiese, 2002**).

Στην εν λόγω έκθεση, ο Wiese αναφέρει ότι η ανάλυση του πετρελαίου από φτερά των πτηνών στον Ατλαντικό Καναδά και τη Βόρεια Θάλασσα κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10 ετών, έδειξε ότι πάνω από το 90% του πετρελαίου που συλλέγεται αποτελείται από βαρύ μαζούτ αναμιγνυόμενο με λιπαντικό λάδι, τύπος που βρίσκεται σε υφαλοπόβλητα μεγάλων υπερατλαντικών σκαφών και κρουαζιερόπλοιων.



Εικόνα 3.3. Μολυσμένο πουλί από πετρελαιοειδή στις ακτές του Καναδά (www.windfarms.wordpress.com).

3.2.2.6. Κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία

Αν και οι άμεσες επιπτώσεις του πετρελαίου στις τροφικές αλυσίδες και δίκτυα θεωρούνται συχνά μικρής κλίμακας, δεν αποκλείονται μακροχρόνιες επιπτώσεις καθώς και φαινόμενα βιοσυσσώρευσης, κυρίως καρκινογόνων πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων.

Οι βενθικοί οργανισμοί που φιλτράρουν την τροφή τους (π.χ μύδια, στρείδια) συσσωρεύουν υδρογονάνθρακες με γοργούς ρυθμούς. Τα στρείδια αποκτούν δυσάρεστη γεύση όταν οι συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων φτάνουν τα 10 ppb. Για τα ψάρια και τα καρκινοειδή οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 4-300 ppm (**Rostron, 1990**). Τα θαλασσινά περιέχουν γενικά μικρές ποσότητες καρκινογόνων πολυκυκλικών υδρογονανθράκων (PAH). Η κατανάλωση θαλασσινών εκτιμάται ότι συνεισφέρει 2-3% της συνολικής κατανάλωσης PAH από τρόφιμα. Ακόμη κι αν οι συγκεντρώσεις αυτές των PAH δεν αποτελούν άμεσο κίνδυνο για τον άνθρωπο, οι καρκινογόνες αυτές ουσίες ευθύνονται για όγκους και απολεπίσεις ψαριών από περιοχές με χρόνια ρύπανση με πετρελαιοειδή και όγκους και προκαρκινικές καταστάσεις σε όστρακα αυτών των περιοχών (**Clark, 1986**).

3.2.3. Αναφορές σε ναυάγια-ατυχήματα

Γενικά

Τα ατυχήματα στη θάλασσα εκτός από ανθρώπινες απώλειες, προκαλούν περιβαλλοντικές και οικονομικές καταστροφές. Οι θαλάσσιες μεταφορές έχουν το δεύτερο υψηλότερο βαθμό κινδύνου μετά τις αεροπορικές μεταφορές. Σύμφωνα με τον Διεθνή Θαλάσσιο Οργανισμό (ΙΜΟ), προέκυψε ότι το 80% των ατυχημάτων οφείλεται στον ανθρώπινο παράγοντα.

Οι κυριότερες αιτίες των θαλασσιών ατυχημάτων μπορούν να συνοψισθούν στις εξής:

- Βλάβες συστημάτων πλοήγησης.
- Βλάβες εγκαταστάσεως πρόωσης.
- Ελλιπής συντήρηση μηχανολογικού εξοπλισμού.
- Ελλιπής συντήρηση μεταλλικής κατασκευής.
- Καιρικά φαινόμενα.
- Λανθασμένοι ανθρώπινοι χειρισμοί.
- Πυρκαγιές.
- Προσαράξεις.
- Συγκρούσεις.

Τα θαλάσσια ατυχήματα θεωρούνται σημαντικά, διότι εκτός από τις ανθρώπινες απώλειες που μπορεί να υπάρξουν σε κάποιες περιπτώσεις, συνήθως εμπεριέχουν και τραγικές, για το περιβάλλον και κατ'επέκταση για τον ίδιο τον άνθρωπο, συνέπειες λόγω της θαλάσσιας ρύπανσης. Με το όρο θαλάσσια ρύπανση χαρακτηρίζεται η άμεση ή έμμεση εισαγωγή διαφόρων ουσιών στο θαλάσσιο περιβάλλον από τον άνθρωπο, που μπορεί να έχουν επιζήμιες επιπτώσεις σε αυτό, όπως επιβάρυνση της θαλάσσιας χλωρίδας και πανίδας, μεγάλους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, παρεμπόδιση πολλών θαλάσσιων δραστηριοτήτων και μείωση του επιπέδου ποιότητας της χρήσης και του πλούτου των θαλάσσιων υδάτων. Από τις διάφορες πηγές θαλάσσιας ρύπανσης, τα ναυτιλιακά απόβλητα και η ρύπανση από θαλάσσια ατυχήματα κατέχουν το 12% (Ζέρβα Π., 2007).

Η έκχυση πετρελαίου στη θάλασσα είναι μία από τις χειρότερες μορφές ρύπανσης των θαλάσσιων υδάτων. Κάθε χρόνο εξορύσσονται 3 δισ. τόνοι αργού πετρελαίου και το μισό αυτής της ποσότητας μεταφέρεται διά θαλάσσης με αποτέλεσμα 3 περίπου εκατ. τόνοι να χύνονται στη θάλασσα.

Από την ποσότητα αυτή μόνο το 15% οφείλεται σε ατυχήματα δεξαμενοπλοίων. Στη Μεσόγειο υπολογίζεται ότι διακινούνται 360-370 εκατ. τόνοι πετρελαιοειδών κάθε χρόνο, κάτι που αντιπροσωπεύει το 20-25% της ετήσιας παγκόσμιας διακίνησης πετρελαιοειδών με πλοία (**Ζέρβα Π., 2007**). Γενικότερα το 30% του παγκόσμιου όγκου μεταφορών με πλοία κατευθύνεται σε Μεσογειακά λιμάνια ή διασχίζει τη Μεσόγειο. Οι μεγαλύτερες πετρελαιοκηλίδες που προκαλούνται από ατυχήματα των δεξαμενοπλοίων (tanker), αντιπροσωπεύουν περίπου το 3% του ολικού φορτίου.

Από επίσημα στοιχεία της **UNEP** για τη Μεσόγειο, εκτιμάται ότι περίπου 700,000 τόνοι πετρελαιοειδών απορρίπτονται ετησίως, εκ των οποίων ένα ποσοστό 10-20% καταλήγει στις ελληνικές θάλασσες, και κατά κύριο λόγο στο Αιγαίο. Πιο συγκεκριμένα, στον χώρο του Αιγαίου διακινούνται ετησίως 65,000,000 τόνοι πετρελαίου, κυρίως από την Μαύρη θάλασσα, οι οποίοι επιβαρύνουν σε ποσοστό 0.01-0.06 τα θαλάσσια οικοσυστήματα. Εκτός από αυτό βέβαια, το Αιγαίο επιβαρύνεται και από άλλους παράγοντες, όπως τις αστικές απορροές, τις βιομηχανικές δραστηριότητες και τις απορρίψεις πλοίων.

Σύμφωνα με πρόσφατες μετρήσεις διεθνών οργανισμών, οι συγκεντρώσεις πετρελαιοειδών σε ορισμένες ελληνικές θάλασσες κυμαίνονται από 5 έως 10 $\mu\text{g/l}$. Αξίζει να σημειωθεί εκ νέου ότι συγκεντρώσεις πετρελαιοειδών της τάξης του 0.2 $\mu\text{g/l}$ στη θάλασσα προκαλούν βλάβες στους ευαίσθητους οργανισμούς, ενώ συγκεντρώσεις της τάξης του 0.1 $\mu\text{g/l}$ καταστρέφουν βενθικούς οργανισμούς (**www.ikaros.teipir.gr**). Άρα, η ρύπανση από πετρελαιοειδή στις ελληνικές θάλασσες βρίσκεται σε οριακό σημείο, και ο κίνδυνος μόλυνσης των οικοσυστημάτων είναι υπαρκτός. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η κατανομή πετρελαιοκηλίδων στην Μεσόγειο το χρονικό διάστημα 1993-1995, παρατηρώντας ότι η Ελλάδα κατέχει την πρώτη θέση σε αριθμό πετρελαιοκηλίδων.



Διάγραμμα 3.1. Κατανομή πετρελαιοκηλίδων στην Μεσόγειο το χρονικό διάστημα 1993-1995 (www.ikaros.teipir.gr).

Όταν το πετρέλαιο διαρρεύσει στην θάλασσα, εξαπλώνεται πολύ γρήγορα με τη βοήθεια του ανέμου και των ρευμάτων. Ένα μόλις γαλόνι πετρελαίου μπορεί να δημιουργήσει πετρελαιοκηλίδα έκτασης μέχρι δύο στρεμμάτων (**Greenlivingtips**). Για παράδειγμα, η πετρελαιοκηλίδα της πετρελαϊκής εταιρείας BP (British Petrols) στον κόλπο του Μεξικού, είχε εξαπλωθεί σε έκταση 580 τετραγωνικών μιλίων σε τρεις μόλις μέρες.

Όταν το πετρέλαιο αναμιγνύεται με το νερό, τότε αλλάζει σύνθεση και γαλακτωματοποιείται, σχηματίζοντας μια κολλώδη ουσία που προσκολλάται ακόμα ευκολότερα σε ό, τι έρχεται σε επαφή μαζί της. Μερικές από τις πολλές συνέπειες που προκαλούνται στα ερχόμενα σε επαφή ζώα με το πετρέλαιο, περιλαμβάνουν:

- Υποθερμία και πνιγμό των πτηνών, καθώς το πετρέλαιο δυσκολεύει την λειτουργία των φτερών, προσκολλάται σε αυτά και εμποδίζει την ικανότητα των πουλιών να πετάξουν (**Greenlivingtips**).
- Τοξική δράση ορισμένων ενώσεων του πετρελαίου (π.χ. Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων). Οι τοξικές αυτές ουσίες συσσωρεύονται μέσω της τροφικής αλυσίδας σε ανώτερους ζωικούς οργανισμούς και στον άνθρωπο.
- Οστρακοειδή και κοράλλια κινδυνεύουν ιδιαίτερα σε περίπτωση επαφής τους με το πετρέλαιο, καθώς δεν μπορούν να ξεφύγουν από αυτό.
- Βλάβη στο αναπνευστικό σύστημα πουλιών και ζώων.
- Βλάβη στο ανοσοποιητικό και αναπαραγωγικό σύστημα των ζώων.
- Ζημιά σε θαλάσσια λιβάδια (φύκια, κοράλλια, θαλάσσια φυτά κτλ).
- Αισθητική ρύπανση, που προκαλείται από την απόθεση σφαιριδίων πίσσας στις ακτές.

Πραγματικά δεν υπάρχει πτυχή του θαλάσσιου και παράκτιου περιβάλλοντος που να μην επηρεάζεται αρνητικά από μια πετρελαιοκηλίδα. Όσο πιο κοντά στην ακτογραμμή παρουσιάζεται μία διαρροή, τόσο πιο έντονη είναι η ζημία, καθώς οι παράκτιες ζώνες συγκεντρώνουν περισσότερους διαφορετικούς πληθυσμούς, από ψάρια μέχρι πτηνά και ζώα.

Όσο αφορά τώρα τις μεγαλύτερες πετρελαιοκηλίδες παγκοσμίως, αυτές μπορούν να συνοψιστούν στις εξής (**Wikipedia**):

1. Περσικός Κόλπος - 23 Ιανουαρίου 1991 – διαρροή 1,500,000 τόνων.
2. Κόλπος του Μεξικού (BP) – 2010 – διαρροή περίπου 574,000 τόνων (εκτίμηση Αυγούστου).
3. Κόλπος του Μεξικού – 3 Ιουνίου 1979 – διαρροή 454,000 – 480,000 τόνων.
4. Τρινιντάντ και Τομπάγκο – 19 Ιουλίου 1979 – διαρροή 287,000 τόνων.
5. Ουζμπεκιστάν (Fergana Valley) – 2 Μαρτίου 1992 – διαρροή 285,000 τόνων.

Με βάση την βιβλιογραφία, υπήρξαν συνολικά 15 γνωστές θαλάσσιες πετρελαιοκηλίδες με διαρροή η κάθε μία μεγαλύτερη από 100,000 τόνους. Αναφορικά, ένας τόνος αργού πετρελαίου ισούται με 308 γαλόνια. Στο συμβάν του Περσικού Κόλπου, διέρρευσαν περίπου 462 εκατομμύρια βαρέλια, δηλαδή 20 φορές περισσότερο από ό, τι καταναλώνει η Ελλάδα σε μια μέρα (**Water Encyclopedia**).

Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι το ατύχημα του Exxon Valdez, προκάλεσε διαρροή ποσότητας πετρελαίου μικρότερης από 35,000 τόνους, όμως πριν από την μεγάλη καταστροφή στον Κόλπο του Μεξικού το 2010, αποτελούσε τη μεγαλύτερη πετρελαιοκηλίδα στην ιστορία των ΗΠΑ και συγχρόνως μία από τις μεγαλύτερες οικολογικές καταστροφές που έχει βιώσει η χώρα. Η συγκεκριμένη πετρελαιοκηλίδα σκότωσε εκατοντάδες χιλιάδες θαλασσοπούλια, χιλιάδες ενυδρίδες, εκατοντάδες φώκιες, και τέλος μεγάλο αριθμό φαλαινών και ψαριών (**Water Encyclopedia**). Οι διαρροές πετρελαίου δεν επηρεάζουν μόνο τη θαλάσσια ζωή, αλλά έχουν άμεση επίπτωση και στον άνθρωπο.

Στον Πίνακα 3.2 συνοψίζονται μερικά από τα κυριότερα θαλάσσια ατυχήματα διακίνησης πετρελαίου παγκοσμίως, από το 1967 μέχρι σήμερα (**International Tanker Owners Pollution Federation, ITOPF**).

Πίνακας 3.2. Τα κυριότερα θαλάσσια ατυχήματα διακίνησης πετρελαίου από το 1967 μέχρι σήμερα (**International Tanker Owners Pollution Federation, ITOPF**).

Κατάταξη	Ονομασία	Έτος	Τοποθεσία ατυχήματος	Μέγεθος πετρελ/δας (tonnes)
1	Atlantic Empress	1979	Off Tobago, West Indies	287,000
2	ABT Summer	1991	700 nautical miles off Angola	260,000
3	Castillo de Bellver	1983	Off Saldanha Bay, South Africa	252,000
4	Amoco Cadiz	1978	Off Brittany, France	223,000
5	Haven	1991	Genoa, Italy	144,000
6	Odyssey	1988	700 nautical miles off Nova Scotia, Canada	132,000
7	Torrey Canyon	1967	Scilly Isles, UK	119,000
8	Sea Star	1972	Gulf of Oman	115,000
9	Irenes Serenade	1980	Navarino Bay, Greece	100,000
10	Urquiola	1976	La Coruna, Spain	100,000
11	Hawaiian Patriot	1977	300 nautical miles off Honolulu	95,000
12	Independenta	1979	Bosphorus, Turkey	95,000
13	Jakob Maersk	1975	Oporto, Portugal	88,000
14	Braer	1993	Shetland Islands, UK	85,000
15	Khark 5	1989	120 nautical miles off Atlantic coast of Morocco	80,000
16	Aegean Sea	1992	La Coruna, Spain	74,000
17	Sea Empress	1996	Milford Haven, UK	72,000
18	Nova	1985	Off Kharg Island, Gulf of Iran	70,000
19	Katina P	1992	Off Maputo, Mozambique	66,700
20	Prestige	2002	Off Galicia, Spain	63,000
35	Exxon Valdez	1989	Prince William Sound, Alaska, USA	37,000

Στη συνέχεια, γίνεται εκτενέστερη αναφορά σε μερικά ναυτικά ατυχήματα ναυάγια που συνέβησαν παγκοσμίως, καθώς και στις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον (**IncidentNews**):

1. **Πλοίο «Erika»:** Το Δεκέμβριο του 1999, το συγκεκριμένο πλοίο (Εικόνα 3.4) ρυπαίνει με 20000 τόνους τις ακτές της Βρετάνης στην Βόρεια Γαλλία. Η κηλίδα πετρελαίου που δημιουργήθηκε, είχε έκταση 125m^2 . Το αποτέλεσμα ήταν η καταστροφή τετρακοσίων χιλιομέτρων ακτής.



Εικόνα 3.4. Το τάνκερ Erika καθώς βυθίζεται στις ακτές της Γαλλίας (www.france24.com).

2. **Πλοίο «Jessica»:** Τον Ιανουάριο του 2001, το συγκεκριμένο πλοίο ρυπαίνει τις ακτές των νησιών Γκαλαμπάγκος με 160,000 γαλόνια πετρελαίου diesel. Λόγω των δυσμενών καιρικών συνθηκών που επικρατούσαν στην περιοχή, η κηλίδα διασκορπίστηκε και ρύπανε τα γύρω νησιωτικά συμπλέγματα σε απόσταση 600 χλμ.
3. **Πλοίο «Prestige»:** Τον Νοέμβριο του 2002, το πλοίο «Prestige» (Εικόνα 3.5) ελληνικών συμφερόντων αλλά με Λιβεριανή σημαία, βυθίστηκε στον Ατλαντικό ωκεανό διασκορπίζοντας στο θαλάσσιο περιβάλλον 77,000 τόνους αργού πετρελαίου. Η ποσότητα αυτή επηρέασε τις ακτές της Γαλικίας προκαλώντας σημαντικές καταστροφές σε έκταση μεγαλύτερη των 100 χλμ.



Εικόνα 3.5. Το πλοίο Prestige (www.taringa.net).

Οι συνέπειες του ατυχήματος ήταν πολύ σοβαρές για την οικολογία της γύρω περιοχής, με άμεσες κοινωνικές και οικονομικές προεκτάσεις (Ζέρβα Π., 2007):

- Η συνολικού μήκους 200 χλμ. πετρελαιοκηλίδα απείλησε μια περιοχή μείζονος οικολογικής σημασίας και ιδιαίτερα σημαντικής ζώνης αλιείας.
 - Οι ισχυροί άνεμοι και τα θαλάσσια ρεύματα παρέσυραν την πετρελαιοκηλίδα προς το νεοσύστατο Εθνικό Θαλάσσιο Πάρκο των Ατλαντικών νήσων της Γαλικίας, το οποίο αποτελεί το σημαντικότερο Ισπανικό οικοσύστημα.
 - Οι Ισπανικές αρχές έχουν απαγορεύσει την αλιεία σε μήκος 100 χλμ γύρω από τη πόλη Λα Κορούνια, της οποίας ο τοπικός πληθυσμός συντηρείται από την αλιεία και τον τουρισμό. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υποστήριξε την άμεση αποζημίωση των ψαράδων από το Διαρθρωτικό Ταμείο για την Αλιεία, από άλλες ευρωπαϊκές καθώς και από εθνικές (ισπανικές) πηγές χρηματοδότησης.
 - Παρά την κινητοποίηση αρχών και εθελοντών, η πετρελαιοκηλίδα είχε ρυπάνει ήδη 200 χιλιόμετρα ακτής, με άμεσες επιπτώσεις όχι μόνο στο περιβάλλον αλλά και την τοπική οικονομία.
 - Στην περιοχή εμφανίστηκαν νεκρά ψάρια. Επίσης, εκατοντάδες θαλασσοπούλια, κορμοράνοι, κτλ, παγιδεύτηκαν στην πετρελαιοκηλίδα, ενώ περισσότερα από 160 από αυτά διασώθηκαν από διεθνείς οργανισμούς.
- 4. Δεξαμενόπλοιο «Aegean Sea»:** Στις 3/12/1992 το συγκεκριμένο ελληνικό δεξαμενόπλοιο προσέκρουσε σε βράχια λόγω δυσμενών καιρικών συνθηκών, επιχειρώντας να εισέλθει σε λιμάνι της Ισπανίας. Το αποτέλεσμα ήταν η διαρροή χιλιάδων τόνων αργού πετρελαίου, ενώ λίγο αργότερα ακολούθησαν εκρήξεις σχηματίζοντας ένα τοξικό σύννεφο καπνού πάνω από το λιμάνι της Λα Κορούνια. Οι πρώτες προσπάθειες απορρύπανσης έγιναν με τη χρήση χημικών διασκορπιστικών, χωρίς όμως ιδιαίτερα αποτελέσματα. Τα οικοσυστήματα της περιοχής επλήγησαν ανεπανόρθωτα και οι ζημιές στις ιχθυοκαλλιέργειες ήταν τεράστιες.
- 5. Πετρελαιοφόρο «Amoco Cadiz»:** Στις 16 Μαρτίου του 1978, προσάραξε στα ανοικτά των ακτών της Βρετάνης στην Γαλλία, αφού αντιμετώπισε θυελλώδεις καιρικές συνθήκες (Εικόνα 3.6). Το συνολικό του φορτίο ήταν 68,7 εκατομμύρια γαλόνια πετρελαίου, τα οποία διέρρευσαν στη θάλασσα, ρυπαίνοντας περίπου 200 μίλια ακτών της Βρετάνης.



Εικόνα 3.6. Το πλοίο Amoco Cadiz βυθίζεται σε ανοικτά της Βρετάνης (www.itopf.com).

Όσο αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του συγκεκριμένου ατυχήματος, υπήρξε φοβερή μείωση της παραγωγής των οστρακοειδών και των ψαριών, ο τουρισμός μειώθηκε κατά πολύ, και τέλος, επιχειρήσεις που είχαν άμεση σχέση με τον τουρισμό και την αλιεία είχαν πτώση.

6. Πλοίο «Megaborg»: Στις 8 Ιουνίου του 1990 το συγκεκριμένο πλοίο (Εικόνα 3.7) απελευθέρωσε 5,1 εκατομμύρια γαλόνια πετρελαίου στη θάλασσα, καθώς προκλήθηκε βραχυκύκλωμα και έπιασε φωτιά. Το περιστατικό συνέβη 60 ναυτικά μίλια νότια-νοτιοανατολικά του Galveston, στην πόλη του Τέξας.



Εικόνα 3.8. Το πλοίο Megaborg (www.oceanlink.com).

7. Ατυχήματα στον Αραβικό Κόλπο: Κατά τη διάρκεια του Πολέμου του Κόλπου το 1991, καταστράφηκαν πολλά δεξαμενόπλοια στο Κουβέιτ, προκαλώντας την απελευθέρωση περίπου 6-8 εκατομμυρίων βαρελιών (252-336,000,000 γαλόνια) πετρελαίου στη θάλασσα του Περσικού Κόλπου. Πολλές πετρελαιοπηγές στο Κουβέιτ καταστράφηκαν, με αποτέλεσμα την απελευθέρωση ακόμα μεγαλύτερων ποσοτήτων πετρελαίου και προϊόντων καύσης του, στο έδαφος, στον αέρα και στα νερά του Κουβέιτ.

8. **Πλοίο «Argo Merchant»:** Προσάραξε στις 15 Δεκεμβρίου του 1976 λόγω ισχυρών ανέμων, 29 ναυτικά μίλια νοτιοανατολικά του νησιού Nantucket, στη Μασαχουσέτη (Εικόνα 3.9). Έξι μέρες αργότερα, το σκάφος διαλύθηκε και διέφυγε όλο το φορτίο του, περίπου 7,7 εκατομμύρια γαλόνια μαζούτ (fuel oil No.6).



Εικόνα 3.9. Το πλοίο Argo Merchant καθώς βυθίζεται (**Water Encyclopedia**).

9. **Δεξαμενόπλοιο «Exxon Valdez»:** Στις 24 Μαρτίου 1989, το δεξαμενόπλοιο (Εικόνα 3.10) προσάραξε σε ύφαλο στο Prince William Sound της Αλάσκας. Υπολογίζεται ότι η διαρροή ανέρχεται στα 260,000 – 750,000 βαρέλια (41,000 – 119,000 m³) πετρελαίου, μολύνοντας πάνω από 1100 μίλια ακτογραμμής της Αλάσκας. Θεωρείται ως μία από τις μεγαλύτερες καταστροφές που έχει προκαλέσει ο άνθρωπος στο περιβάλλον. Ακόμα και σήμερα, ομοσπονδίες που ασχολούνται με την προστασία του περιβάλλοντος, συνεχίζουν να παρακολουθούν τις συνέπειες αυτής της διαρροής, η οποία ήταν η μεγαλύτερη στην ιστορία των ΗΠΑ.



Εικόνα 3.10. Το πλοίο Exxon Valdez (www.maritimequest.com).

10. Μονάδα άντλησης πετρελαίου Ixtoc I: Στις 3 Ιουνίου του 1979 στον κόλπο του Μεξικού (Εικόνα 3.11), η συγκεκριμένη μονάδα ανατινάχθηκε, με αποτέλεσμα την έκχυση περίπου 140 εκατομμύριων γαλονιών πετρελαίου στην θάλασσα του κόλπου. Η ποσότητα αυτή εκτιμάται ότι είχε διαχυθεί στη θάλασσα μέχρι την στιγμή που η διαρροή τέθηκε υπό έλεγχο το 1980. Τα κρουστικά κύματα που προκλήθηκαν από την έκρηξη συνέβαλλαν στο θάνατο πολλών ψαριών, παρόλ'αυτά δεν παρατηρήθηκε ρύπανση στην ακτογραμμή κατά την τελευταία έρευνα στην περιοχή στις 22 Οκτωβρίου του 1980 (USCG).



Εικόνα 3.11. Η πετρελαιοκηλίδα της Ixtoc I (Water Encyclopedia).

Ναυτικά ατυχήματα στον ελλαδικό χώρο

- 1. Δεξαμενόπλοιο «Μεσογειακή Φροντίς»:** Στις 2/3/1979 το συγκεκριμένο πλοίο προσέκρουσε στον νησάκι Αγ. Παύλος ανοικτά του νομού Ηρακλείου με αποτέλεσμα να διαρρεύσουν μέσα σε 8 ώρες 16,000 τόνοι πετρελαίου. Αυτή η ποσότητα εξαπλώθηκε στις νότιες ακτές της Κρήτης σε μήκος 7 μιλίων. Η συγκεκριμένη μόλυνση αντιμετωπίστηκε με την χρήση χημικών διασκορπιστικών στην επιφάνεια της πετρελαιοκηλίδας.
- 2. Δεξαμενόπλοιο «ILIAD» 1993 και δεξαμενόπλοιο «Irenes Serenade» 1980:** Το πρώτο δεξαμενόπλοιο βυθίστηκε ανατολικά της Πύλου προσκρούοντας σε ύφαλο και απελευθέρωσε στην θαλάσσια περιοχή 82000 τόνους πετρελαίου σχηματίζοντας μια τεράστια κηλίδα. Η ειρωνεία είναι ότι πριν 13 χρόνια βυθίστηκε στο ίδιο ακριβώς σημείο τον δεύτερο δεξαμενόπλοιο «Irenes Serenade», απελευθερώνοντας τότε 40,000 τόνους πετρελαίου. Οι επιπτώσεις του πρώτου ατυχήματος ήταν μεγάλες, καθώς χιλιάδες ψάρια βρέθηκαν νεκρά και προκλήθηκαν τεράστιες οικονομικές καταστροφές στις ιχθυοκαλλιέργειες των κατοίκων του νησιού. Η αλιεία στην περιοχή σταμάτησε για μεγάλο χρονικό διάστημα, ενώ αυτό επηρέασε την τουριστική κίνηση.

3.3. Περιβαλλοντικό προφίλ σημαντικών Πετρελαϊκών και Οργανικών ρύπων – μικροσκοπική εξέταση

3.3.1. Ολικοί Πετρελαϊκοί Υδρογονάνθρακες (TPHs) στο θαλάσσιο περιβάλλον

3.3.1.1. Τι είναι οι Ολικοί Πετρελαϊκοί Υδρογονάνθρακες (TPHs)

Οι **Ολικοί Πετρελαϊκοί Υδρογονάνθρακες (TPHs)** είναι ένα μίγμα χημικών ουσιών, οι οποίες αποτελούνται κατά κύριο λόγο από υδρογόνο και άνθρακα. Ο συγκεκριμένος όρος χρησιμοποιείται επίσης, για να υποδηλώσει μια μεγάλη οικογένεια από αρκετές εκατοντάδες χημικές ενώσεις που αρχικά προέρχονται από το αργό πετρέλαιο (**Wikipedia**). Το αργό πετρέλαιο (crude oil) χρησιμοποιείται για την παρασκευή προϊόντων πετρελαίου που μπορούν να μολύνουν το περιβάλλον. Επειδή υπάρχουν τόσες πολλές διαφορετικές χημικές ουσίες στο αργό πετρέλαιο και σε άλλα προϊόντα του, δεν είναι πρακτικό να μετρηθεί ο κάθε υδρογονάνθρακας χωριστά. Ωστόσο, είναι χρήσιμο να μετρηθεί το συνολικό ποσό των TPHs σε ένα δείγμα. Μερικές χημικές ουσίες που ανήκουν στους TPHs είναι το εξάνιο, τα ορυκτέλαια, το βενζόλιο, το τολουόλιο, η ναφθαλίνη, το φλουορένιο, καθώς και άλλα πετρελαϊκά προϊόντα και συστατικά της βενζίνης.

Οι Πετρελαϊκοί Υδρογονάνθρακες που εισέρχονται στο θαλάσσιο περιβάλλον, προέρχονται από διάφορες πηγές: ορυκτά καύσιμα, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα, αστικές απορροές, ατυχήματα διαρροών πετρελαίου, παράνομες απορρίψεις και ναυτιλία (**Pikkarainen A.L., et. al., 2005**). Πιο συγκεκριμένα, οι απορρίψεις πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον οι οποίες γίνονται είτε εκ προθέσεως είτε προκύπτουν από κάποιο ναυτικό ατύχημα, αποτελούν την μεγαλύτερη απειλή για τα θαλάσσια οικοσυστήματα.

3.3.1.2. Τοξικότητα των Ολικών Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων (TPHs)

Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με τη χημεία και την τοξικολογία των πετρελαϊκών υδρογονανθράκων, έχουν γίνει οι ακόλουθες γενικεύσεις:

- τα πετρελαϊκά καύσιμα αποτελούνται κυρίως από αλειφατικές και αρωματικές ενώσεις υδρογονανθράκων (αρωματικοί και αλειφατικοί υδρογονάνθρακες).

- οι πετρελαϊκοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (**PAHs**, Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες) είναι πιο τοξικοί από τους αλειφατικούς (**RISC Technical Guide, 2006**).

Επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον – οργανισμούς

Όταν μία ποσότητα πετρελαίου χυθεί στη θάλασσα, σχηματίζεται μία κηλίδα που ανάλογα με την πυκνότητα του πετρελαίου, την επικρατούσα θερμοκρασία και κυματισμό απλώνεται σε μεγάλη έκταση με ταχύτητα αντιστρόφως ανάλογη του ιξώδους του. Όταν η κηλίδα έρθει σε επαφή με το νερό κάτω από την επίδραση του φωτός, της θερμότητας, του οξυγόνου και της μηχανικής δράσεως των κυμάτων συμβαίνουν τα εξής:

Πρώτα τα πολύ πτητικά κλάσματα με μοριακά βάρη μέχρι **C-12** (12 μόρια άνθρακα) εξατμίζονται σχετικά γρήγορα και με την βοήθεια των θαλάσσιων ανέμων μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ ένα ποσοστό τους εισέρχεται και πάλι στη θάλασσα με μορφή λεπτών σταγονιδίων με τις υγρές ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις ή όντας προσροφημένο σε σωματίδια (**Σκούλλος Μ.Ι., 2009**). Η παραπάνω διεργασία θεωρείται αρκετά σημαντική, καθώς στα περισσότερα πετρέλαια τουλάχιστον το 40% των συστατικών τους κυμαίνονται στην περιοχή **C-4** έως **C-12**. Άλλωστε τα ελαφρά κλάσματα είναι και σχετικά διαλυτά στο νερό, ενώ όσο αυξάνεται το μοριακό τους βάρος, τόσο η διαλυτότητά τους ελαττώνεται.

Υπάρχει εκτενής βιβλιογραφία για τις επιδράσεις των πετρελαιοειδών στους διάφορους υδρόβιους, ιδιαίτερα θαλάσσιους, οργανισμούς. Ασφαλώς υπάρχει μεγάλη διαφορά ανάμεσα στο είδος του πετρελαίου και του αντίστοιχου οργανισμού, της ηλικίας του δεύτερου, της επικρατούσας θερμοκρασίας και κυκλοφορίας του νερού, της οξύτητας (pH), της θολρότητας των υδάτων, της αλατότητας, της παρουσίας θρεπτικών συστατικών ή και άλλων ουσιών όπως φαινολών, απορρυπαντικών και διασκορπιστικών (**Σκούλλος Μ.Ι., 2009**).

Για την επίδραση των πετρελαϊκών υδρογονανθράκων στο φυτοπλαγκτόν, δεν υπάρχει σαφή εικόνα. Γενικά θεωρείται ότι τα φύκη μπορούν να αντέξουν σε παροδική και όχι κατ' εξακολούθηση ρύπανση αρκετά ικανοποιητικά. Το ίδιο υποστηρίζεται και για τα πελαγικά ψάρια, αν και τα ελαφρά κλάσματα πετρελαίου είναι τοξικά για αυτά, ενώ το λεπτά διασκορπισμένο πετρέλαιο τους προκαλεί σοβαρές βλάβες στο στομάχι (**Neff M.J., 2002**).

Εκτός από το πεπτικό σύστημα, τα πετρελαιοειδή εισέρχονται στον οργανισμό των ψαριών και με διαπήδηση μέσα από τις διάφορες μεμβράνες. Στους μηχανισμούς αυτούς οφείλεται η πρόσληψη χαρακτηριστικής οσμής από ψάρια που ζουν σε ρυπασμένα νερά. Φυσικά, τα ψάρια αυτά είναι ακατάλληλα για κατανάλωση. Σημαντική είναι η φθορά (ασφυξία, τοξική δράση) που επιφέρουν οι υδρογονάνθρακες στα αυγά των ψαριών, ενώ μερικά από τα οστρακόδερμα και τα μαλάκια, ιδιαίτερα αυτά που τρέφονται με μηχανισμούς διήθησης ή από τα ιζήματα, συγκεντρώνουν σημαντικά ποσά πετρελαιοειδών στον οργανισμό τους. Σαν αποτέλεσμα, πεθαίνουν συχνά από τα τοξικά συστατικά, ή παρεμποδίζονται στην κινητικότητα ή στα ανακλαστικά τους και πεθαίνουν από ασφυξία ή άλλη αιτία. Αν τέτοιοι οργανισμοί (π.χ. μύδια, στρείδια κλπ) τοποθετηθούν εγκαίρως σε καθαρό νερό, αποβάλλουν σχετικά γρήγορα τις μεγάλες συγκεντρώσεις (π.χ. σε 24 ώρες το 90% των κανονικών αλκανίων), κατακρατούν όμως για σχετικά μεγάλο διάστημα τα αρωματικά συστατικά (Σκούλλος Μ.Ι., 2009).

Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται τιμές συγκεντρώσεων TPHs που έχουν μετρηθεί σε οργανισμούς διάφορων θαλασσών ανά τον κόσμο.

Πίνακας 3.3. Συγκεντρώσεις πετρελαϊκών υδρογονανθράκων που έχουν μετρηθεί σε διάφορους οργανισμούς (U.S. EPA).

Περιοχή	Συγκέντρωση	Μέσος αριθμός C αλύσου(*)
Πλαγκτόν: ακτή Louisiana	100 ppm (v.β)	nC ₁₆ – nC ₃₆
Σεσπόν: ανοικτή θάλασσα, Β.Ατλαντικός (2 δείγματα)	0,3-20ppm (v.β)	nC ₁₆ – nC ₂₈
Ν.Ατλαντικός (1 δείγμα)	1-34 ppm (v.β)	nC ₁₆ – nC ₂₈
Φωτά και Ζώα: από την Sargasso Sea	5,19 ppm (v.β)	
συκώτι-ψαριών, Υφαλοκριπίδια Νέα Αγγλίας		
Θαλάσσιο Νερό	0,63 µg l ⁻¹	nC ₁₆ – nC ₃₄
Ακτή Louisiana (1 δείγμα)		
Κόλπος Μεξικού (2 δείγματα)	0,03-30 µg l ⁻¹	nC ₁ – nC ₃

(*Περιοχή ζέσεως που αντιστοιχεί στους αλειφατικούς υδρογονάνθρακες)

(v.β.) = νωπό βάρος

Οργανισμοί με αρκετά μεγάλη ευαισθησία στους υδρογονάνθρακες είναι τα εχινόδερμα και οι αστακοί, όπου οι δεύτεροι είναι γνωστό ότι πεθαίνουν σε συγκεντρώσεις 2-30 ppm, ενώ εμφανίζουν ήδη σημαντικά συμπτώματα σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 0,9 ppm (**U.S. EPA**). Ευαίσθητα στο πετρέλαιο είναι ακόμη τα διάφορα κοράλλια τα όποια προσφέρουν φυσική προστασία σε πλήθος θαλάσσιων οργανισμών, αλλά και από γεωλογική άποψη είναι σημαντικά ιδιαίτερα σε μερικές περιοχές του πλανήτη. Ο θάνατός τους προκαλεί διάβρωση των ακτών, απώλεια της οικολογικής ισορροπίας λόγω καταστροφής των φωλιών θαλάσσιων οργανισμών και ανάπτυξη στη θέση τους φυκιών και ασταθών πυθμένων.

3.3.1.3. Συγκεντρώσεις - επίπεδα των Ολικών Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων (TPHs) στο θαλάσσιο περιβάλλον

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, έχει διαπιστωθεί ότι η μεγαλύτερη έρευνα που έχει γίνει σχετικά με τα επίπεδα πετρελαϊκών υδρογονανθράκων στο θαλάσσιο περιβάλλον, αφορά κυρίως τους Πολυκυκλικούς Αρωματικούς Υδρογονάνθρακες (PAHs), λόγω της οξείας τοξικότητας και των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων τους. Όσο αφορά τις συγκεντρώσεις Ολικών Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων που έχουν μετρηθεί στο θαλάσσιο περιβάλλον, ακολουθούν μερικά αξιοσημείωτα παραδείγματα από έρευνες που έχουν γίνει στον ελληνικό χώρο και στο εξωτερικό.

Τον Ιούλιο του 1997 και στα πλαίσια του προγράμματος «ΤΑΛΩΣ» το οποίο υποστηριζόταν από το Υπουργείο Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία θαλασσινού νερού στο Κρητικό πέλαγος με σκοπό την ανάλυση πετρελαϊκών υδρογονανθράκων. Η μελέτη αυτή επέτρεψε μια πρώτη αξιολόγηση της κατάστασης της θαλάσσιας ρύπανσης της συγκεκριμένης περιοχής. Οι τιμές των πετρελαϊκών υδρογονανθράκων που μετρήθηκαν στην κρητική θάλασσα, έδειξαν μία μέση συγκέντρωση 0.145 µg/l (**Kornilios S., et.al., 1998**).

Μία άλλη έρευνα έχει πραγματοποιηθεί στα παράκτια ύδατα και ιζήματα των Ηνωμένων Αραβικών Εμιράτων, στον Περσικό Κόλπο. Η συγκεκριμένη περιοχή χαρακτηρίζεται αρκετά επιβαρυνμένη με υδρογονάνθρακες λόγω της έντονης διακίνησης πετρελαίου και των ναυτικών ατυχημάτων που έχουν συμβεί κατά καιρούς στη συγκεκριμένη περιοχή. Για τα επιφανειακά δείγματα θαλασσινού νερού, οι συγκεντρώσεις των πετρελαϊκών υδρογονανθράκων που μετρήθηκαν στη θαλάσσια στήλη, κυμάνθηκαν από 1.6 έως 13 µg/l, ενώ για τα ιζήματα από 2.5 έως

8.2 $\mu\text{g}/\text{gr}$ (ξηρό βάρος ιζήματος) (Shriadah M.A, 1999). Σύμφωνα με την μελέτη, εκτιμήθηκε ότι οι συγκεκριμένες συγκεντρώσεις στα νερά και στα ιζήματα της περιοχής δεν θεωρούνται υψηλές σε σχέση με άλλες περιοχές του κόσμου.

Τέλος, σε μία ακόμη έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Βαλτική θάλασσα το χρονικό διάστημα 1992 - 2003, μετρήθηκαν συγκεντρώσεις πετρελαϊκών υδρογονανθράκων από 0.13 έως 1.8 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Pikkarainen A.L., et. al., 2005). Αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη θαλάσσια περιοχή χαρακτηρίζεται από ποικίλες πηγές πετρελαϊκής ρύπανσης, καθώς επικρατεί έντονη ναυτιλιακή κίνηση μεταφοράς πετρελαίου αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο ύπαρξης πετρελαιοκηλίδων.

3.3.1.4. Βιοσυσσώρευση των Ολικών Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων (TPHs) στους θαλάσσιους οργανισμούς

Ένα σημαντικό κριτήριο για την οικοτοξικολογική αξιολόγηση των πετρελαϊκών υδρογονανθράκων είναι η ενδεχόμενη βιοσυσσώρευσή τους στους θαλάσσιους οργανισμούς. Οι λιπόφιλοι υδρογονάνθρακες αποτίθενται κυρίως στο λιπαρό ιστό, όπου η αποθήκευση και η βιοσυσσώρευση εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες όπως το είδος και την ηλικία του οργανισμού, τη δίαιτα, την θερμοκρασία κτλ (Miller M.J., 1982).

Βιοδιαθεσιμότητα – βιοσυσσώρευση - μεταβολισμός

Γενικά, η βιοσυσσώρευση (bioaccumulation) αναφέρεται σε ένα γενικό όρο που περιγράφει το καθαρό ποσό πρόσληψης των διαφόρων χημικών ουσιών από το περιβάλλον μέσο, μέσω μιας ή/και όλων των δυνατών διαδρομών (αναπνευστική, πεπτική, δερματική οδός), από οποιαδήποτε πηγή του περιβάλλοντος μέσου (πχ νερό, διαλυμένος, κολλοειδής ή μοριακός οργανικός άνθρακας, ίζημα, άλλοι οργανισμοί) όπου οι χημικές ουσίες είναι παρούσες (Βασσάλου, 2007). Στην πραγματικότητα αποτελεί το καθαρό ποσό κατακράτησης των βιοδιαθέσιμων μορφών μιας χημικής ουσίας που προκύπτει από τη δράση των μηχανισμών πρόσληψης, κατανομής στους διάφορους ιστούς και απέκκρισης-απενεργοποίησης (Neff, 2002). Για να λάβει χώρα το φαινόμενο της βιοσυσσώρευσης στους διάφορους οργανισμούς, απαραίτητη προϋπόθεση φυσικά, είναι ο ρυθμός της πρόσληψης από κάθε πιθανή πηγή να είναι υψηλότερος από το ρυθμό απόρριψης της χημικής ουσίας από τους ιστούς.

Η έννοια της βιοδιαθεσιμότητας είναι εξαιρετικά σημαντική για την κατανόηση και την περιγραφή της περιβαλλοντικής τύχης και των βιολογικών επιδράσεων του πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον. Στην τοξικολογία που αφορά τα υδάτινα οικοσυστήματα, η βιοδιαθεσιμότητα συνήθως ορίζεται ως ο βαθμός στον οποίο μια χημική ουσία μπορεί να απορροφηθεί από έναν ζωντανό οργανισμό, μέσω ενεργών (βιολογικών) ή παθητικών (φυσικών ή χημικών) διεργασιών. Μια χημική ουσία είναι βιοδιαθέσιμη αν είναι σε μορφή που μπορεί να διαπεράσει την επίστρωση της επιφάνειας (π.χ., δέρμα, επιθήλιο, κυτταρική μεμβράνη) του υδρόβιου οργανισμού (**Kleinow et al., 1999**).

Η συσσώρευση των πετρελαϊκών υδρογονανθράκων από θαλάσσιους οργανισμούς εξαρτάται από τη βιολογική διαθεσιμότητα των υδρογονανθράκων, την διάρκεια της έκθεσης των οργανισμών σε αυτούς, καθώς και την μεταβολική ικανότητα του οργανισμού.

Υπάρχουν δύο πτυχές της βιοδιαθεσιμότητας των πετρελαϊκών υδρογονανθράκων, οι οποίες είναι σημαντικές για την κατανόηση της συμπεριφοράς του πετρελαίου στο περιβάλλον: η περιβαλλοντική διαθεσιμότητα και η βιολογική διαθεσιμότητα. Η περιβαλλοντική διαθεσιμότητα είναι η φυσική και χημική μορφή της ουσίας στο περιβάλλον και η προσβασιμότητά της στους βιολογικούς υποδοχείς. Γενικά, οι χημικές ουσίες σε καθαρό υδατικό διάλυμα σε θερμοκρασία νερού θεωρούνται περισσότερο βιοδιαθέσιμες από χημικές ουσίες σε στερεές ή προσροφημένες μορφές. Οι πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες στο θαλάσσιο περιβάλλον μπορεί να βρεθούν σε διαλυμένη μορφή, σε μορφή συμπλόκου με διαλυμένη οργανική ύλη, προσροφημένοι στην επιφάνεια οργανικών ή ανόργανων σωματιδίων (π.χ., στην αιθάλη, άνθρακα και πίσσα) που συνδέονται με σταγονίδια του πετρελαίου, και τέλος στους ιστούς των θαλάσσιων οργανισμών (**Readman, 1984 - Gschwend & Schwarzenbach, 1992**).

Οι διαλυμένοι υδρογονάνθρακες είναι οι πιο βιοδιαθέσιμοι στους ιστούς των θαλάσσιων οργανισμών. Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες που βρίσκονται σε σωματιδιακή μορφή, έχουν χαμηλότερη βιοδιαθεσιμότητα (**Farrington, 1986 - Gustafsson et al., 1997 - Baumard et al., 1999**). Η βιοδιαθεσιμότητα των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων από τα ιζήματα και τα τρόφιμα είναι μικρότερη από αυτήν της θαλάσσιας στήλης (**Pruell et al., 1987**).

Μία άλλη σκοπιά της περιβαλλοντικής διαθεσιμότητας είναι η δυνατότητα πρόσβασης. Οι υδρογονάνθρακες πετρελαίου που εναποτίθενται βαθιά στα ιζήματα ή μένουν στο έδαφος, όπως για παράδειγμα τα ξεπερασμένα κοιτάσματα πετρελαίου, δεν είναι προσιτοί στους θαλάσσιους και επίγειους οργανισμούς, επομένως έχουν χαμηλή βιολογική διαθεσιμότητα. Η βιολογική διαθεσιμότητα εξαρτάται από το ποσοστό στο οποίο μια χημική ουσία αφομοιώνεται στους ιστούς του οργανισμού και συσσωρεύεται στα μέρη της τοξικής δράσης στον οργανισμό. Αυτό εξαρτάται από τις φυσικές/χημικές ιδιότητες της χημικής ουσίας που έρχεται σε επαφή με τον οργανισμό, τη σχετική περιοχή επιφάνειας του διαπερατού επιθηλίου στον οργανισμό και τη δυνατότητα του οργανισμού να εκκρίνει ή να αποτοξινώσει την χημική ουσία. Οι μη πολικές (υδροφοβικές) οργανικές χημικές ουσίες όπως οι πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες, έχουν χαμηλή διαλυτότητα στο νερό και υψηλή διαλυτότητα λιπιδίων.

3.3.2. Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (PAHs) στο θαλάσσιο περιβάλλον

3.3.2.1. Τι είναι οι Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (PAHs)

Οι Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (PAH), γνωστοί και ως πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες ή αρωματικοί υδρογονάνθρακες, είναι ισχυροί ατμοσφαιρικοί ρύποι που αποτελούνται από συμπυκνωμένους αρωματικούς (βενζολικούς) δακτυλίους και κανένα άλλο στοιχείο, εκτός από άνθρακα και υδρογόνο (**Wikipedia**). Το Ανθρακένιο είναι το απλούστερο παράδειγμα ενός PAH. Θεωρούνται σημαντικοί ρύποι, καθώς ορισμένες ενώσεις έχουν χαρακτηριστεί ως καρκινογόνες, μεταλλαξιογόνες και τερατογόνες.

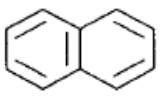
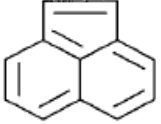
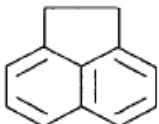
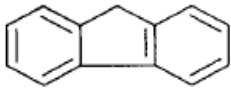
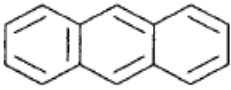
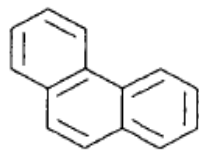
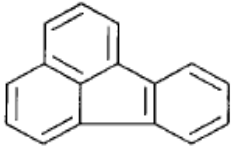
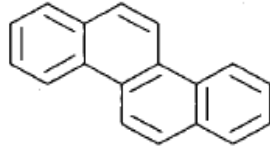
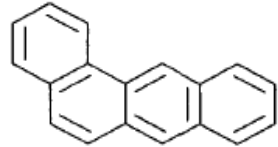
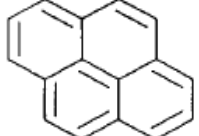
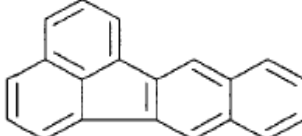
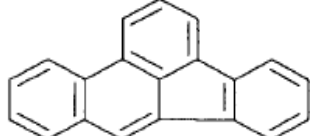
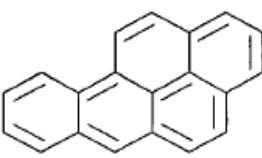
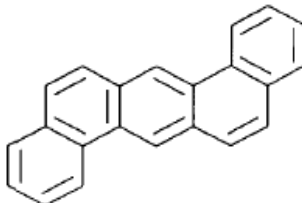
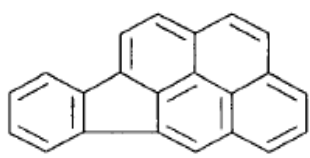
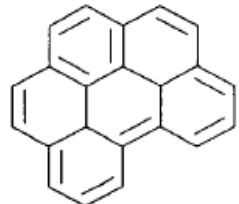
Οι φυσικές και χημικές τους ιδιότητες ποικίλλουν ανάλογα με το μοριακό τους βάρος. Μέσω μίας σειράς χημικών αντιδράσεων, όπως για παράδειγμα με ισχυρά οξέα (νιτρικό, θειικό), μπορούν να μετασχηματιστούν σε ακόμα τοξικότερες ενώσεις (**Κίτσος Α., 2003**).

Αν και οι επιπτώσεις στην υγεία των οργανισμών δεν είναι ίδιες για κάθε Πολυκυκλικό Αρωματικό Υδρογονάνθρακα, οι ακόλουθοι 16 PAHs από τους συνολικά 129, σύμφωνα με την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (**EPA**) και την Υπηρεσία Καταγραφής Τοξικών Ουσιών και Ασθενειών (**Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)**) θεωρούνται ως οι πιο επικίνδυνοι:

- | | |
|------------------------|---------------------------|
| • acenaphthene | • chrysene |
| • acenaphthylene | • dibenz[a,h]anthracene |
| • anthracene | • fluoranthene |
| • benz[a]anthracene | • fluorene |
| • benzo[a]pyrene | • indeno[1,2,3-c,d]pyrene |
| • benzo[e]pyrene | • phenanthrene |
| • benzo[b]fluoranthene | • pyrene |
| • fluoranthene | • benzo[k]fluoranthene |

Αξίζει να σημειωθεί ότι μερικοί από αυτούς θεωρούνται πιθανώς καρκινογενείς για τον άνθρωπο, και γι'αυτό η διασπορά τους στο περιβάλλον και οι κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία έχουν συγκεντρώσει μεγάλη επιστημονική προσοχή.

Στην Εικόνα 3.11 παρουσιάζεται η χημική δομή των 16 PAHs, ενώ στον Πίνακα 3.4 δίνονται οι χημικοί τους τύποι, οι δομές, μερικές φυσικοχημικές ιδιότητες, καθώς και η καρκινογενής ισχύς τους.

		
Naphthalene	Acenaphthylene	Acenaphthene
		
Fluorene	Anthracene	Phenanthrene
		
Fluoranthene	Chrysene	Benzo[a]anthracene
		
Pyrene	Benzo[k]fluoranthene	Benzo[b]fluoranthene
		
Benzo[a]pyrene	Dibenzo[a,h]anthracene	Indeno[1,2,3-cd]pyrene
		
	Benzo[g,h,i]perylene	

Εικόνα 3.11. Χημική δομή των 16 PAHs που συμπεριλαμβάνονται στην λίστα προτεραιότητας ρύπων της EPA (EPA).

Πίνακας 3.4. Οι 16 PAHs της λίστας προτεραιότητας ρυπαντών της ΕΡΑ (ΕΡΑ).

PAHs	Structure	Vapor Pressure (Torr)	Solubility in Water (mg L ⁻¹)	K _{ow}	Carcinogenic potency IARC/US EPA classification
Acenaphthene, Ace		10 ⁻³ -10 ⁻² at 20°C	3.4 at 25°C	21000	
Acenaphthylene, Acy		10 ⁻³ -10 ⁻² at 20°C	3.93	12000	
Fluorene, F		10 ⁻³ -10 ⁻² at 20°C	1.9	15000	
Naphthalene, Np		0.0492	32	2300	
Anthracene, An		2x10 ⁻⁴ at 20°C	0.05-0.07 at 25°C	28000	3
Fluoranthene, Fl		10 ⁻⁶ to 10 ⁻⁴ at 20°C	0.26 at 25°C	340000	3
Phenanthrene, Ph		6.8x10 ⁻⁴ at 20°C	1.0-1.3 at 25°C	29000	3
Benzo[a]anthracene, B[a]An		5x10 ⁻⁹ at 20°C	0.01 at 25°C	4x10 ⁵	2A/B2
Benzo[b]fluoranthene, B[b]Fl		10 ⁻¹¹ to 10 ⁻⁶ at 20°C	-	4x10 ⁶	2B/B2
Benzo[k]fluoranthene, B[k]Fl		9.6x10 ⁻⁷ at 20°C	-	7x10 ⁶	2B
Chrysene, Chry		10 ⁻¹¹ to 10 ⁻⁶ at 20°C	0.002 at 25°C	4x10 ⁵	3/B2
Pyrene, Py		6.9x10 ⁻⁹ at 20°C	0.14 at 25°C	2x10 ⁴	3
Benzo[ghi]perylene, B[ghi]Pe		~10 ⁻¹⁰	0.00026 at 25°C	10 ⁷	3
Benzo[a]pyrene, B[a]Py		5x10 ⁻⁹	0.0038 at 25°C	10 ⁶	2A/B2
Dibenzo[a,h]anthracene, dB[a,h]An		~10 ⁻¹⁰	0.0005 at 25°C	10 ⁶	2A/B2
Indeno[1,2,3-cd]pyrene, I[1,2,3-cd]Py		~10 ⁻¹⁰		5x10 ⁷	2B/B2

IARC*: International Agency for Research Cancer

2A/B2: Πιθανός καρκινογενετικά για τον άνθρωπο / πιθανός καρκινογενή στον άνθρωπο.

2B: Πιθανώς καρκινογενετικά για τον άνθρωπο.

3: Μη ταξινομημένα ως προς την καρκινογένεση τους στον άνθρωπο.

Κενό: Δεν έχει εξεταστεί ως προς την ανθρώπινη καρκινογένεση.

Οι PAHs έχουν σχηματιστεί από μία σειρά μηχανισμών (Neff M.J., 2002), όπως:

1. Γρήγορη ατελή καύση ή πυρόλυση οργανικών υλικών σε υψηλές θερμοκρασίες (700 °C) (*πυρογενείς PAHs*)
2. Αργή ανακατάταξη και μετασχηματισμό βιογενών οργανικών υλικών σε κανονικές θερμοκρασίες (100-300 °C) σε ορυκτά καύσιμα (*πετρογενείς PAHs*)
3. Σχετικά γρήγορο μετασχηματισμό ορισμένων κατηγοριών οργανικών ενώσεων σε εδάφη και ιζήματα (*διαγενείς PAHs*) και
4. Άμεση βιοσύνθεση από οργανισμούς (*βιογενείς PAHs*).

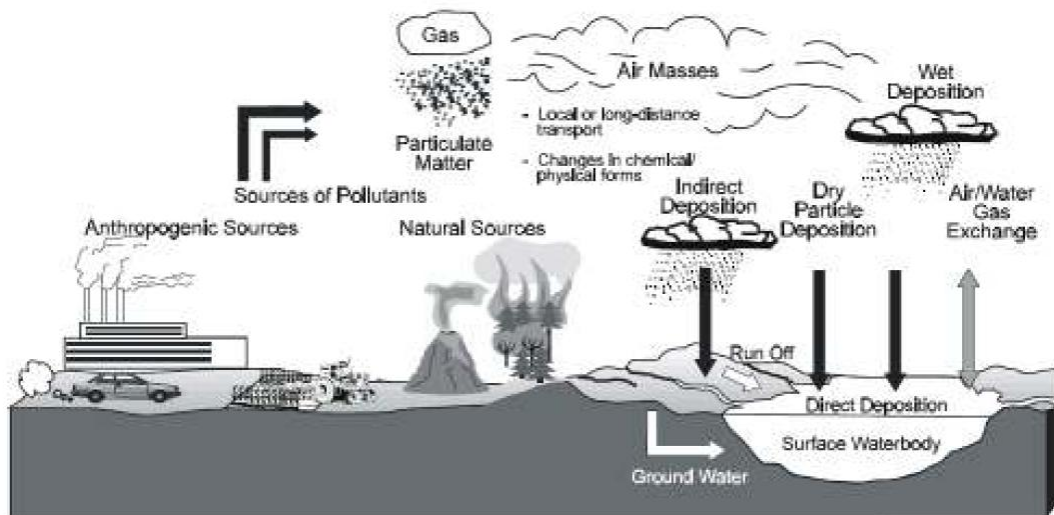
3.3.2.2. Οδοί απελευθέρωσης των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs) στο θαλάσσιο περιβάλλον

Οι Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (PAHs) γενικά, εισέρχονται στο περιβάλλον μέσω φυσικών και ανθρωπογενών πηγών. Όσο αφορά τις πρώτες, σε αυτές περιλαμβάνονται οι εκρήξεις ηφαιστειών και οι πυρκαγιές δασών. Στις ανθρωπογενείς πηγές, που αποτελούν και την βασική προέλευση των PAHs, περιλαμβάνονται οι καύσεις φυσικών καυσίμων, η αποτέφρωση απορριμμάτων, η παραγωγή ασφάλτου και άνθρακα, η διύλιση πετρελαίου, η παραγωγή αλουμινίου και άλλες βιομηχανικές δραστηριότητες (Manoli E. et al., 1999).

Όσο αφορά το θαλάσσιο περιβάλλον, μια σημαντική εισροή PAHs σε αυτό αποτελεί η ατμοσφαιρική απόθεση, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.13. Έχει υπολογιστεί ότι ένα μεγάλο ποσοστό των εισροών τους στο θαλάσσιο περιβάλλον προέρχεται από ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις (Γουλά Γ., 2003). Οι ποσότητες των PAHs που εισέρχονται στην θάλασσα της Μεσογείου είναι περίπου 37-70 τόνους/έτος με μέση τιμή τους 47.5 τόνους/έτος (Κίτσος Α., 2003). Το νερό της βροχής έχει βρεθεί σε αρκετές περιπτώσεις να περιέχει οργανικές ενώσεις μεταξύ των οποίων και PAHs. Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα περιλαμβάνουν την υγρή και ξηρή απόθεση ατμών και σωματιδίων. Τα PAHs αποτελούν πτητικές οργανικές ενώσεις όπου υπάρχουν και σαν αέρια, αλλά και μαζί με τα σωματίδια του αέρα εκπλένονται τόσο με τους ατμούς όσο και με τα σωματίδια της κατακρήμνισης.

Άλλες πηγές εισροής Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων στον θαλάσσιο περιβάλλον, αποτελούν οι αστικές και βιομηχανικές απορροές, απόβλητα διυλιστηρίων, καθώς και οι διαρροές πετρελαίου από ναυτικά ατυχήματα (κηλίδες).

Έχει εκτιμηθεί μάλιστα ότι οι εγκαταστάσεις διύλισης πετρελαίου και παραγωγής πετροχημικών προϊόντων συνεισφέρουν μέχρι και 200,000 τόνους από τα παράγωγα πετρελαίου και το ακατέργαστο πετρέλαιο στους ωκεανούς ετησίως (Manoli E. et. al., 1999).



Εικόνα 3.13. Ατμοσφαιρική απόθεση, μεταφορά και εναπόθεση Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων στο περιβάλλον (U.S. EPA, 2000).

Τέλος, οι PAHs είναι από τις σημαντικότερες κατηγορίες ρύπων που εισέρχονται στο θαλάσσιο περιβάλλον, όπου τελική τους κατάληξη αποτελεί η συσσώρευση στα ιζήματα. Η ύπαρξή τους αυξάνει την ανησυχία για την ανθρώπινη υγεία, ιδιαίτερα κατά την διάρκεια παράκτιων δραστηριοτήτων (υδατοκαλλιέργειες, κολύμβηση κτλ).

3.3.2.3. Τοξικότητα των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs)

Όσο αφορά την τοξικότητα των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs) στον ανθρώπινο οργανισμό, αυτοί μεταβολίζονται και δημιουργούν μεταβολίτες με κυτταροτοξικές, μεταλλαξιογόνες και καρκινογόνες ιδιότητες. Ο μεταβολισμός γίνεται με την βοήθεια ενός ενζύμου, της οξυγενάσης η οποία βρίσκεται στο ήπαρ. Οι μεταβολίτες που θεωρούνται υπεύθυνοι για τις αντιδράσεις με τα κυτταρικά μακρομόρια (νουκλικά οξέα DNA, RNA και πρωτεΐνες) είναι τα διολεποξειδία του βενζολικού δακτυλίου των PAHs.

Τα εποξειδία αυτά ευνοούν τις χημικές αντιδράσεις με πυρηνόφιλες ομάδες κυττάρων (DNA, RNA) με αποτέλεσμα να προκαλούνται μεταλλάξεις και καρκίνοι (Γκέκας Β., 2002). Στη συνέχεια υδρολύονται δημιουργώντας υδροξυπαράγωγα, τα οποία αποβάλλονται μέσω του γαστρεντερικού συστήματος (Γιδαράκος Ε., 2006).

Η περισσότερη μελετημένη παθολογική συνέπεια των PAHs είναι ο καρκίνος, χωρίς ωστόσο αυτό να σημαίνει ότι η παρουσία καταλοίπων PAHs στον άνθρωπο είναι άμεσα υπεύθυνη για την ανάπτυξη του. Πολλά PAHs έχουν αποδειχτεί ή θεωρούνται καρκινογόνα και συγκαταλέγονται στο συνολικό καρκινογόνο φορτίο για τον άνθρωπο. Τέλος, έχει διαπιστωθεί για πολλά PAHs τερατογόνος δράση σε πειραματόζωα, χωρίς όμως να έχει παρατηρηθεί παρόμοιο φαινόμενο στον άνθρωπο (Γκέκας Β., 2002), (Γιδαράκος Ε., 2006).

Επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον – οργανισμούς

Η συμπεριφορά των PAHs στο θαλάσσιο περιβάλλον εξαρτάται από τις φυσικοχημικές ιδιότητές τους. Η διαλυτότητα, η πτητικότητα, η προσρόφηση σε αιωρούμενα σωματίδια και ιζηματοποίηση, η αποικοδόμηση, η πρόσληψη από τους οργανισμούς, και τέλος η βιοσυσσώρευση, είναι οι σημαντικές διαδικασίες στις οποίες υπόκεινται οι PAHs στα υδατικά περιβάλλοντα.

Οι PAHs χωρίζονται σε δύο κατηγορίες με βάση τις ιδιότητες και τη μοριακή τους μάζα. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι PAHs των 2-3 δακτυλίων με χαμηλή μοριακή μάζα και έντονη τοξική συμπεριφορά, ενώ στην δεύτερη ανήκουν αυτοί των 4-6 δακτυλίων με υψηλή μοριακή μάζα και καρκινογενείς ιδιότητες (Doong R., et al., 2000).

Μερικές από τις ιδιότητες που εμφανίζουν είναι η μεγάλη διαλυτότητα στα λιπίδια, καθώς και η υψηλή τοξικότητα που παρουσιάζουν όταν βρίσκονται σε διάλυση (Knutzen J., 1995). Επίσης, οι PAHs είναι υδροφοβικοί, που σημαίνει ότι οι διαλυτότητές τους στο νερό είναι πολύ χαμηλές. Μάλιστα, διαλύονται ευκολότερα στο γλυκό απ'ότι στο θαλασσινό νερό, λόγω αλατότητας. Η διαλυτότητα μειώνεται σε γραμμική συνάρτηση με την αύξηση της αλατότητας (Whitehouse, 1985). Σε μερικές περιπτώσεις, η διαλυτότητα ενός PAH μπορεί να είναι διπλάσια στο γλυκό νερό απ'ότι στο θαλασσινό. Για παράδειγμα, η διαλυτότητα του ναφθαλενίου στο γλυκό νερό είναι περίπου 31500 μg/l, ενώ στο θαλασσινό νερό 22000 μg/l (Eganhouse and Calder, 1976).

Η διαλυτότητα των PAHs επίσης, σχετίζεται άμεσα με την θερμοκρασία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό του Φενανθρενίου (phenanthrene), του οποίου η διαλυτότητα στο γλυκό νερό αυξάνεται από 423 μg/l σε θερμοκρασία 8,5 °C σε 1277 μg/l σε θερμοκρασία 29,9 °C (**May et al., 1978**).

Αυτές οι σχετιζόμενες με την θερμοκρασία και την αλατότητα αλλαγές στην διαλυτότητα των PAHs έχουν σημαντικές επιπτώσεις στον διαχωρισμό των PAHs ανάμεσα στη διαλυμένη φάση και την φάση απορρόφησής τους στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Η προσρόφηση των PAHs στα ιζήματα τείνει να αυξηθεί όταν αυξάνεται η αλατότητα και μειώνεται η θερμοκρασία. Σε ψυχρά θαλάσσια περιβάλλοντα, οι PAHs που βρίσκονται σε μία πετρελαιοκηλίδα έχουν την τάση να παραμένουν στην επιφάνεια του νερού ή να απορροφώνται σε σωματίδια στην θαλάσσια στήλη και να καταβυθίζονται με αυτά στον πυθμένα (**Neff M.J., 1991**).

Από μελέτες που έχουν γίνει, έχει προκύψει ότι η σημαντικότερη παθολογική συνέπεια των PAHs είναι ο καρκίνος. Η καρκινογένεση ποικίλει ευρέως μεταξύ των γνωστών καρκινογόνων PAHs και επηρεάζεται από πολλούς περιβαλλοντικούς όρους όπως η θερμοκρασία και η ηλικία του οργανισμού. Πολλά υδρόβια ζώα έχουν τα ενζυμικά συστήματα για την μεταβολική ενεργοποίηση των PAHs, ενώ τα διαφορετικά είδη των οργανισμών ποικίλουν πολύ στην ευαισθησία τους στην πρόκληση καρκινογένεσης από PAHs (**Neff M.J., 1985**).

Άλλες ασθένειες που μπορεί να προκαλέσουν οι PAHs είναι οι ποικίλες δερματικές και ηπατικές βλάβες, οι βλάβες του ανοσοποιητικού συστήματος των ασπόνδυλων καθώς και διαταράξεις στην λειτουργία των κυτταρικών μεμβρανών.

Επίσης, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος μετάλλαξης από PAHs στα υδρόβια είδη. Οι χαμηλού μοριακού βάρους PAHs είναι ιδιαίτερα τοξικοί για τους υδρόβιους οργανισμούς, αλλά μεγαλύτερη ανησυχία προκαλεί το γεγονός ότι μερικά είδη καρκινογόνων PAHs (benzo[a]pyrene) έχουν συνδεθεί με γενετικές ανωμαλίες και ηπατικές βλάβες ψαριών (**Malins et Al, 1988 - Vethaak & Rheinallt, 1992**). Οι υψηλές συγκεντρώσεις PAHs μπορούν επομένως να αποτελέσουν απειλή στους υδρόβιους οργανισμούς και ενδεχομένως στους ανθρώπους που καταναλώνουν ψάρια και οστρακόδερμα (**MPMMG, Marine Pollution Monitoring Management Group, 1998**).

Το 1987, η IARC (International Agency for Research Cancer) κατέταξε 11 PAHs ως είτε πιθανώς (group 2A) είτε ενδεχομένως (group 2B) καρκινογενή για τον άνθρωπο. Μερικοί από αυτούς είναι οι benzo(a)anthracene, benzo(a)pyrene, dibenzo(a,h)anthracene (πρώτη ομάδα), και benzo(b,j,k)fluoranthene, indeno(1,2,3-cd)pyrene (δεύτερη ομάδα).

Τέλος, σχετικά λίγες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί για την εμφάνιση καρκίνων σε ψάρια ή άλλα υδρόβια είδη από παρουσία PAHs, ενώ γενικά δεν έχουν υπάρξει αναφορές εμφάνισης καρκίνου σε υδρόβια ζώα από την έκθεση σε περιβαλλοντικά ρεαλιστικά επίπεδα καρκινογενών PAHs στο νερό και στα ιζήματα. Η σίγουρη διαπίστωση ότι οι PAHs προκαλούν όντως καρκίνο σε οργανισμούς οικοσυστημάτων είναι πολύ δύσκολη κυρίως εξαιτίας της παρουσίας και άλλων ρυπογόνων ουσιών.

3.3.2.4. Συγκεντρώσεις των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs) στο θαλάσσιο περιβάλλον

Λόγω των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων (τοξικότητα, καρκινογένεση), έχουν γίνει αρκετές έρευνες σχετικά με τα επίπεδα των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων στο θαλάσσιο περιβάλλον. Μερικά παραδείγματα ακολουθούν στη συνέχεια.

Οι **Lipiatou et. al. (1997)** μελέτησαν τα επίπεδα των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων στις θάλασσες του Ατλαντικού Ωκεανού και τις Μεσογείου. Οι μέσες συγκεντρώσεις των ολικών διαλυμένων και σωματιδιακών PAHs που μετρήθηκαν σε επιφανειακά ύδατα, κυμάνθηκαν από 0.63 ng/L έως 1.05 ng/L (ppt). Οι περισσότεροι PAHs είναι ενώσεις μικρού μοριακού βάρους, και όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.5, ο αριθμός των PAHs μειώνεται όσο αυξάνεται το μοριακό βάρος. Οι συγκεντρώσεις των σωματιδιακών PAHs είναι χαμηλότερες στον Ατλαντικό Ωκεανό απ'ότι στην Μεσόγειο, γεγονός που οφείλεται στον χαμηλότερο ρυθμό ροής πυρογενών (αποτέλεσμα καύσεων) PAHs στον Ατλαντικό.

Πίνακας 3.5. Συγκεντρώσεις διαλυμένων και σωματιδιακών PAHs στον Ατλαντικό Ωκεανό και στην Μεσόγειο (ng/l) (Neff M.J., 2002).

Compound	Mediterranean Sea		North Atlantic Ocean	
	Dissolved	Particulate	Dissolved	Particulate
Phenanthrene	0.24	0.17	0.40	0.0018
Fluoranthene	0.35	0.04	0.11	0.0019
Pyrene	0.067	0.028	0.074	0.0013
Benz(a)anthracene	0.010	0.003	0.006	0.0005
Chrysene + Triphenylene	0.007	0.007	0.002	0.0018
Benzo(a)fluoranthene	0.014	0.015	0.0075	0.0025
Benzo(e)pyrene	0.024	0.0005	0.0016	0.0005
Benzo(a)pyrene	0.007	0.0007	0.0015	0.0005
Benzo(ghi)perylene	0.0005	0.0019	0.0004	0.0005
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	0.0005	0.0017	0.0004	0.0005
Total PAHs	0.78	0.27	0.62	0.012

Στο παρακάτω Πίνακα 3.6 παρουσιάζονται ενδεικτικές συγκεντρώσεων PAHs στο θαλασσινό νερό διάφορων περιοχών ανά τον κόσμο, όπως της Βαλτικής θάλασσας και του Θερμαϊκού κόλπου (Κίτσος Α., 2003). Όσο αφορά τον δεύτερο ο οποίος θεωρείται περιοχή έντονης βιομηχανικής δραστηριότητας, οι τιμές των συγκεντρώσεων κυμαίνονται από 135 έως 917 ng/L.

Επίσης, έχει διαπιστωθεί ότι οι συγκεντρώσεις PAHs σε θαλασσινά νερά μακριά από παραλίες είναι συνήθως σε πολύ χαμηλά και μη ανιχνεύσιμα επίπεδα, ενώ ψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται σε πολλές παράκτιες τοποθεσίες ή εκβολές ποταμών (Manoli E. et. al., 1999).

Πίνακας 3.6. Συγκεντρώσεις PAHs σε θαλασσινό νερό διάφορων περιοχών του κόσμου (ng/l) (Κίτσος Α., 2003).

PAH	Βόρειος Ατλαντικός [4]	King George (Ανταρκτική) [5]	Μεσόγειος Θάλασσα [4]	Θάλασσα της Βαλτικής [2]		Κόλπος Θερμαϊκού (Ελλάδα) [2]
				Βάθος 10-25 m	Βάθος 70-415 m	
Np		200		0.27 – 1.78	0.05 – 0.41	
Acy		11				
Ace		8		1.63 – 4.86	0.13 – 1.04	10 – 64
F				0.27 – 0.86	0.03 – 0.18	10 – 150
Ph	0.40	8	0.24	0.50 – 2.26	0.08 – 1.00	30 – 132
An		2		0.16 – 0.46	0.04 – 0.56	10 – 170
Fl	0.11	5	0.35	0.41 – 0.93	0.10 – 0.85	10 – 65
Py	0.07	3	0.07	0.12 – 0.99	0.03 – 0.42	10 – 140
B[a]An	~0.01		~0.01	0.03 – 0.90	0.01 – 0.11	10 – 45
Crhy			~0.01	0.04 – 0.46	0.01 – 0.09	10 – 45
B[b]Fl	~0.04		~0.05	0.03 – 0.13	0.01 – 0.09	
B[k]Fl	~0.04		~0.05	0.01 – 0.06	0.01 – 0.07	15 – 32
B[a]Py	~0.02		~0.01	0.01 – 0.12	0.01 – 0.07	10 – 44
Db[a,h]An				0.01 – 0.02	0.00 – 0.17	
B[ghi]Pe				0.02 – 0.48	0.00 – 0.35	10 – 30
I[1,2,3-cd]Py				0.01 – 0.19	0.00 – 0.19	
$\sum PAH$	~0.69	237	~0.79	3.25 – 7.86	0.51 – 5.60	135 – 917

Από άλλες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί παγκοσμίως, έχουν μετρηθεί συγκεντρώσεις PAHs σε δείγματα θαλασσινού νερού του Κόλπου του Μεξικού της τάξης των 28 ng/L (Wade et. al., 1989). Οι συγκεντρώσεις συνολικών PAHs στα νερά ανοικτά της νότιας Καλιφόρνιας στην περιοχή του Ειρηνικού Ωκεανού κυμαίνονται από 150 έως 520 ng/L (Stuerner et. al., 1982).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι συγκεντρώσεις των PAHs που μετρήθηκαν στην θαλάσσια στήλη του νερού της Αλάσκας, στην περιοχή όπου βυθίστηκε το πλοίο Exxon Valdez το 1989, προκαλώντας διαρροή χιλιάδων τόνων πετρελαίου. Σε μεγάλες αποστάσεις από την περιοχή του ατυχήματος, οι τιμές των PAHs που ανιχνεύθηκαν κυμάνθηκαν από 15 έως 50 ng/L (Neff M.J, 1996). Αντιθέτως, στις πιο κοντινές και συγχρόνως πιο μολυσμένες περιοχές, οι συγκεντρώσεις των PAHs ήταν εξαιρετικά υψηλές της τάξεως των 100 έως ακόμα και 10,000 ng/L σύντομα μετά τη διαρροή. Με την πάροδο του χρόνου και μόλις μέσα σε λίγους μήνες, οι συγκεντρώσεις αυτές μειώθηκαν αισθητά (50 ng /L και λιγότερο) (Neff & Stubblefield, 1995).

Στον ελλαδικό χώρο τώρα, αξιοσημείωτο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι κόλποι μεγάλων πόλεων, λόγω της έντονης βιομηχανικής δραστηριότητας, των εκπομπών καύσεων και της κίνησης των πλοίων. Εκτός από τον Θερμαϊκό κόλπο που αναφέρθηκε προηγουμένως, έχουν γίνει πολλές έρευνες σχετικά με τα επίπεδα των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων στο θαλασσίνο νερό των διάφορων παράκτιων περιοχών του Σαρωνικού κόλπου. Η συγκεκριμένη περιοχή είναι ίσως η πιο επιβαρυνμένη περιοχή της Ελλάδας, καθώς εκεί βρίσκεται το μεγαλύτερο λιμάνι της χώρας (Πειραιάς). Αυτό δηλώνει ότι η εκροή ρυπογόνων ουσιών στον Σαρωνικό κόλπο λόγω ναυτιλιακών και βιομηχανικών δραστηριοτήτων, είναι έντονη.

Οι **Valavanidis A., et. al. (2008)** μέτρησαν συγκεντρώσεις PAHs στην ευρύτερη περιοχή του Σαρωνικού κόλπου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.14 της τάξης των 425-459 ng/L (0.425-0.459 μg/L) στις πιο μολυσμένες περιοχές 1 και 2 (παραλία Ελευσίνας και Σαλαμίνα), και 103-124 ng/L (0.103-0.124 μg/L) στην περιοχή της Αίγινας (Πίνακας 3.7). Τα συγκεκριμένα επίπεδα PAHs εκτιμώνται μέτρια προς χαμηλά. Από τους 17 PAHs που μελετήθηκαν, εννέα μόνο εντοπίστηκαν, ενώ όλοι οι υπόλοιποι βρέθηκαν με συγκεντρώσεις κάτω από τα όρια ανίχνευσης. Η παραλία της Ελευσίνας και η Σαλαμίνα (περιοχές 1 και 2) παρουσίασαν τα υψηλότερα επίπεδα Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων, γεγονός που οφείλεται στις εκπομπές καύσεων και στις μεταφορές των πλοίων που λαμβάνουν χώρα στο λιμάνι του Πειραιά. Οι τιμές αυτές θεωρούνται μέτριες προς υψηλές, σε σύγκριση με τιμές άλλων παράκτιων περιοχών και λιμανιών της Μεσογείου.



Εικόνα 3.14. Σημεία δειγματοληψίας στον Σαρωνικό κόλπο (**Valavanidis A., et. al., 2008**).

Στην Εικόνα 3.14 διακρίνονται οι 3 παράκτιες τοποθεσίες του Σαρωνικού κόλπου όπου πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες θαλασσινού νερού από τους **Valavanidis A., et. al. (2008)**, ενώ στον Πίνακα 3.7 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των PAHs που ανιχνεύτηκαν.

Πίνακας 3.7. Συγκεντρώσεις PAHs στον Σαρωνικό κόλπο (**Valavanidis A., et. al., 2008**).

PAHs	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4
NAP	98 ± 5	160 ± 13	32 ± 3	<LOD
ACY	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
ACE	36 ± 4	41 ± 8	23 ± 2	<LOD
FLU	48 ± 2	42 ± 4	20 ± 2	<LOD
PHE	78 ± 6	54 ± 6	5 ± 1	<LOD
ANT	28 ± 2	30 ± 2	12 ± 1	<LOD
FLA	66 ± 7	34 ± 5	<LOD	<LOD
PYR	25 ± 3	18 ± 2	11 ± 2	<LOD
B[a]An	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
CHR	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
B[b]Fl	26 ± 5	55 ± 2	<LOD	<LOD
B[k]Fl	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
B[a]P	20 ± 4	25 ± 6	<LOD	<LOD
DiB[a,h]An	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
InPy	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
B[ghi]Pe	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
PER	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Σ ₁₇ PAH	425 ± 38	459 ± 48	113 ± 11	—

3.3.2.5. Βιοσυσσώρευση των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs) στους θαλάσσιους οργανισμούς

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η έννοια της βιοσυσσώρευσης αναφέρεται στο καθαρό ποσό πρόσληψης των διαφόρων χημικών ουσιών από το περιβάλλον μέσο, μέσω μιας ή/και όλων των δυνατών διαδρομών (αναπνευστική, πεπτική, δερματική οδός), από οποιαδήποτε πηγή του περιβάλλοντος μέσου (πχ νερό, διαλυμένος, κολλοειδής ή μοριακός οργανικός άνθρακας, ίζημα, άλλοι οργανισμοί) όπου οι χημικές ουσίες είναι παρούσες.

Οι υδρόβιοι οργανισμοί μπορούν να λάβουν και να συσσωρεύσουν PAHs από το νερό, τα θαλάσσια ιζήματα και την τροφή. Γενικά, οι PAHs που είναι ευδιάλυτοι στο νερό και ταυτόχρονα παρουσιάζουν μεγαλύτερη τοξικότητα, συνήθως απορροφούνται από το ίζημα και εν συνεχεία το ίζημα αποτελεί τροφή για θαλάσσιους οργανισμούς του βυθού. Έτσι, γίνεται λήψη και βιοσυσσώρευση των PAHs από τους οργανισμούς, όπως αναφέρθηκε λεπτομερώς και σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Οι παράγοντες βιοσυγκέντρωσης των PAHs ποικίλλουν πολύ από είδος σε είδος (**World Health Organization, 1998**). Τα θαλάσσια είδη που δεν μεταβολίζουν τους PAHs ή τους μεταβολίζουν σε μικρό βαθμό, είναι τα φύκια, τα μαλάκια και τα πιο πρωτόγονα ασπόνδυλα (π.χ. πρωτόζωα). Οι συγκεκριμένοι οργανισμοί συσσωρεύουν υψηλές συγκεντρώσεις PAHs. Από την άλλη πλευρά, οι οργανισμοί που μεταβολίζουν τους PAHs όπως τα ψάρια και τα υψηλότερα ασπόνδυλα (αρθρόποδα, εχινόδερματα) συσσωρεύουν ελάχιστες ή μηδαμινές συγκεντρώσεις PAHs.

Ως βιομεγέθυνση αναφέρεται η διαδικασία κατά την οποία μια χημική ουσία, καθώς περνάει διαμέσου μιας τροφικής αλυσίδας ή ενός τροφικού δικτύου μέσω της τροφικής μεταφοράς, καταγράφεται σε αυξανόμενες συγκεντρώσεις στους ιστούς των οργανισμών σε κάθε ανώτερο τροφικό επίπεδο (**Neff, 2002**). Η βιομεγέθυνση των PAHs μέσω της τροφικής αλυσίδας έχει αποδειχθεί πως συμβαίνει μέχρι ένα βαθμό (π.χ. από τα αρθρόποδα στα ψάρια), αλλά η μεγαλύτερη ικανότητα των υψηλότερων οργανισμών (ψαριών) να μεταβολίζουν τους PAHs μειώνει την αποδοτικότητα της μεταφοράς. Τα υδρόβια και χερσαία θηλαστικά, πτηνά, ερπετά και αμφίβια που έχουν ικανά αναπτυγμένα συστήματα MFO (mixed function oxygenase) δεν είναι γνωστό πως ανταποκρίνονται, όπως τα ψάρια, στους υδρογονάνθρακες (**Rattner et. al., 1989**). Ενώ τα χερσαία φυτά δεν συσσωρεύουν εύκολα PAHs από το έδαφος λόγω του ότι τα PAHs δεσμεύονται και συγκρατούνται από την οργανική ύλη του εδάφους. Από την στιγμή όμως που οι PAHs συσσωρευτούν σε ένα οργανισμό είναι δύσκολο να αποβληθούν (**Varanasi et. al., 1989**).

ΕΝΟΤΗΤΑ 2

Μοντελοποίηση συμπεριφοράς πετρελαιοειδών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Προσδιορισμός και ποσοτικοποίηση Πετρελαιοειδών και Οργανικών Ρύπων στο κουφάρι του Sea Diamond

4.1. Τύπος και ποσότητες καυσίμων

Η διαρροή πετρελαιοειδών στην Καλντέρα έλαβε χώρα αμέσως μετά το ναυάγιο όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1, και παρά τις προσπάθειες περιορισμού της ρύπανσης, σημαντική ποσότητα καυσίμων απελευθερώθηκε στο θαλάσσιο περιβάλλον.



Εικόνα 4.1. Ρύπανση από πετρελαιοειδή λίγες ημέρες μετά το ναυάγιο (αριστερά) και προσπάθειες περιορισμού της πετρελαιοκηλίδας (δεξιά) με πλωτά μέσα (www.theheraldbulletin.com & www.tovima.gr).

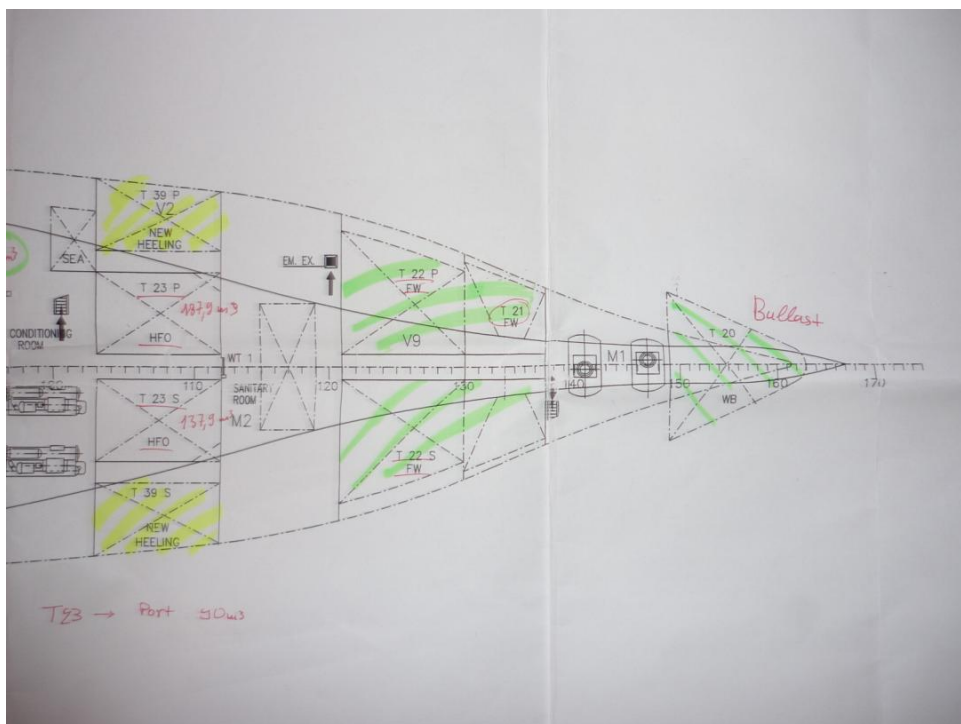
Όπως αναφέρθηκε και στα πρώτα κεφάλαια της εργασίας, η εκτίμηση του τύπου και των ποσοτήτων των καυσίμων μπορεί να γίνει μόνο έμμεσα από τα κατασκευαστικά σχέδια των συστημάτων πρόωσης (μηχανές και περιφερειακά) του Sea Diamond. Σύμφωνα με το Πράσινο Διαβατήριο του Sea Diamond (**Environmental Protection Engineering S.A., 2008**), και την καταγραφή του περιεχομένου των δεξαμενών πριν από τη βύθιση (05/04/2007), το πλοίο είχε στις δεξαμενές του τις εξής ποσότητες καυσίμων:

- **437 τόνους** πετρελαίου θαλάσσης βαρέως τύπου (πετρέλαιο που ανακτάται ως υπόλειμμα ή κατάλοιπο από την αποστακτική στήλη), το οποίο είναι γνωστό με την ονομασία **Heavy Fuel Oil ή Bunker Oil C** και έχει πυκνότητα ίση με 960 kg/m^3 (**ANKO, Marine Load Planner – Hellenic Petroleum S.A.**). Οι ποσότητες αυτές σύμφωνα με την εν λόγω καταγραφή, εντοπίζονται στις δεξαμενές αποθήκευσης T 24S, T 24P, T 23S, T 23P και T 36 (Εικόνες 4.2, 4.3 και 4.4).
- **68 τόνους** πετρελαίου θαλάσσης ελαφρού τύπου (πετρέλαιο που ανακτάται ως απόσταγμα από την αποστακτική στήλη), το οποίο είναι γνωστό με την ονομασία **Marine Gas Oil** πυκνότητας 850 kg/m^3 (**ANKO, Marine Load Planner**) και αντιστοιχεί σε πετρέλαιο κλάσης No.2 σύμφωνα με την κατάταξη που έχει αναφερθεί ήδη. Οι ποσότητες αυτές σύμφωνα με την καταγραφή, εντοπίζονται στις δεξαμενές T 28 και T 5 (Εικόνα 4.5).

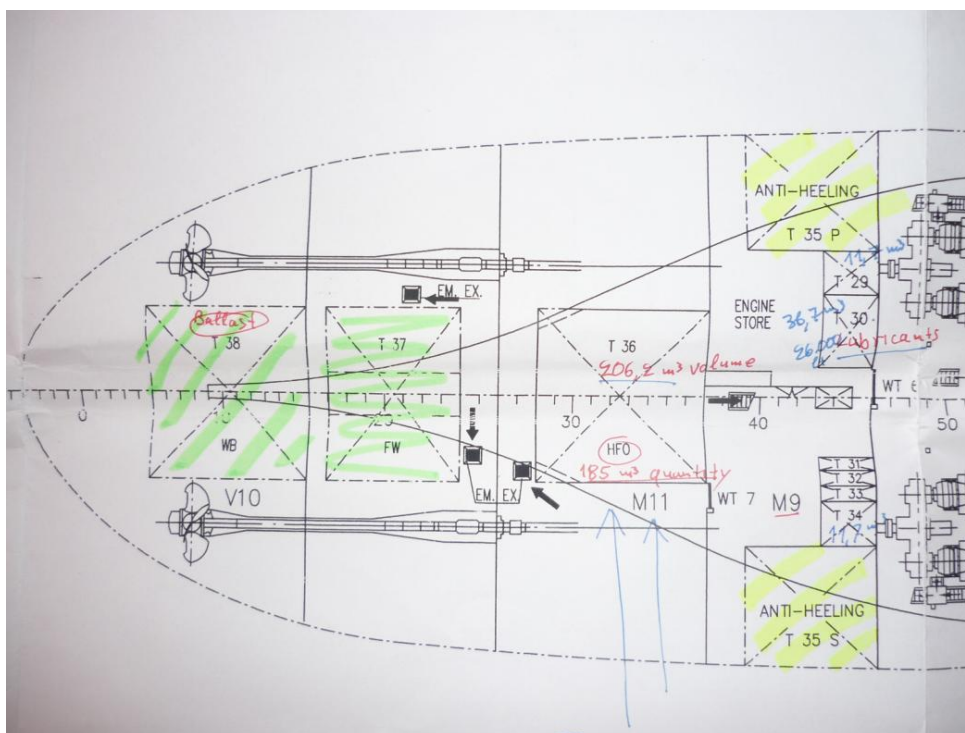
Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι ιδιότητες των δύο παραπάνω τύπων πετρελαίου, καθώς και οι περιεκτικότητες τους σε Βαρέα Μέταλλα. Οι παρακάτω τιμές προέρχονται από τις αναλύσεις δειγμάτων πετρελαίου προερχόμενο από το Sea Diamond (**Hellenic Petroleum S.A.**), την κατάσταση φόρτωσης πριν το ατύχημα (**ANKO, Marine Load Planner**), και τέλος την βιβλιογραφία (**Emergencies Science Division, 2000**).

Πίνακας 4.1. Ιδιότητες & περιεκτικότητα σε Βαρέα Μέταλλα των δύο τύπων πετρελαίου.

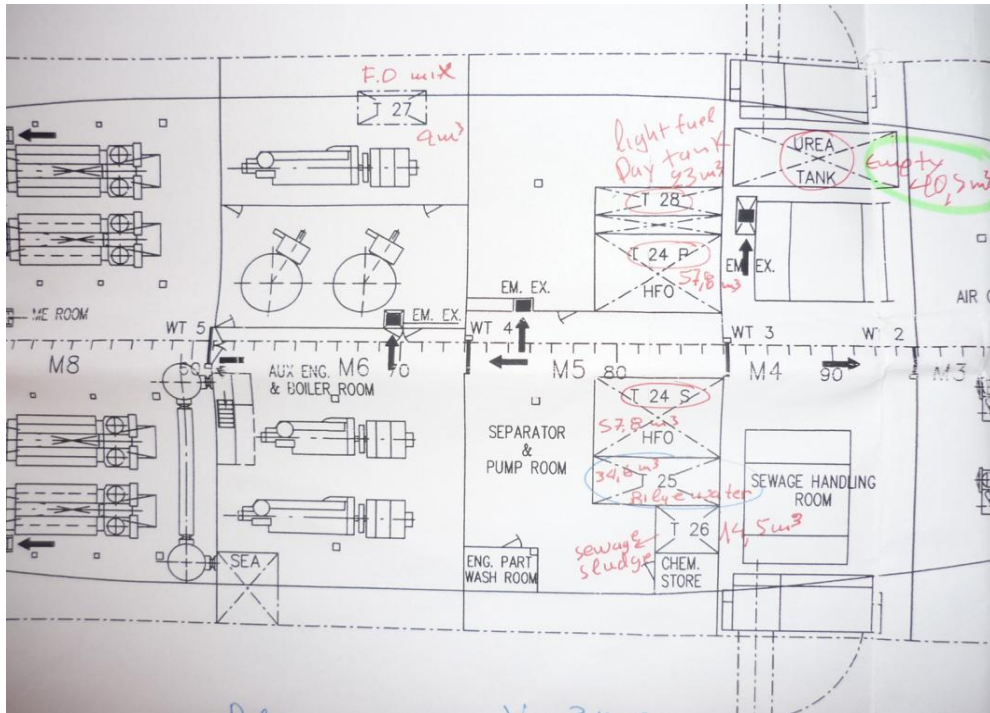
Ιδιότητες - Περιεκτικότητες	Τύποι Πετρελαίου	
	<i>Heavy Fuel Oil (Bunker)</i>	<i>Marine Gas Oil</i>
<i>Density (Πυκνότητα) 15°C(kg/m³)</i>	960	850
<i>Kin. Viscosity (Κινηματικό ιξώδες) 50 °C(cst)</i>	351-372	-
<i>Carbons Residue (Υπόλειμμα Άνθρακα)(%wt)</i>	11	-
<i>Sulphur (Θείο) (ppm)</i>	2.85	-
<i>Barium(ppm)</i>	<0.3	-
<i>Chromium(ppm)</i>	<1.5	-
<i>Copper(ppm)</i>	1.2	-
<i>Iron(ppm)</i>	35	-
<i>Lead(ppm)</i>	<3	-
<i>Magnesium(ppm)</i>	23.9	-
<i>Molybdenum(ppm)</i>	<0.6	-
<i>Nickel(ppm)</i>	8.6	-
<i>Titanium(ppm)</i>	<0.6	-
<i>Vanadium(ppm)</i>	115	-
<i>Sodium(ppm)</i>	10	-
<i>Zinc(ppm)</i>	1.6	-



Εικόνα 4.2. Δεξαμενές T 23 αποθήκευσης πετρελαίου θαλάσσης του πλοίου Sea Diamond σύμφωνα με τα κατασκευαστικά σχέδια (κάτοψη).



Εικόνα 4.3. Δεξαμενές T 36 αποθήκευσης πετρελαίου θαλάσσης του πλοίου Sea Diamond σύμφωνα με τα κατασκευαστικά σχέδια (κάτοψη).



Εικόνα 4.5. Δεξαμενές T 24, T 28 αποθήκευσης πετρελαίου θαλάσσης του πλοίου Sea Diamond σύμφωνα με τα κατασκευαστικά σχέδια (κάτοψη).

Η συνολική χωρητικότητα των δεξαμενών του πλοίου καταγράφεται στον Πίνακα 4.1. Από τα στοιχεία του πίνακα, προκύπτει ότι η χωρητικότητα των δεξαμενών είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την αναφερόμενη ποσότητα.

Πίνακας 4.1. Χωρητικότητα δεξαμενών καυσίμου του Sea Diamond (ANKO, Marine Load Planner).

Δεξαμενές βαρέως καυσίμου (HFO)		Δεξαμενές καυσίμου diesel (MGO)	
Αριθμός δεξαμενής	Χωρητικότητα (m ³)	Αριθμός δεξαμενής	Χωρητικότητα (m ³)
T 23 S	137,3	T 5	73,4
T 23 P	137,3	T 28 (Day)	23
T 4 S	58,6		
T 4 P	58,6		
T 24 S	57,6		
T 24 P	57,6		
T 36	205,7		
Συνολική χωρητικότητα	712,7	Συνολική χωρητικότητα	96,4

Η **Τεχνική Προστασίας Περιβάλλοντος (EPE)**, ανέλαβε από την πρώτη ημέρα του ναυαγίου μέχρι και σήμερα την απομάκρυνση των ελαιωδών καταλοίπων (πετρέλαιο, λιπαντικά, υδραυλικά έλαια) από την περιοχή. Εκτιμάται ότι καθημερινά συλλέγονται περίπου κατά μέσο όρο 20-30 l (ή περίπου kg) (**Michael O'Brien, ITOPE 2010**) πετρελαιοειδών (πισσώδη και ελαιώδη) με την χρήση ειδικών απορροφητικών σφουγγαριών από το εσωτερικό του αντιρρυπαντικού φράγματος διαμέτρου 150 μέτρων. Αυτό φυσικά δε σημαίνει ότι οι ποσότητες πετρελαίου που απελευθερώνονται από το ναυάγιο, αντιστοιχούν σε αυτές που συλλέγονται, διότι είναι σχεδόν αδύνατο να εκτιμηθεί ο ρυθμός και οι συνολικές ποσότητες απελευθέρωσης των πετρελαιοειδών από το κουφάρι του πλοίου. Επιπλέον, εκτιμάται ότι περίπου 300 m³ μίγματος ελαιωδών καταλοίπων (μίγμα νερού/πετρελαίου) έχουν συλλεχθεί τις πρώτες μέρες του ναυαγίου από την εν λόγω εταιρεία (**O'Brien and Mamaloukas-Frangoulis, 2009**), όπου η περιεκτικότητα του πετρελαίου στο συγκεκριμένο μίγμα εκτιμάται μικρότερη από 50%. Αυτό σημαίνει ότι η ποσότητα των πετρελαιοειδών ήταν μικρότερη από 150 m³.

Ωστόσο, δεδομένου ότι κάποιο σημαντικό κλάσμα της συνολικής μάζας των ελαιωδών είναι υδατοδιαλυτό, εκ των πραγμάτων δεν μπορεί να συλλεχθεί. Επίσης, στα πλαίσια της διατήρησης και αποκατάστασης του θαλάσσιου οικοσυστήματος πραγματοποιήθηκαν εργασίες απάντλησης μέρους των ελαιωδών καταλοίπων τον Μάιο του 2009 και για ένα διάστημα μικρότερο από 20 ημέρες. Πηγές αναφέρουν ότι αντλήθηκαν από το κουφάρι του πλοίου 155.22 m³ μίγματος νερού/καυσίμων (**Core Marine Ltd, 2009**). Από την συγκεκριμένη ποσότητα επιλέχθηκαν δείγματα και στάλθηκαν για αναλύσεις στο Γενικό Χημείο του Κράτους (βλ. παράρτημα). Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών, έδειξαν ότι η περιεκτικότητα πετρελαίου στο παραπάνω μίγμα των 155.22 m³, ήταν περίπου ίση με 1%. Αυτό αντιστοιχεί σε 1.5 m³ πετρελαίου, ποσότητα μηδαμινή, και αντίστοιχα σε 153.5 m³ νερού. Συνεπώς, οι αναλύσεις αυτές αποδεικνύουν ότι απαντλήθηκε ελάχιστη ουσιαστικά ποσότητα πετρελαίου από το κουφάρι του πλοίου, ενώ τέτοιου είδους εκτιμήσεις μοναδικό σκοπό έχουν την παραπληροφόρηση.

4.2. Υπολογισμός εναπομένουσας ποσότητας πετρελαιοειδών

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η αρχική διαρροή πετρελαιοειδών ήταν της τάξης των 150 μετρικών τόνων (MT) ή m^3 περίπου. Επιπλέον, από τα 155 m^3 μίγματος νερού/πετρελαίου που συλλέχθηκαν κατά την διάρκεια της μίας και μοναδικής απάντλησης η οποία έλαβε χώρα 2 χρόνια αργότερα, τον Μάιο του 2009 (**Core Marine Ltd, 2009**), μόνο 1.5 m^3 ήταν πετρέλαιο. Η αρχική ποσότητα πετρελαίου που υπήρχε στο πλοίο σύμφωνα με το Πράσινο Διαβατήριο (**Green Passport**) και την κατάσταση φόρτωσης πριν το ατύχημα (**ANKO, Marine Load Planner**), ήταν τουλάχιστον 516 τόνοι (MT) πετρελαίου, συμπεριλαμβάνοντας τις ποσότητες των πετρελαϊκών καταλοίπων (περίπου 10 τόνοι).

Εφόσον λοιπόν τα παραπάνω στοιχεία είναι αληθή, προκύπτει μαθηματικά ότι η ποσότητα πετρελαίου που έχει απομείνει στις δεξαμενές του πλοίου από τον Μάιο του 2009 μέχρι σήμερα (Δεκέμβριος 2010) ανέρχεται σε περίπου 365 τόνους, χωρίς βεβαίως να συμπεριλαμβάνονται σε αυτόν τον αριθμό οι ποσότητες που διέρρεαν καθημερινά από την μέρα της βύθισης του πλοίου μέχρι την απάντληση του Μάιου. Η συγκεκριμένη ποσότητα όμως, είναι σήμερα αρκετά μικρότερη λόγω των συνεχών διαρροών τα τελευταία 4 χρόνια περίπου.

Έτσι, σύμφωνα με τις υποτιθέμενες ποσότητες πετρελαίου που απελευθερώνονται καθημερινά στην θαλάσσια στήλη της Καλντέρας (κατά μέσο όρο 25-30 λίτρα την ημέρα), χωρίς ωστόσο αυτές να είναι απολύτως ορθές, και με απλούς υπολογισμούς, προκύπτει ότι:

Το χρονικό διάστημα από τον Απρίλιο του 2007 μέχρι σήμερα (Δεκέμβριος 2010) ισοδυναμεί με 42 μήνες ή περίπου 1260 ημέρες. Άρα, 1260 ημέρες * 30 λίτρα/ημέρα (μ.ο) = 37800 λίτρα ή σχεδόν 38 m^3 (περίπου τόνοι) πετρελαίου έχουν απελευθερωθεί από το ναυάγιο του Sea Diamond μέχρι σήμερα. Συνεπώς, η μέγιστη εναπομένουσα ποσότητα πετρελαίου στο κουφάρι του πλοίου είναι περίπου ίση με: 365 τόνοι – 38 τόνοι = **327 (320-330 τόνοι) περίπου τόνοι πετρελαίου**, δεδομένου φυσικά ότι υπάρχει ένα σημαντικό ποσοστό σφάλματος, το οποίο οφείλεται:

1. Στην εγκυρότητα των εκτιμήσεων που έχουν γίνει όσο αφορά τους ρυθμούς διαρροής του πετρελαίου και τις απελευθερωθείσες ποσότητες
2. Στην πυκνότητα του πετρελαίου η οποία είναι λίγο μικρότερη από 1000 kg/m^3 σε θερμοκρασία 15 °C (θερμοκρασία ναυαγίου), και συνεπώς η «αυθαίρετη» μετατροπή των m^3 σε τόνους περιέχει ένα μικρό ποσοστό σφάλματος, και τέλος

3. Στις διαδικασίες διασποράς και εξάτμισης οι οποίες λαμβάνουν χώρα συνεχώς, και εξαιτίας τους χάνονται σημαντικές ποσότητες πετρελαίου.

Τέλος, η εναπομένουσα ποσότητα πετρελαίου στις δεξαμενές του πλοίου, πιθανόν να είναι πολύ μικρότερη από αυτήν που υπολογίστηκε, δεδομένου ότι οι ποσότητες που απελευθερώνονται συνεχώς από το κουφάρι του πλοίου να είναι πολύ μεγαλύτερες από τις εκτιμημένες, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως.

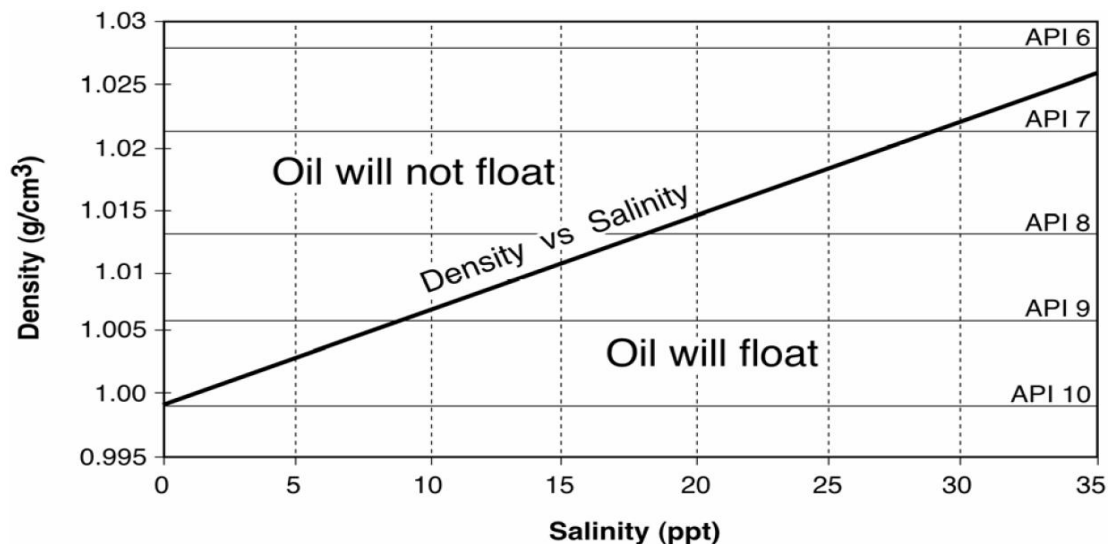
Επιπλέον, είναι γνωστό ότι το πετρέλαιο είναι κατανεμημένο σε όλο το εσωτερικό του ναυαγίου και δεν διαρρέει όλο αμέσως. Σύμφωνα με τον **(O'Brien, 2010)** τα πετρελαιοειδή που παραμένουν στο κρουαζιερόπλοιο έχουν διασπαρθεί μεταξύ των καταστρωμάτων και διαμερισμάτων του σκάφους, ενώ παρατηρήθηκε διαρροή πετρελαιοειδών από σπασμένα παράθυρα, πολλά καταστρώματα άνωθεν των δεξαμενών καυσίμων. Συνεπεία αυτού, η διάτρηση του κελύφους του σκάφους λόγω τοπικής διάβρωσης σε σημεία όπου υπάρχουν διασπαρθέντα πετρελαιοειδή, πιθανότατα θα επιφέρει εντονότερη διαρροή στο θαλάσσιο περιβάλλον της Καλντέρας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεριφορά και διασπορά των πετρελαιοειδών στο θαλάσσιο περιβάλλον της Καλντέρας

5.1. Γενικά

Η συμπεριφορά του πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον εμφανίζεται κυρίως με δύο τρόπους, σύμφωνα με την **National Research Council (NRC, 1999)**. Κατά τον πρώτο τρόπο, όταν το πετρέλαιο είναι ελαφρύτερο από το νερό (πυκνότητα νερού μεγαλύτερη από την πυκνότητα του πετρελαίου), τότε αυτό ανέρχεται στην επιφάνεια του νερού και επιπλέει. Ωστόσο, το πετρέλαιο μπορεί να έρθει σε επαφή με τα επιφανειακά ιζήματα και στη συνέχεια να γίνει βαρύτερο από το νερό, είτε με εναπόθεση σε ιζηματογενή ακτή, προσροφώντας άμμο, είτε με ανάμειξη με άμμο διαλυμένο στη στήλη του νερού υπό την επίδραση των κυμάτων (**Michel & Galt, 1995**). Σε κάθε περίπτωση, ανάλογα με την ποσότητα των ιζημάτων που αναμιγνύεται στο πετρέλαιο, το μίγμα πετρελαίου-ιζημάτων μπορεί είτε να διαλυθεί στη στήλη του νερού υπό την επίδραση των ρευμάτων, είτε όντας αρκετά πυκνό διάλυμα να βυθιστεί στον πυθμένα.

Σύμφωνα με τον δεύτερο τρόπο, το πετρέλαιο που είναι πυκνότερο από το θαλασσινό νερό, δεν επιπλέει, αλλά καταβυθίζεται και εναποτίθεται στα ιζήματα. Εκτός από την πυκνότητα, σημαντικό ρόλο παίζει και η παράμετρος της βαρύτητας API. Η συγκεκριμένη παράμετρος προέρχεται από το **American Petroleum Institute (API)** και δείχνει το πόσο βαρύ ή ελαφρύ είναι το υγρό πετρέλαιο σε σχέση με το νερό (**Wikipedia**). Αν η τιμή της API είναι μεγαλύτερη από 10, τότε το πετρέλαιο είναι ελαφρύτερο από το νερό και επιπλέει. Διαφορετικά αν είναι μικρότερη από 10, τότε είναι βαρύτερο και καταβυθίζεται στον πυθμένα. Επομένως, η βαρύτητα API είναι αντιστρόφως ανάλογη της πυκνότητας του πετρελαίου και του νερού. Στο Σχήμα 5.1 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ της αλατότητας και της πυκνότητας του νερού συναρτήσει της βαρύτητας API σε θερμοκρασία 15 βαθμών Κελσίου.



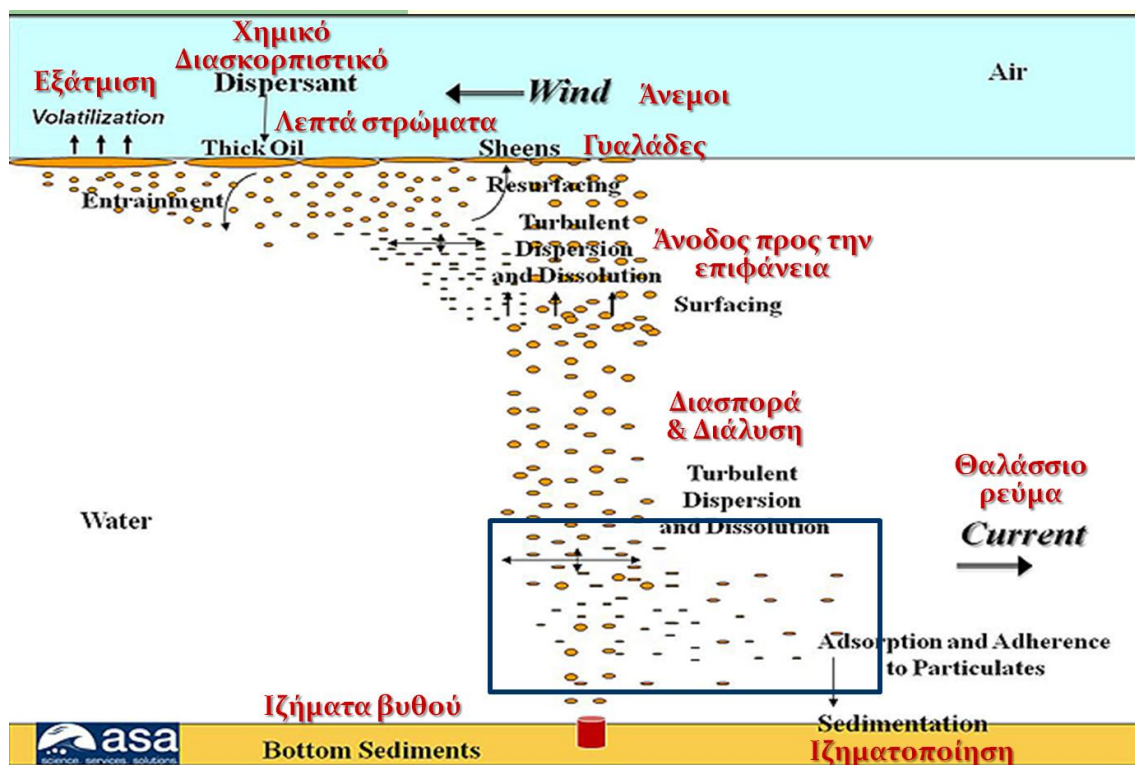
Σχήμα 5.1. Σχέση μεταξύ πυκνότητας και αλατότητας νερού στους 15 °C (NRC, 1999).

Τέλος, υπάρχει μια σειρά ιδιοτήτων του πετρελαίου που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την μελέτη συμπεριφοράς του σε υδάτινα περιβάλλοντα. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι η πυκνότητα που αναφέρθηκε και προηγουμένως, το ιξώδες, το σημείο τήξης, η διαλυτότητα, η χημική του σύσταση και το δυναμικό γαλακτοματοποίησης (η τάση να γαλακτοματοποιείται). Οι ιδιότητες αυτές, σε συνδυασμό με τις περιβαλλοντικές συνθήκες (πυκνότητα του νερού, ταχύτητα και διεύθυνση ανέμων, ταχύτητα και διεύθυνση θαλάσσιων ρευμάτων, θερμοκρασία νερού, ηλιακή ακτινοβολία κτλ) και τις προσπάθειες απορρύπανσης (χρήση χημικών διασκορπιστικών, φραγμάτων κτλ) μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στον περιορισμό της εξάπλωσης του πετρελαίου και στην προστασία του υδάτινου οικοσυστήματος που ενδέχεται να βρίσκεται σε κίνδυνο μόλυνσης.

Στον παρακάτω Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται οι γενικές ιδιότητες όλων των τύπων πετρελαίου, ενώ στην Εικόνα 5.1 διακρίνονται αναλυτικά όλες οι διεργασίες στις οποίες υπόκεινται το πετρέλαιο στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Πίνακας 5.1. Γενικές ιδιότητες και τοξικότητα όλων των τύπων πετρελαίου (NRC, 1999).

Γενικές Ιδιότητες Πετρελαίου	
Τύπος 1: Πολύ Ελαφριά Κλάσματα (βενζίνη)	• Πολύ πτητικά και διαλυτά • Εξατμίζονται γρήγορα, συχνά σε 1-2 μέρες από την απελευθέρωση τους • Υψηλή οξεία τοξικότητα
Τύπος 2: Ελαφριά Κλάσματα (Diesel, No.2 Fuel Oil, Jet Fuels)	• Μετρίως πτητικά και διαλυτά • Αφήνουν υπόλειμμα (περίπου το 1/3 της αρχικής κηλίδας) μετά από λίγες μέρες • Μέτρια έως υψηλή οξεία τοξικότητα
Τύπος 3: Μεσαία Κλάσματα (τα περισσότερα κλάσματα)	• Περίπου το 1/3 εξατμίζεται μέσα σε 24 ώρες • Διαλυτότητα στο νερό της τάξης των 10-100 ppm • Πιθανώς επίμονοι ρύποι • Σημαντικός ο καθαρισμός τους για την αποφυγή περιβαλλοντικών επιπτώσεων • Οξεία τοξικότητα, εξαρτώμενη από το ποσοστό του ελαφριού κλάσματος
Τύπος 4: Βαριά Κλάσματα (Heavy Fuel Oil, Bunker Oil C)	• Βαριά κλάσματα με πολύ μικρά ποσοστά εξάτμισης και διαλυτότητας • Διαλυτότητα στο νερό μικρότερη από 10 ppm • Εξαιρετικά επίμονοι ρύποι • Πολύ χαμηλοί ρυθμοί γήρανσης, σχηματισμός μικρών σφαιριδίων (tar balls) • Πιθανώς να καταβυθίζονται, ανάλογα με την πυκνότητα τους και την πυκνότητα του νερού • Εξαιρετικά σημαντικός ο καθαρισμός τους για την αποφυγή περιβαλλοντικών επιπτώσεων • Χαμηλή οξεία τοξικότητα σε σχέση με τους άλλους τύπους πετρελαίου
Τύπος 5: Χαμηλής API (βαρύτητας API) Κλάσματα (βαριά βιομηχανικά κλάσματα)	• Επιπλέον ή καταβυθίζονται ανάλογα με την πυκνότητα του νερού • Αργή γήρανση: το πετρέλαιο που καταβυθίζεται έχει μικρή δυνατότητα εξάτμισης • Συνήθως συγκεντρώνεται στον βυθό σε καλές καιρικές συνθήκες • Το πετρέλαιο που έχει εναποτεθεί στον βυθό πιθανόν να επαναιωρηθεί στη θαλάσσια στήλη σε περίπτωση τρικυμίας • Εξαιρετικά ασταθή και συχνά είναι αναμειγμένα με άλλα πετρελαιοειδή • Χαμηλή τοξικότητα σε σχέση με άλλους τύπους πετρελαίου



Εικόνα 5.1. Φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες (γήρανση) στις οποίες υπόκειται το πετρέλαιο στο θαλάσσιο περιβάλλον (βλ. Κεφ.2.1) (www.chem.uoa.gr).

5.2. Παράμετροι και συνθήκες επιρροής

5.2.1. Θαλάσσια στήλη

Τα θαλάσσια ρεύματα αποτελούν καθοριστικό παράγοντα ο οποίος διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη συμπεριφορά και στην κίνηση του πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον (Εικόνα 5.2). Σύμφωνα με την **National Research Council (NRC)**, το πετρέλαιο χωρίζεται σε δύο κατηγορίες:

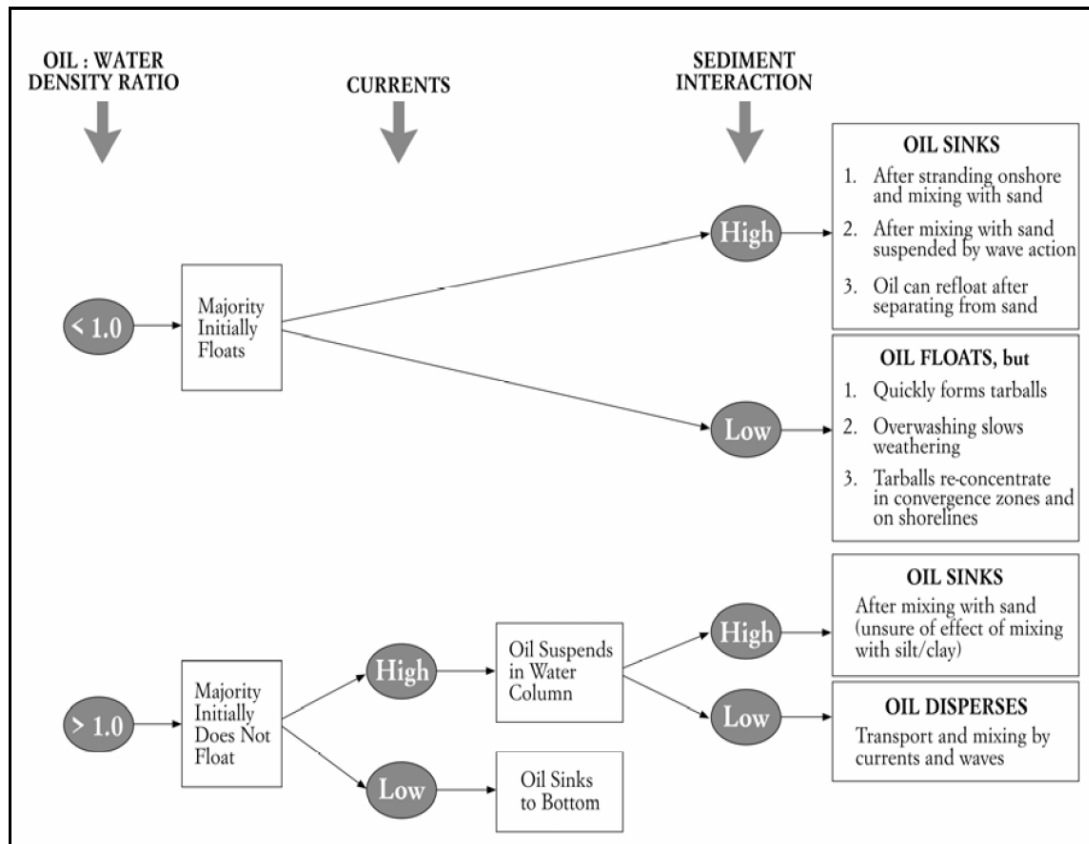
- σε αυτό που επιπλέει ή floating oil (πυκνότητα πετρελαίου/πυκνότητα νερού < 1) και
- σε αυτό που καταβυθίζεται ή non-floating oil (πυκνότητα πετρελαίου/πυκνότητα νερού > 1).

Στην πρώτη περίπτωση, η δραστηριότητα των θαλάσσιων ρευμάτων δεν επηρεάζει σημαντικά την συμπεριφορά του πετρελαίου, σε αντίθεση με την κυματική δραστηριότητα. Αν τα ρεύματα έχουν ταχύτητα μεγαλύτερη από 0.1 μέτρα το δευτερόλεπτο (περίπου 0.2 κόμβων), τότε το πετρέλαιο θα παραμείνει στη στήλη του νερού ακολουθώντας την κατεύθυνση των ρευμάτων, χωρίς να παρουσιάσει τάσεις καταβύθισης. Αντιθέτως, η αλληλεπίδραση του πετρελαίου με τα επιφανειακά ιζήματα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο διότι:

1. Αν είναι έντονη, τότε το πετρέλαιο καταβυθίζεται και συγκεντρώνεται κοντά στις ακτές, όπου αναμιγνύεται με την άμμο, υπό την επίδραση των κυμάτων. Στη συνέχεια διαλύεται στην θαλάσσια στήλη και επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση, επιπλέοντας στην επιφάνεια της θάλασσας.
2. Αν δεν είναι έντονη, τότε το πετρέλαιο επιπλέει σχηματίζονται μικρές κηλίδες οι οποίες τείνουν να συγκεντρωθούν κοντά σε παράκτιες περιοχές υπό την επίδραση των κυμάτων.

Στην δεύτερη περίπτωση τώρα, όπου το πετρέλαιο είναι βαρύτερο από το νερό και καταβυθίζεται, τα θαλάσσια ρεύματα παίζουν σημαντικό ρόλο. Αν η ταχύτητά τους είναι μεγάλη, τότε το πετρέλαιο διαλύεται με αργούς ρυθμούς στην θαλάσσια στήλη, και είτε αναμιγνύεται με τα επιφανειακά ιζήματα, είτε μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις υπό την επίδραση ρευμάτων και ανέμων. Από την άλλη μεριά, αν η ταχύτητά τους είναι μικρή, τότε το πετρέλαιο βυθίζεται και εναποτίθεται στα ιζήματα του βυθού.

Το πετρέλαιο που έχει συσσωρευτεί στον βυθό μπορεί να επαναιωρηθεί από τα ρεύματα, συμπεριλαμβανομένων των παράκτιων ρευμάτων και των ρευμάτων που δημιουργούνται από την δράση των κυμάτων.



Εικόνα 5.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την συμπεριφορά των πετρελαιοειδών στο θαλάσσιο περιβάλλον (NRC, 1999).

Στην περίπτωση του Sea Diamond δυστυχώς, δεν υπάρχουν δεδομένα σχετικά με υδρολογικά δεδομένα και ρευματομετρήσεις της περιοχής της Καλντέρας. Πέραν από κάποιες εκτιμήσεις που έχουν γίνει από το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών (Ελ.Κε.Θ.Ε) ως προς την κυκλοφορία του νερού στον κόλπο της Καλντέρας, δεν έχει βρεθεί βιβλιογραφία σχετικά με ταχύτητες και διευθύνσεις ρευμάτων της περιοχής. Εξάιρεση αποτελούν μερικές ανεπίσημες πηγές που αναφέρουν ότι η ρευματική δραστηριότητα στην περιοχή του ναυαγίου είναι εξαιρετικά μικρή. Έτσι, καθίσταται εξαιρετικά δύσκολο να εκτιμηθεί η ακριβής συμπεριφορά των πετρελαιοειδών που απελευθερώνονται με συνεχείς ρυθμούς από το κουφάρι του πλοίου στη θαλάσσια στήλη της περιοχής.

5.2.2. Επιφάνεια θάλασσας

Όσο αφορά την συγκέντρωση του πετρελαίου στην επιφάνεια της θάλασσας, αυτή επηρεάζεται κυρίως από την ένταση των ανέμων και το ύψος των κυμάτων που επικρατούν. Άνεμοι μεγάλης έντασης και συνάμα μεγάλοι κυματισμοί προκαλούν μεγαλύτερη διάλυση, εξάπλωση και συγχρόνως μεταφορά των πετρελαιοειδών σε μεγαλύτερες αποστάσεις.

Στην περίπτωση του Sea Diamond, είναι γνωστό ότι στην περιοχή του ναυαγίου και κυρίως τους χειμερινούς μήνες, πνέουν συχνά άνεμοι μεγάλης έντασης (κυρίως Νοτιοδυτικών πάνω από 6 Beaufort) οι οποίοι καθιστούν τεχνικά αδύνατο τον μηχανικό περιορισμό του πετρελαίου, διασκορπίζοντας το στην περιοχή της Καλντέρας (**Τεχνική Προστασίας Περιβάλλοντος, ΕΡΕ**). Αυτό δείχνει ότι το αντιρρυπαντικό φράγμα που βρίσκεται στην περιοχή για την συλλογή των πετρελαιοειδών που απελευθερώνονται συνεχώς, δεν είναι καν αποτελεσματικό, καθώς εγκλωβίζει μόνο τα πετρελαιοειδή σφαιρικού σχήματος που ανέρχονται κάθετα από τον βυθό και δεν επηρεάζονται από υποθαλάσσια ρεύματα ή κύματα. Έτσι, είναι σίγουρο πως σημαντικές ποσότητες πετρελαιοειδών διαφεύγουν εκτός φράγματος και διασκορπίζονται σε όλη την περιοχή ανάλογα με την διεύθυνση του ανέμου. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα παραπάνω συμπεράσματα βασίζονται και στα αποτελέσματα της τελευταίας δειγματοληψίας του Πολυτεχνείου Κρήτης στην περιοχή γύρω από το ναυάγιο (Νοέμβριος 2010).

5.2.3. Φυσικοχημικά Χαρακτηριστικά

5.2.3.1. Βάθος

Γενικά, το διαλυμένο οξυγόνο (dissolved oxygen, DO), η θερμοκρασία και το pH του θαλασσινού νερού μιας περιοχής μειώνονται αυξανόμενου του βάθους για τις πρώτες εκατοντάδες μέτρα, ενώ η αλατότητα αυξάνεται. Ταυτόχρονα, η υδροστατική πίεση αυξάνει, ενώ μειώνεται η διαπερατότητα του ηλιακού φωτός. Είναι πάντως πολύ σημαντικό το ότι η εξάρτηση των προαναφερθέντων παραγόντων (DO, pH, θερμοκρασία, αλατότητα) συναρτήσει του βάθους είναι χαρακτηριστική για την κάθε θαλάσσια περιοχή και μπορεί να προσδιορισθεί με ακρίβεια με μετρήσεις πεδίου και μόνον (**Phull, 2009**).

Σύμφωνα με τους (O'Brien & Mamaloukas-Frangoulis, 2009) το K/Z Sea Diamond βρίσκεται στο βυθό της Καλντέρας σε σχεδόν κάθετη θέση λόγω της απότομης μεγάλης κλίσης του βυθού. Πιο συγκεκριμένα αναφέρεται ότι η πλώρη του βρίσκεται στα 125 m και η πρύμνη στα 147 m βάθος.

Το βάθος του νερού σε συνδυασμό με τις συνθήκες που επικρατούν στην θάλασσα, ενδέχεται να έχουν μεγάλη επίπτωση σε ένα ναυάγιο. Εάν ένα σκάφος βυθιστεί σε ανοικτή θάλασσα και σε μεγάλο βάθος, τότε μπορεί να υποστεί μεγαλύτερες υλικές ζημιές κατά την διάρκεια της βύθισής του. Η ταχύτητα βύθισης ενός πλοίου εξαρτάται από την σχετική του πλευστότητα. Σε κάθε περίπτωση η ταχύτητα του σκάφους προς τον βυθό είναι διαφορετική και εξαρτάται από το σχήμα του πλοίου, το βάρος και τη στάση του.

Η διάβρωση μπορεί να συμβεί υπό την επίδραση της θαλάσσιας ανάπτυξης η οποία σχετίζεται με τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου, το οποίο με τη σειρά του εξαρτάται από την θερμοκρασία και την αλατότητα του νερού της περιοχής. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το ποσοστό της διάβρωσης μίας μεταλλικής επιφάνειας είναι το βάθος του νερού, τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού, το ποσοστό εκταφής σε επιφανειακό ίζημα πυθμένα, η βιολογική δραστηριότητα και η θαλάσσια ανάπτυξη. Οι μηχανισμοί και τα ποσοστά διάβρωσης του χάλυβα και σιδήρου από τη διάβρωση στα υποβρύχια ναυάγια είναι αρκετά κατανοητοί (MacLeod, 2002).

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι με τον όρο διάβρωση εννοείται η καταστροφή, φθορά ή και λειτουργική αχρήστευση ενός υλικού εξαιτίας χημικής ή ηλεκτροχημικής δράσης του υλικού με το περιβάλλον του (Πολυτεχνείο Κρήτης, 2011). Ο όρος αναφέρεται τόσο στο φαινόμενο της δράσης, όσο και στο αποτέλεσμα της. Το υλικό και το περιβάλλον ή το διαβρωτικό μέσο αποτελούν ένα σύστημα διάβρωσης. Σε κάθε περίπτωση το διαβρωτικό σύστημα είναι ετερογενές και η διάβρωση εμφανίζεται στη διεπιφάνεια. Επομένως, ο κρίσιμος παράγων στην εξέλιξη του φαινομένου από πλευράς υλικού είναι η επιφανειακή του κατάσταση. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των μορφών διάβρωσης είναι η επιφανειακή αλλοίωση των υλικών. Η αλλοίωση αυτή οφείλεται στα προϊόντα διάβρωσης, τα οποία είτε συσσωρεύονται στην επιφάνεια καλύπτοντας την τοπικά ή σε όλη την έκτασή της, είτε διαφεύγουν προς το διαβρωτικό περιβάλλον, χωρίς να αποκλείονται και τα δύο (Υφαντής, 2000).

Κατά τη διάβρωση παρατηρείται μεταβολή της οξειδωτικής βαθμίδας του μετάλλου. Σε μορφή χημικής δράσης η οξείδωση απαιτεί απόσπαση ηλεκτρονίων ($\text{Me}^0 \rightarrow \text{Me}^{n+} + n\text{e}^-$, όπου n το σθένος του μετάλλου). Η αντίστοιχη αναγωγική δράση (καμία οξειδωτική δράση δεν είναι αυθύπαρκτη) απαιτεί πρόσληψη ηλεκτρονίων όπως π.χ. η $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ (Υφαντής, 2000).

5.2.3.2. Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία των υδάτων μιας θαλάσσιας περιοχής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από πολλούς γεωγραφικούς παράγοντες. Σαν κανόνας μειώνεται με το βάθος, ενώ εμφανίζονται σημαντικές εποχικές επιφανειακές θερμοκρασιακές διακυμάνσεις. Σημειώνεται ότι αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγεται μείωση της διαλυτότητας των αερίων, ενώ από την άλλη συμβάλλει στην αύξηση της βιολογικής δραστηριότητας.

Όσον αφορά ειδικά στην Καλντέρα, έχει διαπιστωθεί η εξάρτησή της από το βάθος, για διάφορα σημεία της (Ελ.Κε.Θ.Ε., 2008, 2009). Για το βάθος στο οποίο βρίσκεται το ναυάγιο, η θερμοκρασία προσδιορίστηκε ότι κυμαίνεται μεταξύ 15,5-16,3 °C. Σε αυτές τις θερμοκρασίες, το πετρέλαιο μαζούτ έχει πυκνότητα περίπου ίση με 971 kg/m³ (Emergencies Science Division, 2000).

Εκτιμάται επίσης ότι οι συγκεκριμένες θερμοκρασίες είναι ιδανικές στην καλύτερη διασπορά του πετρελαίου μαζούτ (bunker oil or heavy fuel oil) στο θαλάσσιο περιβάλλον σύμφωνα με τους (Lunel T. & Davies L., 1999). Τέλος, τυχόν διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του νερού μπορούν να επηρεάσουν το ιξώδες του πετρελαίου μέσα σε ένα ναυάγιο.

5.2.3.3. Αλατότητα

Είναι γνωστό ότι η διαβρωσιμότητα του θαλασσινού νερού οφείλεται στα άλατα που περιέχει (και κυρίως το NaCl), αν και κρίσιμο ρόλο παίζουν επίσης το διαλυμένο οξυγόνο και τα σουλφίδια. Το περιεχόμενο σε άλατα του θαλασσινού νερού εκφράζει η αλατότητα, η οποία αποτελεί το περιεχόμενο σε στερεά (σε gr) ενός χιλιόγραμμου θαλασσινού νερού (αφότου έχουν οξειδωθεί πλήρως όλες οι οργανικές ενώσεις, τα ανθρακικά έχουν μετατραπεί σε οξείδια και τα ιόντα βρωμίου και ιωδίου έχουν αντικατασταθεί από χλωριόντα). Η αλατότητα εκφράζεται σαν γραμμάριο ανά χιλιόγραμμο (mg/kg) ή μέρη επί τοις χιλίοις (ppt ή ‰).

Μπορεί επίσης να εκφραστεί σαν τα ολικά διαλυμένα στερεά (total dissolved solids, TDS), με μονάδες mg/lit (ppm).

Η αλατότητα παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις ανάλογα με το βάθος και την τοποθεσία. Η αλατότητα του Αιγαίου Πελάγους ανέρχεται περίπου σε 40.080 mg/lit (**Αυλωνίτης, 2006**), ήτοι αυξημένη σε σχέση με π.χ. τον Ατλαντικό και τον Ειρηνικό ωκεανό, όπου η αλατότητα αναφέρεται σαν περίπου ίση με 36.000 και 34.000 ppm, αντίστοιχα (**Phull, 2009**).

Όσον αφορά τη θαλάσσια περιοχή της Καλντέρας, έχει εξακριβωθεί η εξάρτησή της από το βάθος, για διάφορα σημεία της (**Ελ.Κε.Θ.Ε., 2008, 2009**), ώστε να παρέχεται με ακρίβεια το δεδομένο αυτό. Συγκεκριμένα, για το βάθος στο οποίο βρίσκεται το ναυάγιο, η αλατότητα προσδιορίστηκε για το έτος 2007, περίπου ίση με 39,0 ‰ με πολύ μικρές εποχικές διακυμάνσεις, ενώ ήταν ελαφρά αυξημένη κατά το 2008, κυμαινόμενη μεταξύ 39,15-39,17 ‰, αντίστοιχα. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι η αλατότητα δεν επηρεάζει σημαντικά την συμπεριφορά και κυρίως την διαλυτότητα του πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον (**CENTRE, 2003**).

5.2.4. Χαρακτηριστικά πετρελαίου

5.2.4.1. Τύπος πετρελαίου

Είναι εξαιρετικά σημαντικό να κατανοηθεί ο ακριβής τύπος πετρελαίου που υπάρχει στις δεξαμενές ενός ναυαγίου έτσι ώστε να μελετηθεί καλύτερα η συμπεριφορά του στο θαλάσσιο περιβάλλον, καθώς και να γίνουν ευνοϊκότερες οι συνθήκες μελλοντικής απάντλησης καυσίμων. Η άμεση δειγματοληψία πετρελαίου από το ναυάγιο είναι πολύ σημαντική, διότι μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά συμπεράσματα όσο αφορά τα χαρακτηριστικά του πετρελαίου. Το είδος, η πυκνότητα, ο όγκος και η θέση του πετρελαίου σε ένα ναυάγιο ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του σκάφους, την ηλικία της κατασκευής του και άλλους παράγοντες.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το πλοίο Sea Diamond πριν βυθιστεί περιείχε σύμφωνα πάντα με το Πράσινο Διαβατήριο (**Green Passport**) και την κατάσταση φόρτωσης (**ANKO, Marine Load Planner**), τουλάχιστον:

- **437 τόνους** πετρελαίου θαλάσσης βαρέως τύπου (πετρέλαιο που ανακτάται ως υπόλειμμα ή κατάλοιπο από την αποστακτική στήλη), το οποίο είναι γνωστό με την ονομασία **Heavy Fuel Oil** ή **Bunker Oil C**, και

- **68 τόνους** πετρελαίου θαλάσσης ελαφρού τύπου (πετρέλαιο που ανακτάται ως απόσταγμα από την αποστακτική στήλη), το οποίο είναι γνωστό με την ονομασία **Marine Gas Oil**.

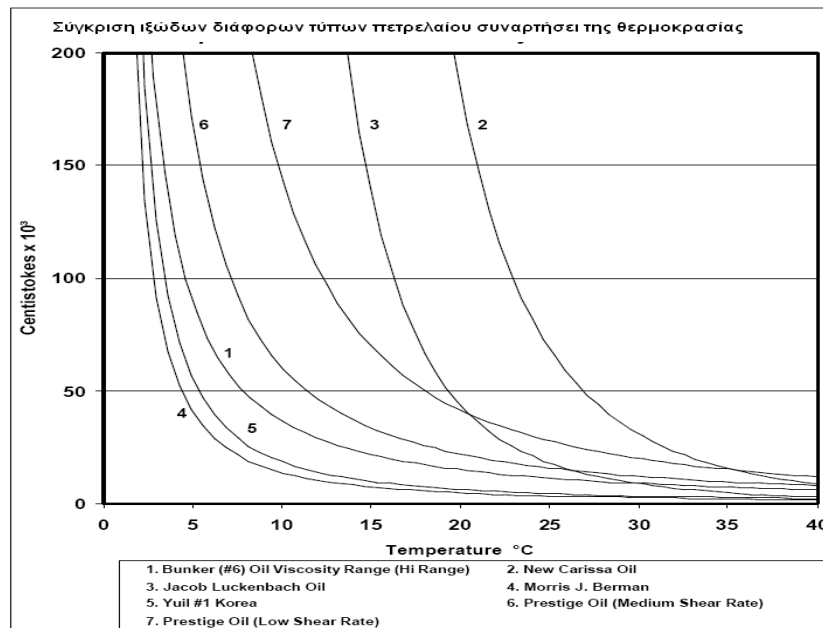
Όσο αφορά το πρώτο είδος, η πυκνότητά του στους 15 °C (θερμοκρασία ναυαγίου) είναι 971 kg/m³ και η βαρύτητα API ίση με 14.1 (**Emergencies Science Division, 2000**). Όσο αφορά το δεύτερο, η πυκνότητά του στους 15 °C είναι ίση με 875 kg/m³ και η βαρύτητα API ίση με 15.8 (**EPA**).

5.2.4.2. Ιξώδες πετρελαίου

Το ιξώδες του πετρελαίου παίζει σημαντικό ρόλο σε δραστηριότητες απελευθέρωσης του από ένα ναυάγιο. Πετρέλαιο με πυκνότητα μικρότερη από αυτή του νερού, μπορεί να ρέει ευκολότερα σε υψηλές θερμοκρασίες υδάτων, παρουσιάζοντας έτσι μία απλούστερη λύση απομάκρυνσής του. Τα πάντα, από τη δειγματοληψία μέχρι και την άντληση, γίνονται ευκολότερα όταν το πετρέλαιο είναι ελαφρύτερο από το νερό. Αν το ναυάγιο βρίσκεται σε σχεδόν όρθια θέση, τα ελαφρά λάδια χάνονται πιο εύκολα μέσα από οπές της δεξαμενής ή μέσω ρωγμών του σκάφους. Μια καλή έρευνα του ναυαγίου είναι απαραίτητη για την κατανόηση της ροής και την πιθανή απώλεια του πετρελαίου εντός του σκάφους.

Τα βαριά και επίμονα πετρελαιοειδή (βαριά κλάσματα) προκαλούν τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αυτά τα λάδια συνήθως παραμένουν κατά κύριο λόγο στις δεξαμενές του πλοίου ή των διαμερισμάτων, κυρίως σε χαμηλές θερμοκρασίες νερού. Το πετρέλαιο που βρίσκεται στις δεξαμενές (bunker oil) μπορεί να παρουσιάσει ένα ευρύ φάσμα ιξώδους ανάλογα με την θερμοκρασία, σύμφωνα με το Σχήμα 5.2. Ακόμη και μέσα σε ένα μόνο πλοίο, μπορεί να υπάρξουν διάφοροι τύποι καυσίμων. Επίσης, η διαστρωμάτωση του πετρελαίου λόγω διαφορετικών πυκνοτήτων μπορεί να συμβεί μέσα σε μια δεξαμενή με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν στρώματα λάσπης-νερού και γαλακτώματα πετρελαίου.

Στην περίπτωση του Sea Diamond, το πετρέλαιο θαλάσσης βαρέως τύπου (heavy fuel oil) έχει ιξώδες από 211 έως 640 mm²/s ή cSt (κινηματικό) (**Emergencies Science Division, 2000**), ενώ το πετρέλαιο θαλάσσης ελαφριού τύπου (marine gas oil) από 30 έως 700 mm²/s ή cSt (**Wikipedia**).



Σχήμα 5.2. Ιξώδες διάφορων τύπων πετρελαίου σε συνάρτηση με την θερμοκρασία (Michel J., 2005).

5.2.4.3. Γήρανση πετρελαίου

Ο όρος γήρανση του πετρελαίου αναφέρεται σε όλες τις φυσικοχημικές διεργασίες (εξάτμιση, οξείδωση, γαλακτοματοποίηση κτλ) που υπόκειται το πετρέλαιο όταν διαρρέυσει σε θαλάσσιο ή γενικότερα υδάτινο περιβάλλον. Αν και οι συγκεκριμένες διεργασίες λαμβάνουν χώρα με ταχείς ρυθμούς στην θαλάσσια στήλη και στην επιφάνεια της θάλασσας, δεν συμβαίνει το ίδιο όταν το πετρέλαιο βρίσκεται σε κλειστό χώρο (δεξαμενές, κατάστρωμα κτλ). Για παράδειγμα, στην περίπτωση βαρέων κλασμάτων πετρελαίου, λαμβάνει χώρα περιορισμένης έκτασης γαλακτοματοποίηση (Michel J., 2005).

Το σημαντικότερο από όλα σε μία μελέτη συμπεριφοράς του πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον, είναι το πώς αυτό θα κινηθεί έξω από το ναυάγιο, ανεξάρτητα από την μορφή του. Αν και τα ελαφρύτερα κλάσματα του πετρελαίου μπορούν να αφαιρεθούν πιο εύκολα λόγω μικρότερης πυκνότητας, η άμεση άντληση του μαζούτ μπορεί να περιοριστεί από την αργή ροή του πετρελαίου προς την είσοδο της αντλίας. Είναι επομένως σημαντικό, να είναι γνωστό το είδος, το ιξώδες και η θέση του πετρελαίου στο εσωτερικό του ναυαγίου για να επιτευχθεί σωστή απάντληση. Ύστερα από τις εργασίες αφαίρεσης πετρελαιοειδών, ποσότητες πετρελαίου και υπολείμματα παραμένουν σε δεξαμενές και διάφορους χώρους του πλοίου με τους εξής τρόπους:

- Προσκολλημένο σε εσωτερικές επιφάνειες των δεξαμενών
- Παγιδευμένο στις δεξαμενές του σκάφους
- Παραμένοντας σε δυσπρόσιτες δεξαμενές και χώρους
- Παραμένοντας σε σωληνώσεις

Στην περίπτωση του ναυαγίου του Sea Diamond, έχει πραγματοποιηθεί σύμφωνα με πληροφορίες μόνο μία προσπάθεια απάντλησης καυσίμων τον Μάιο του 2009, δύο χρόνια μετά τη βύθιση του πλοίου. Σύμφωνα με την υπεύθυνη εταιρεία (**Core Marine Ltd**), συλλέχθηκε μια σχετικά μικρή ποσότητα μίγματος πετρελαιοειδών/νερού (155 m^3), όπου η περιεκτικότητα του πετρελαίου στο μίγμα σύμφωνα με τις αναλύσεις (**Γενικό Χημείο του Κράτους**) βρέθηκε εξαιρετικά μικρή (περίπου 1% ή 1.5 m^3), από το εσωτερικό του πλοίου σε δύο σημεία (πλώρη & πρύμνη) όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.3. Θεωρείται πάντως σίγουρο ότι το πετρέλαιο δεν περιορίζεται πλέον μόνο στις δεξαμενές του Sea Diamond, αλλά βρίσκεται διασκορπισμένο σε άλλους χώρους και καταστρώματα του σκάφους.



Εικόνα 5.3. Η απάντληση πετρελαιοειδών από το Sea Diamond
(www.infographics.gr).

5.2.5. Συνθήκες ναυαγίου

Στην περίπτωση του Sea Diamond, και συγκεκριμένα μετά την ολοκλήρωση της απάντλησης καυσίμων το χρονικό διάστημα 23 Μαΐου – 1 Ιουνίου 2009, προέκυψαν τα ακόλουθα σύμφωνα με την εταιρεία απάντλησης (**Core Marine Ltd, 2009**):

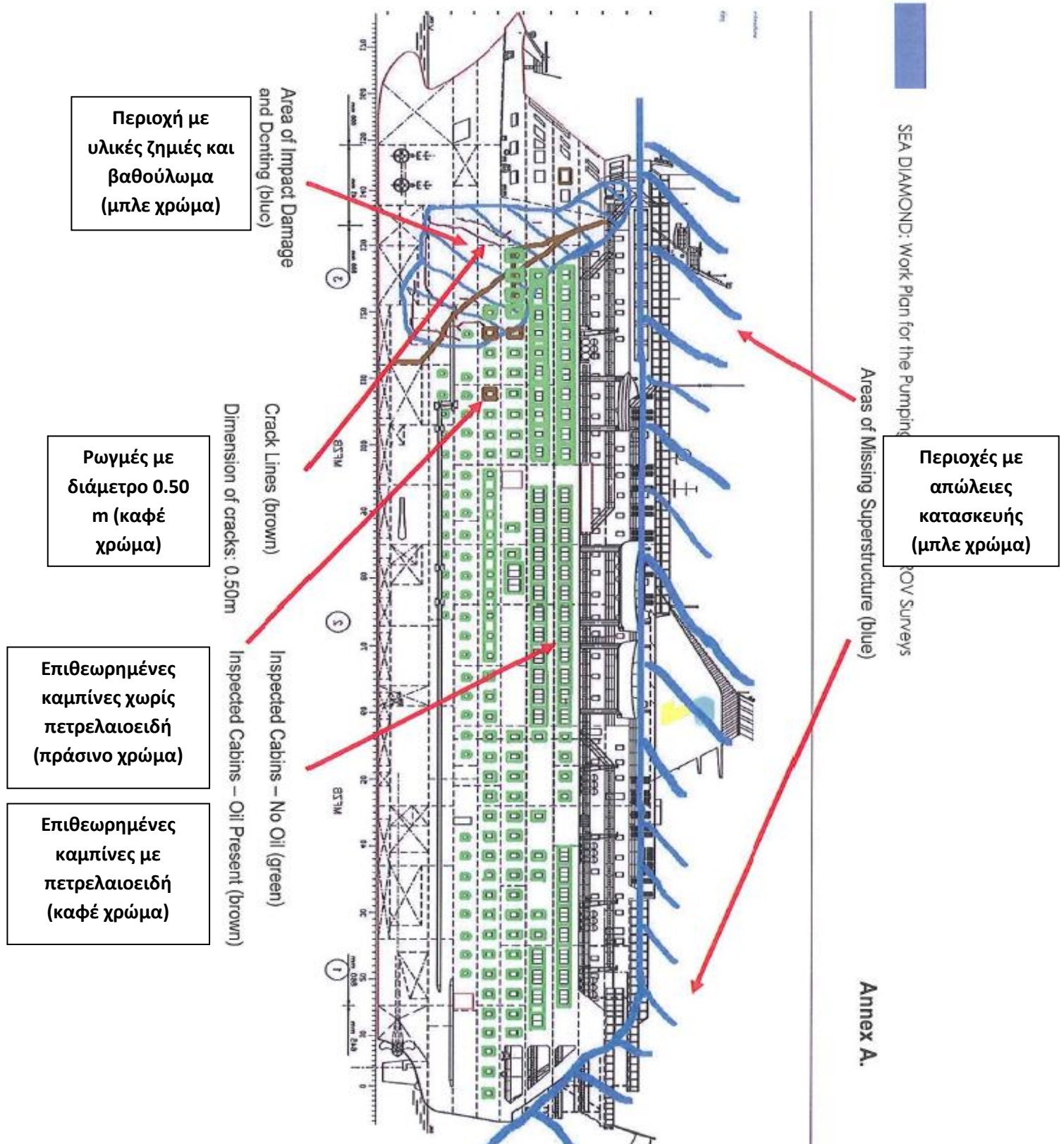
1. Τα καταστρώματα υπ'αριθμόν 10 και 11 (ανώτερα επίπεδα του πλοίου) είναι κατεστραμμένα σχεδόν ολοσχερώς και τα ελάσματα, καθώς και λοιπές σιδηροκατασκευές του, είναι πλήρως παραμορφωμένα.

Η παραμόρφωση των εξωτερικών ελασμάτων είναι ολοσχερής στη δεξιά πλευρά του πλοίου μέχρι και το ύψος του καταστρώματος 5 στο μέσον του πλοίου και μέχρι το κατάστρωμα 4 στην πρύμνη. Και στις 2 πλευρές του πλοίου, τα ελάσματα είναι παραμορφωμένα σε πολύ μεγάλη έκταση και εκτός των περιοχών που προαναφέρθηκαν ολοσχερούς παραμόρφωσης.

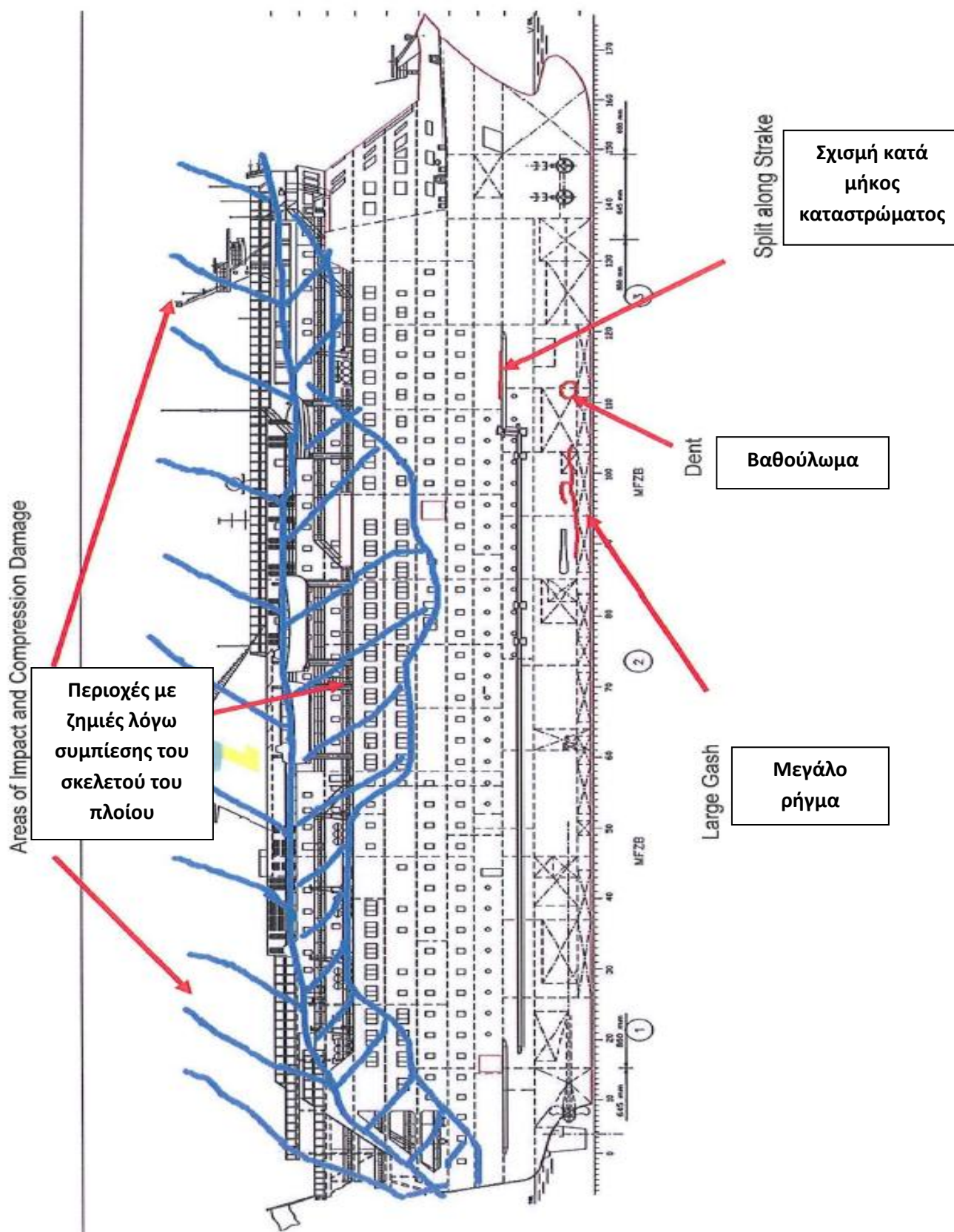
2. Στην αριστερή πλευρά του πλοίου παρατηρήθηκε εκτενής παραμόρφωση των πλευρικών ελασμάτων και ρήγμα ακανόνιστου σχήματος το οποίο διατρέχει καθ'ύψος το πλοίο από το κατάστρωμα 1 έως το 7, πλάτους έως περίπου 50 cm έχοντας μικρότερες διακλαδώσεις. Να σημειωθεί ότι το ρήγμα είναι πολύ σημαντικό για την πορεία του πετρελαίου μέσα στο ναυάγιο.
3. Στην δεξιά πλευρά του πλοίου παρατηρήθηκαν ρήγματα στο ύψος του καταστρώματος 1 και των διπυθμένων, και στο ύψος μεταξύ των καταστρωμάτων 2 και 3, αντίστοιχα.
4. Πετρελαιοειδή εντοπίστηκαν στους χώρους του σαλονιού (κατάστρωμα 7) στην πλώρη του πλοίου, σε δύο καμπίνες του καταστρώματος 4 και σε μία καμπίνα του καταστρώματος 5.

Συνεπώς, με βάση τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι το πλοίο έχει υποστεί σοβαρές ζημιές (Εικόνες 5.4, 5.5, 5.10 & 5.11) και στις δύο του πλευρές, και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία πολλών «εξόδων» απελευθέρωσης του πετρελαίου. Επομένως, κρίνεται εξαιρετικά δύσκολο να εκτιμηθούν με ασφάλεια τα εξής:

- κάποιο συγκεκριμένο και μεμονωμένο σημείο διαρροής πετρελαιοειδών
- οι ακριβείς ρυθμοί απελευθέρωσης πετρελαιοειδών



Εικόνα 5.4. Σημεία στα οποία έχει υποστεί ζημιές, ρήγματα και «βαθουλώματα» το πλοίο Sea Diamond (αριστερή πλευρά) (Dronik Maritime Consultants Ltd, 2009).



Εικόνα 5.5. Σημεία στα οποία έχει υποστεί ζημιές, ρήγματα και «βαθουλώματα» το πλοίο Sea Diamond (δεξιά πλευρά) (Dronik Maritime Consultants Ltd, 2009).

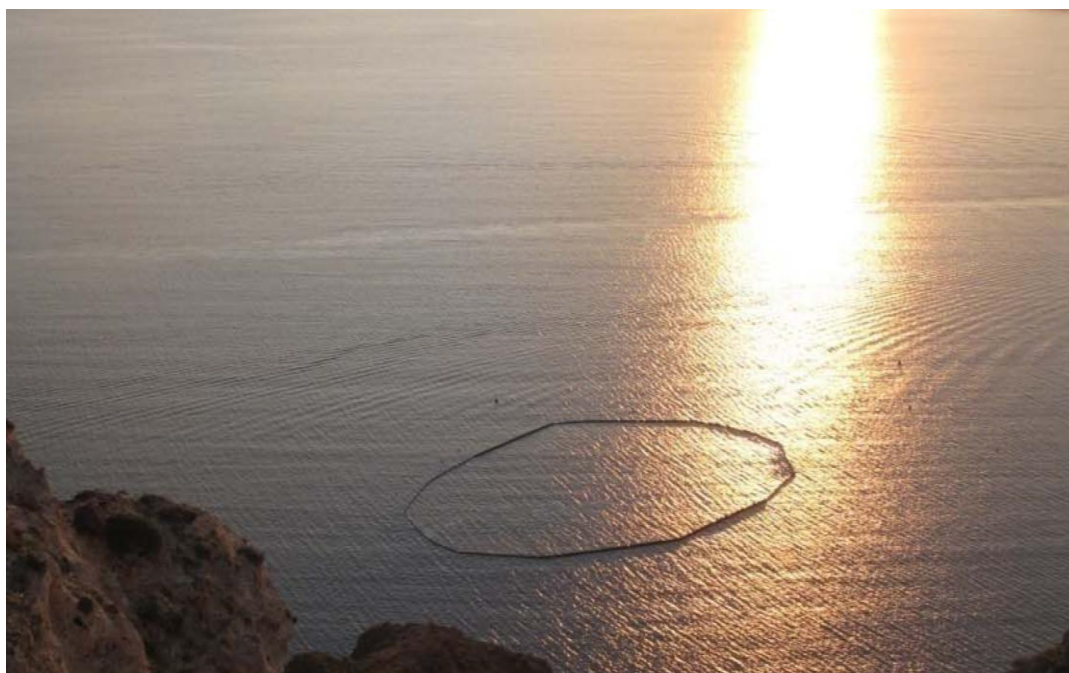
5.3. Ακτίνα απελευθέρωσης πετρελαιοειδών

Η ακτίνα απελευθέρωσης των πετρελαιοειδών που διαφεύγουν από το ναυάγιο του Sea Diamond, είναι μία παράμετρος η οποία δεν είναι δυνατόν να περιοριστεί και να υπολογιστεί με ακρίβεια. Βέβαια, το σίγουρο είναι ότι η ακτίνα απελευθέρωσης των πετρελαιοειδών αλλά και οποιασδήποτε άλλης επικίνδυνης ουσίας που προέρχεται από το ναυάγιο, δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να περιοριστεί δυτικά του ναυαγίου, καθώς και να ταυτιστεί με το νοητό όγκο νερού πάνω ακριβώς από το ναυάγιο, δηλαδή την θαλάσσια στήλη με όγκο ίσο με το εμβαδόν του αντιρρυπαντικού φράγματος επί το βάθος του ναυαγίου [$V=\pi*(150/2)^2*140\text{m}$], (O'Brien M, ITOPE 2010) (Εικόνες 5.6 & 5.7). Αυτό ισχύει διότι η συμπεριφορά και συγκεκριμένα η κατεύθυνση του πετρελαίου και οποιασδήποτε άλλης ουσίας που απελευθερώνεται στο θαλάσσιο περιβάλλον της Καλντέρας, είναι άμεσα εξαρτώμενη από:

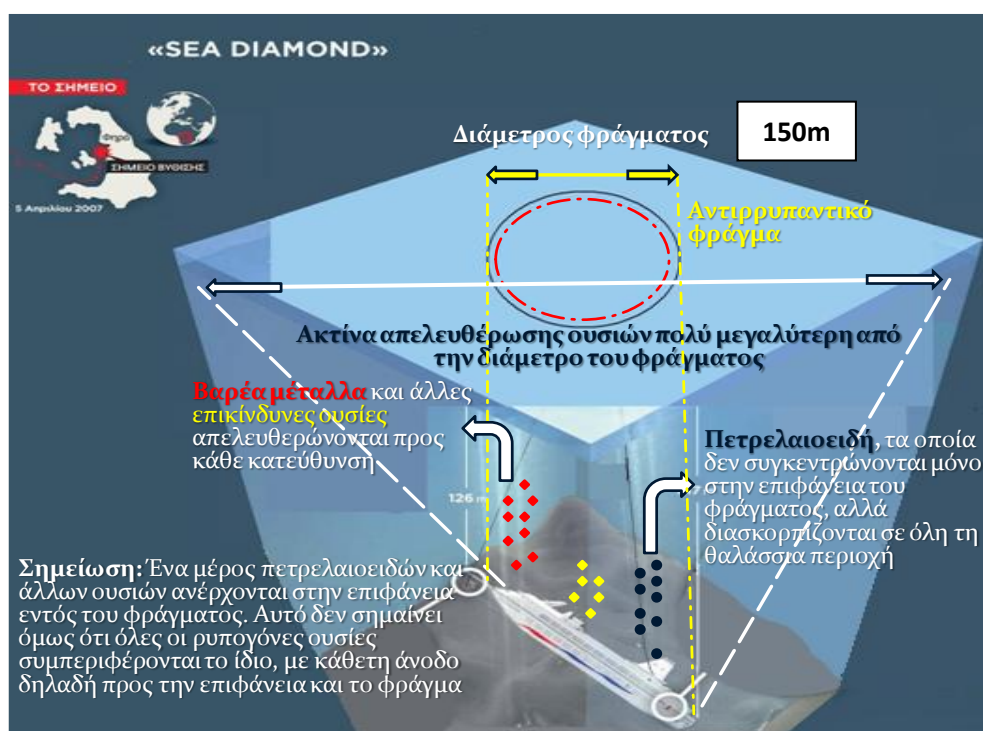
- την δραστηριότητα των υποθαλάσσιων ρευμάτων όσο αφορά την θαλάσσια στήλη νερού (όχι απαραίτητα κατακόρυφη πορεία),
- την ένταση των ανέμων όσο αφορά την επιφάνεια της θάλασσας,
- τις διαδικασίες «γήρανσης» του πετρελαίου που λαμβάνουν χώρα στο θαλάσσιο περιβάλλον (διάλυση, διασπορά, ιζηματοποίηση κτλ), καθώς και απο
- την θερμοκρασία και άλλες φυσικές παραμέτρους της θάλασσας.

Επίσης, πρέπει να αναφερθεί το γεγονός ότι επικίνδυνες ρυπογόνες ουσίες, εκτός των πετρελαιοειδών, που απελευθερώνονται στο θαλάσσιο περιβάλλον, έχουν διαφορετική συμπεριφορά από το πετρέλαιο και έτσι δεν είναι απαραίτητο να ανέρχονται αποκλειστικά κάθετα στην επιφάνεια της θάλασσας λόγω μικρότερης πυκνότητας από το θαλασσινό νερό. Άλλες ανέρχονται σε αυτήν, άλλες αιωρούνται στην θαλάσσια στήλη, άλλα καταβυθίζονται, ενώ άλλες προσροφούνται κτλ.

Στην περίπτωση των επιφανειακών ανέμων τώρα, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το αντιρρυπαντικό φράγμα περιορίζει μόνο σε ένα βαθμό την εξάπλωση ενός μέρους των πετρελαιοειδών. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι το αντιρρυπαντικό φράγμα έχει διάμετρο 150 μέτρα, ενώ το πλοίο μόνο έχει μήκος 140 μέτρα περίπου!



Εικόνα 5.6. Το αντιρρυπαντικό φράγμα ακριβώς πάνω από το ναυάγιο του Sea Diamond (Ο' Brien M, ITOPF 2010).



Εικόνα 5.7. Η ακτίνα απελευθέρωσης των πετρελαιοειδών αλλά και άλλων ρυπογόνων και επικίνδυνων ουσιών δεν περιορίζεται και εξαρτάται από σημαντικούς παράγοντες όπως τα υποθαλάσσια ρεύματα.

Δεδομένου λοιπόν ότι δεν υπάρχουν ρευματομετρήσεις (**Ψαράυτης Ν.Χ., 2010**) και γενικά υδρολογικά δεδομένα (παλίρροιες, κυκλοφορία νερού κτλ) για την περιοχή της Καλντέρας, καθώς και το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών (**Ελ.Κε.Θ.Ε**) δεν αναφέρει ταχύτητες ρευμάτων στα τεύχη μελέτης του, η ακτίνα απελευθέρωσης των πετρελαιοειδών θα μπορούσε να εκτιμηθεί με βάση τα σημεία της τελευταίας δειγματοληψίας του Πολυτεχνείου Κρήτης στα οποία ανιχνεύτηκαν Πετρελαϊκοί Υδρογονάνθρακες, χωρίς ωστόσο αυτό να σημαίνει ότι περιορίζεται στα συγκεκριμένα σημεία.

Το έτος 2010 πραγματοποιήθηκαν 5 δειγματοληπτικοί έλεγχοι σε ολόκληρη την περιοχή της Καλντέρας, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην περιοχή γύρω από το ναυάγιο. Με εξαίρεση την 5^η και τελευταία δειγματοληψία η οποία πραγματοποιήθηκε τον Νοέμβριο του 2010, οι υπόλοιπες δεν έδειξαν σημαντική επιβάρυνση της θαλάσσιας στήλης με Πετρελαϊκούς Υδρογονάνθρακες. Λαμβάνοντας υπόψη τα μακρινότερα σημεία από το ναυάγιο στα οποία ανιχνεύτηκαν Πετρελαϊκοί Υδρογονάνθρακες, πράγμα που αποδεικνύει την παρουσία πετρελαιοειδών προερχόμενα από το ναυάγιο, δεδομένου ότι:

1. τα πετρελαιοειδή που ανιχνεύτηκαν ταυτίζονται με αυτά του ναυαγίου, και
2. δεν υπάρχει άλλη πηγή πετρελαϊκής ρύπανσης στην περιοχή
3. η χημική αποτύπωση απέδειξε ταύτιση των ρύπων

Έτσι, με βάση τα συγκεκριμένα σημεία (Εικόνα 5.8) εκτιμάται με ένα σημαντικό ποσοστό σφάλματος, η ακτίνα απελευθέρωσης των πετρελαιοειδών.

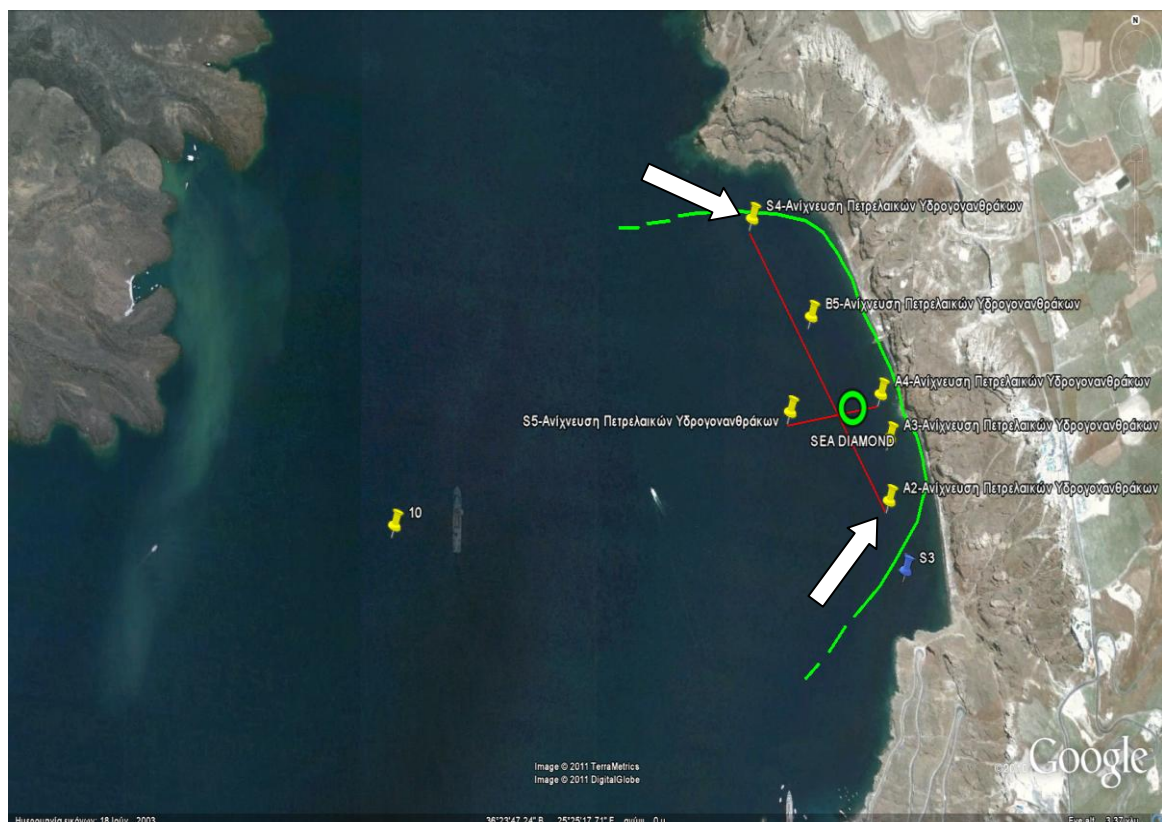
Στην Εικόνα 5.8 διακρίνονται όλα τα σημεία στα οποία μετρήθηκαν υψηλές τιμές Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων. Συγκεκριμένα, το σημείο S4 απέχει περίπου 1 χιλιόμετρο από το σημείο A2 και 600 μέτρα από το ναυάγιο, ενώ το σημείο A4 απέχει 300 περίπου μέτρα από το σημείο S5 και λιγότερο από 100 μέτρα από το ναυάγιο.

Οι παραπάνω αποστάσεις δείχνουν μία πολύ απλή εκτίμηση του υπολογισμού της ακτίνας απελευθέρωσης, βασισόμενη σε ακριβή σημεία στα οποία ανιχνεύτηκαν πετρελαιοειδή. Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι η ακτίνα περιορίζεται σε αυτές τις αποστάσεις, διότι:

1. το ναυάγιο βρίσκεται σε κόλπο όπου υπάρχει κυκλοφορία νερού (**Ελ.Κε.Θ.Ε**) κατά κύριο λόγο από τον Βορά προς το Νότο, και συνεπώς επηρεάζει την περιοχή του ναυαγίου.

2. στην περιοχή του ναυαγίου, κυρίως τους χειμερινούς μήνες, επικρατούν άνεμοι μεγάλης έντασης, μέχρι και 8 Beaufort, παράγοντας ο οποίος παίζει σπουδαίο ρόλο στην εξάπλωση και μεταφορά του πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί το γεγονός ότι ακόμα και στο σημείο 10 του χάρτη (Εικόνες 5.8), το οποίο βρίσκεται σε αρκετά μεγάλη απόσταση από το ναυάγιο (πάνω από 1500 μέτρα) ανιχνεύτηκαν Πετρελαϊκοί Υδρογονάνθρακες, χωρίς ωστόσο, αυτό να σημαίνει απαραίτητα ότι οφείλονται στο ναυάγιο. Αυτό υποστηρίζεται διότι το συγκεκριμένο σημείο βρίσκεται ανοιχτά του λιμανιού Αθηνιός, περιοχή από την οποία περνούν καθημερινά δεκάδες πλοία.



Εικόνα 5.8. Σημεία δειγματοληψίας στα οποία ανιχνεύτηκαν Πετρελαϊκοί Υδρογονάνθρακες και εκτίμηση της ακτίνας απελευθέρωσης των πετρελαιοειδών από το ναυάγιο του Sea Diamond.

5.4. Προοπτικές απελευθέρωσης ρύπων

Γενικά

Η θάλασσα αποτελεί ένα διαβρωτικό περιβάλλον για μεταλλικές και ξύλινες κατασκευές. Τα ποσοστά αλλοίωσης ενός ναυαγίου εξαρτώνται από τον τύπο και το μέγεθος της κατασκευής του, το βάθος βύθισής του, την έκτασης της ταφής του στο βυθό, και τέλος, από φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς παράγοντες (**Monfils R., 2002**). Η διάβρωση που προκαλεί το θαλασσινό νερό σε μία μεταλλική συσκευή σε συνδυασμό με την επίδραση των ιζημάτων του βυθού, των θαλάσσιων βακτηρίων και οργανισμών, και των θαλάσσιων ρευμάτων, τείνουν να μειώσουν τον όγκο ενός βυθισμένου πλοίου. Τυχόν μερική προστασία ενός ναυαγίου από την διάβρωση μπορεί να συμβεί όταν αυτό βρίσκεται θαμμένο σε άμμο βυθού μεγάλου βάθους, όπου επικρατεί μικρή παρουσία οξυγόνου και χαμηλές θερμοκρασίες. Παρόλ' αυτά, ένα ναυάγιο αλλοιώνεται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας με το πέρασμα του χρόνου, και αυτό αποδεικνύεται στην περίπτωση του κρουαζιερόπλοιου Andrea Doria που διακρίνεται στην Εικόνα 5.9 την ημερομηνία της βύθισής του και πενήντα χρόνια μετά. Η αλλοίωση ενός ναυαγίου μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την απελευθέρωση φορτίων υγρών καυσίμων, λιπαντικών ακόμα και επικίνδυνων χημικών ουσιών.



Εικόνα 5.9. Το κρουαζιερόπλοιο Andrea Doria όταν βυθίστηκε το 1956 και 50 χρόνια μετά (www.andreadoria.org).

Η διατάραξη του ναυαγίου από διάφορες δραστηριότητες όπως τα υποθαλάσσια ρεύματα και η παλιρροιακή δραστηριότητα, μπορεί να προκαλέσουν αύξηση του ρυθμού διάβρωσης της μεταλλικής επιφάνειας του πλοίου. Ισχυρά υποθαλάσσια ρεύματα που ασκούν επιρροή στην επιφάνεια ενός ναυαγίου μπορεί να οδηγήσουν σε ταχύτερη διάβρωση χάλυβα, καθώς βοηθούν στην απομάκρυνση επιχρισμάτων και επιστρώσεων βαφής. Τα ρεύματα επίσης, εισέρχονται στο εσωτερικό του ναυαγίου και τείνουν να απελευθερώσουν πετρέλαιο από το εσωτερικό του πλοίου (**Michel J., 2005**). Επιπλέον, πλοία τα οποία έχουν βυθιστεί σε ρηχά νερά και συνεπώς εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες, η αλλοίωση τους επιδεινώνεται με μεγαλύτερο ρυθμό. Αυτό οφείλεται σε ορισμένους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επικρατούν κυρίως στα ρηχά νερά, όπως η παρουσία οξυγόνου, η μικροβιακή δραστηριότητα, καθώς και οι ισχυρές υδρολογικές δυνάμεις που επικρατούν (ρεύματα, καιρικές συνθήκες, κυματισμοί), οι οποίοι έχουν άμεση επίδραση στο ναυάγιο (**Macleod, 2002**).

Η ποσότητα του πετρελαίου που έχει διαρρεύσει ή που απελευθερώνεται συνεχώς κατά την διάρκεια ενός περιστατικού διαρροής (πχ ναυάγιο), δεν είναι απαραίτητα ο σημαντικότερος παράγοντας στην εκτίμηση της επικινδυνότητας ενός ναυαγίου. Η τοποθεσία που βρίσκεται το ναυάγιο, οι καιρικές συνθήκες, τα χαρακτηριστικά του πετρελαίου και του νερού, καθώς και η ευαισθησία των θαλάσσιων οικοσυστημάτων της περιοχής, είναι τα σημαντικότερα ζητήματα που απασχολούν τους επιστήμονες στην περίπτωση ενός ναυαγίου.

Κατά την αξιολόγηση των δυνητικών κινδύνων ενός ναυαγίου, είναι αναγκαίο να εξεταστούν οι πιθανές επιπτώσεις της διαρροής, ενσωματώνοντας τις ακόλουθες πληροφορίες (**Gilbert et al, 2003**):

- Περιγραφή του περιβάλλοντος ακριβώς δίπλα και γύρω από το ναυάγιο.
- Μοντελοποίηση των πιθανών σεναρίων απελευθέρωσης του πετρελαίου και της συμπεριφοράς του στο θαλάσσιο περιβάλλον σε συνδυασμό με τη χρήση υδρολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων. Η μοντελοποίηση και συγχρόνως η πορεία του πετρελαίου θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει επίσης την επίδραση και τις διακυμάνσεις των υποθαλάσσιων ρευμάτων που επηρεάζουν την κίνηση του πετρελαίου.
- Θέση, βάθος, προσανατολισμός ναυαγίου και εκτιμώμενη απόσταση από την κοντινότερη ακτή.

- Πληροφορίες σχετικά με τον τύπο και την θέση του φορτίου τους στο εσωτερικό του πλοίου.
- Διαγράμματα των μηχανημάτων, διαμερισμάτων, σωληνώσεων και διατάξεων των δεξαμενών καυσίμων του πλοίου.
- Περιγραφή του περιβάλλοντος της περιοχής συμπεριλαμβανομένης της εκτίμησης της άγριας ζωής, των οικοτόπων, των θαλάσσιων και παράκτιων πόρων της περιοχής, και τέλος των εποχιακών διακυμάνσεων που ενδέχεται να επηρεαστούν από μια καταστροφική απελευθέρωση του πετρελαίου από το βυθισμένο ναυάγιο.
- Περιγραφή και αξιολόγηση των πιθανών κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων των πετρελαιοκηλίδων από τα ναυάγια.

Στην περίπτωση του Sea Diamond, εκτός από την διάβρωση η οποία με το πέρασμα του χρόνου θα γίνεται όλο και εντονότερη, σημαντικό παράγοντα στην μεγαλύτερη απελευθέρωση ρυπογόνων ουσιών και πετρελαιοειδών αποτελούν οι σοβαρές υλικές ζημιές και ρήγματα που έχει υποστεί το σκάφος και στις δύο του πλευρές όπως προαναφέρθηκε, κατά την διάρκεια της βύθισης, πράγμα το οποίο φαίνεται στις Εικόνες 5.10 και 5.11.



Εικόνα 5.10. Υλικές ζημιές που έχει υποστεί το Sea Diamond κατά την βύθιση του στον βυθό της Καλντέρας.



Εικόνα 5.11. Υλικές ζημιές που έχει υποστεί το Sea Diamond κατά την βύθιση του στον βυθό της Καλντέρας.

Όπως έγινε ήδη αναφορά, η εναπομένουσα ποσότητα πετρελαίου στο πλοίο ανέρχεται σύμφωνα με απλούς υπολογισμούς περίπου ίση με 320-330 τόνους. Η συγκεκριμένη ποσότητα όμως μειώνεται με το χρόνο, καθώς η διαρροή του πετρελαίου είναι συνεχής. Έτσι, μελετώντας τις προοπτικές απελευθέρωσης πετρελαιοειδών από το κουφάρι του πλοίου, προκύπτουν δύο πιθανά σενάρια. Αυτά είναι:

1. Πρώτον, η συνεχής διαρροή πετρελαιοειδών με τους ίδιους ρυθμούς απελευθέρωσης (πάνω από 30 λίτρα την ημέρα) που επικρατούν σύμφωνα με τις μέχρι τώρα εκτιμήσεις.
2. Δεύτερον, η σταδιακή ή απότομη αύξηση του ρυθμού απελευθέρωσης των πετρελαιοειδών λόγω πιθανών υλικών ζημιών που μπορεί να υποστεί το ναυάγιο στο μέλλον.

Επομένως, με βάση τα παραπάνω σενάρια που αναφέρθηκαν, κρίνεται αναγκαία η συνεχής και αυστηρή παρακολούθηση του ναυαγίου από την υπεύθυνη εταιρεία απορρύπανσης της περιοχής, έτσι ώστε σε περίπτωση μίας μεγαλύτερης διαρροής πετρελαίου να ληφθούν όλα τα απαραίτητα μέτρα αντιμετώπισής της.

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι μία δεύτερη επιχείρηση απάντλησης καυσίμων από το εσωτερικό του πλοίου και συγκεκριμένα από σημεία που υπάρχει εγκλωβισμένο πετρέλαιο, με όσο το δυνατόν πιο επιθυμητά αποτελέσματα, αποτελεί αναγκαία λύση στην απαλλαγή του εναπομείναντος πετρελαίου από το ναυάγιο και γενικότερα από την περιοχή της Καλντέρας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των πετρελαιοειδών του Sea Diamond στη θαλάσσια στήλη της με χρήση του προγράμματος DESCAR.

6.1. Εισαγωγή

Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι να μελετηθεί, έστω μικροσκοπικά (ελαφριά κλάσματα πετρελαίου – περισσότερο υδατοδιαλυτά), η συμπεριφορά των πετρελαιοειδών που απελευθερώνονται καθημερινά από το κουφάρι του Sea Diamond στην θαλάσσια στήλη της Καλντέρας, πως αυτά επηρεάζονται από τα θαλάσσια ρεύματα που επικρατούν, και τέλος, κατά πόσο είναι αποτελεσματικό το αντιρρυπαντικό φράγμα της περιοχής στον περιορισμό του ανερχόμενου πετρελαίου. Ο ρυθμός απελευθέρωσης του πετρελαίου δεν είναι απολύτως γνωστός, καθώς τα μόνα γνωστά στοιχεία είναι κάποιες εκτιμήσεις ποσοτήτων των πετρελαιοειδών και ελαιωδών που συλλέγονται καθημερινά στα πλαίσια των διαδικασιών καθαρισμού και απορρύπανσης της περιοχής. Ωστόσο, έχουν γίνει κάποιες εκτιμήσεις όσο αφορά τους ρυθμούς και τις ποσότητες που απελευθερώνονται καθημερινά (**Michael O'Brien, ITOPF 2010**).

Για αυτό τον σκοπό λοιπόν, χρησιμοποιήθηκε το παρακάτω μοντέλο (**DESCAR model, Canarina Algorithmos 2005**), το οποίο θεωρήθηκε κατάλληλο για την συγκεκριμένη περίπτωση. Ο λόγος για τον οποίον επιλέχθηκε το συγκεκριμένο λογισμικό και αποκλείστηκαν άλλα εξειδικευμένα για διαρροές πετρελαιοκηλίδων στο θαλάσσιο περιβάλλον, είναι ότι στην περίπτωση του Sea Diamond, οι ποσότητες πετρελαίου που υφίστανται είναι σχετικά μικρές. Τα μοντέλα που μελετούν πετρελαιοκηλίδες, όπως για παράδειγμα το OILMAP και το GNOME, εφαρμόζονται για περιπτώσεις μεγάλων διαρροών πετρελαίου σε ανοιχτές θάλασσες και πετρελαιοκηλίδων μεγέθους χιλιάδων τόνων που έχουν προέλθει από μεγάλα ναυτικά ατυχήματα. Έτσι, θεωρήθηκε ιδανικό να επιλεγθεί ένα πρόγραμμα που να μελετάει την συμπεριφορά και διασπορά των οργανικών ρύπων του πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον σε συνάρτηση όλων των παραμέτρων του ρύπου (ρυθμός απελευθέρωσης, ποσότητα απελευθέρωσης, ταχύτητα, πυκνότητα ρύπου) και των υδρολογικών δεδομένων (πυκνότητα νερού, ταχύτητα και διεύθυνση θαλάσσιων ρευμάτων, βάθος εκροής ρύπου).

6.2. Το μοντέλο DESCAR

Το μοντέλο – λογισμικό DESCAR 3.2 έχει κατασκευαστεί από την εταιρεία **Canarina Algoritmos Numericos, S.L. (Canarina AN)** με σκοπό την ανάλυση, την πρόβλεψη και τον υπολογισμό της τρισδιάστατης διασποράς διάφορων ρύπων στο νερό. Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει την δυνατότητα να μελετήσει την συμπεριφορά ρυπογόνων ουσιών στο θαλάσσιο περιβάλλον, όπως βαρέων μετάλλων, οργανικών ενώσεων, κυανιούχων ενώσεων κτλ. Στηρίζεται σε μαθηματικές εξισώσεις και αριθμητικές προσομοιώσεις, με βάση τις οποίες γίνεται μία εκτίμηση της ρύπανσης κατά προσέγγιση. Οι αριθμητικοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιεί το DESCAR, δίνουν τη δυνατότητα μελέτης μίας μεγάλης ποσότητας ρύπων που συναντώνται σε υδάτινο περιβάλλον.

Το λογισμικό εισάγει υδρολογικά δεδομένα έτσι ώστε να καθοριστεί η μορφή των ρυπογόνων πλουμιών. Υπολογίζει τη συγκέντρωση των ρύπων που παράγονται από μία ή περισσότερες πηγές και εκτιμάει την κατάσταση των ρύπων σύμφωνα με την επίδραση των υδάτινων ρευμάτων. Το DESCAR έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει προσωρινά μέσους όρους (ημερήσιους, μηνιαίους ή ετήσιους), ώστε να υπολογίζεται η μέση συγκέντρωση του ρύπου σε κάθε σημείο της ρυπασμένης περιοχής.

Το σύστημα προσομοίωσης των διεργασιών της διασποράς που διαθέτει το DESCAR, προσφέρει ένα γρήγορο και πρακτικό σύστημα για την αξιολόγηση της διασποράς των ρύπων στο νερό. Θεωρείται ένα από τα καλύτερα εργαλεία για να πραγματοποιήσει αριθμητικές προσομοιώσεις των διαδικασιών της ρύπανσης των υδάτων.

Χωρίς να ληφθεί υπόψη η τυχόν εμπειρία που μπορεί να διαθέτει ο χρήστης στην χρησιμοποίηση εργαλείων προσομοίωσης, μέσα σε λίγα λεπτά μπορεί να εξάγει τα πρώτα αποτελέσματα. Τέλος, στην επιστημονική βιβλιογραφία υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία μοντέλων για την αξιολόγηση της διασποράς των ρύπων στο νερό. Σίγουρα υπάρχουν διαφορές από πρόγραμμα σε πρόγραμμα, καθώς τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων κάθε μοντέλου είναι διαφορετικά. Το πρόβλημα είναι ότι η διασπορά είναι ένα πολύπλοκο φυσικό φαινόμενο (που περιλαμβάνει την κρίση, μη γραμμική δυναμική και θερμοδυναμική των μόνιμων διαδικασιών) και στόχος είναι να απλοποιηθεί με μια απλή εξίσωση.

6.3. Εκτίμηση της δυνητικής απελευθέρωσης των επικίνδυνων ρύπων (προσομοίωση πηγής ρύπανσης και συμπεριφοράς της)

Το λογισμικό DESCAR 3.2 μοντελοποιεί την συμπεριφορά, και συγκεκριμένα την κίνηση ενός ρύπου στο θαλάσσιο περιβάλλον, ο οποίος διαρρέει από μία ή περισσότερες σημειακές πηγές, υπό την επίδραση των υποθαλάσσιων ρευμάτων. Στην περίπτωση του Sea Diamond, ο μελετώμενος ρύπος είναι το πετρέλαιο το οποίο διαρρέει από περισσότερα από ένα σημεία του ναυαγισμένου πλοίου. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, αυτό συμβαίνει διότι το πλοίο έχει υποστεί σοβαρές υλικές ζημιές και ρήγματα και στις δύο του πλευρές. Έτσι, καθίσταται εξαιρετικά αδύνατο να οριστεί μόνο μία πηγή ρύπανσης πετρελαιοειδών σε συγκεκριμένο σημείο του ναυαγίου. Για τον παραπάνω λόγο, αλλά και για την ορθότερη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς του πετρελαίου στην θαλάσσια στήλη της Καλντέρας, το ναυάγιο θεωρείται μία ενιαία και μοναδική σημειακή πηγή ρύπανσης πετρελαιοειδών της περιοχής. Για να γίνει πιο κατανοητό, το πλοίο θεωρείται πως λειτουργεί σαν ένας τεράστιος αγωγός, κάθετος προς την επιφάνεια της θάλασσας, ο οποίος απελευθερώνει συνεχώς πετρέλαιο.

Όσο αφορά τους ρυθμούς απελευθέρωσης και τις ποσότητες του πετρελαίου που διαρρέουν, έχουν γίνει σημαντικές εκτιμήσεις και υπολογισμοί που ανταποκρίνονται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από την πραγματικότητα. Πιο συγκεκριμένα, η εταιρεία απορρύπανσης (**Τεχνική Προστασίας Περιβάλλοντος (EPE) & Michael O'Brien-ITOPF**) που συλλέγει καθημερινά ποσότητες πετρελαιοειδών από την περιοχή και παρακολουθεί το ναυάγιο από την μέρα της βύθισής του μέχρι σήμερα, εκτιμάει ότι η ποσότητα του πετρελαίου που διαρρέει καθημερινά είναι περίπου 25-30 λίτρα. Οι εκτιμήσεις αυτές βασίζονται στο γεγονός ότι η συγκεκριμένη ποσότητα αντιστοιχεί στην ποσότητα πετρελαιοειδών που συλλέγεται από την εν λόγω εταιρεία καθημερινά, δίχως να υπολογίζονται οι ποσότητες που δεν συγκεντρώνονται εντός του φράγματος και διασκορπίζονται στην υπόλοιπη θαλάσσια περιοχή, και συνεπώς δε συλλέγονται.

Από την άλλη πλευρά, το **Πολυτεχνείο Κρήτης** θεώρησε σημαντικό να προβεί σε περαιτέρω εκτιμήσεις όσο αφορά τις ποσότητες πετρελαίου που απελευθερώνονται καθημερινά από το κουφάρι του πλοίου.

Έτσι, θεωρείται ότι η ποσότητα πετρελαιοειδών που απελευθερώνεται καθημερινά από τα σημεία διαρροής του πλοίου, είναι τουλάχιστον διπλάσια από αυτήν που συλλέγεται, δηλαδή 60 λίτρα/ημέρα. Η εκτίμηση αυτή ανταποκρίνεται περισσότερο στην πραγματικότητα, καθώς είναι βέβαιο ότι ένα μεγάλο μέρος της ποσότητας που διαρρέει, δεν συλλέγεται, λόγω:

- της ρευματικής δραστηριότητας (παρασύρονται από τα υποθαλάσσια ρεύματα της περιοχής),
- των ισχυρών ανέμων (κυρίως επιφανειακά),
- των διαδικασιών διασποράς και διάλυσης που λαμβάνουν χώρα στο θαλάσσιο περιβάλλον,
- της πιθανής εναπόθεσης ποσοτήτων πετρελαίου στον βυθό (κυρίως βαριά κλάσματα).

Συνεπώς, αυτές οι ποσότητες πετρελαίου δεν συμπεριλαμβάνεται στις εκτιμήσεις της εν λόγω εταιρείας. Οι παραπάνω εκτιμήσεις είναι οι μοναδικές που έχουν γίνει μέχρι σήμερα από ειδικούς, και συνεπώς είναι οι πλέον κατάλληλες για να χρησιμοποιηθούν στην μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των πετρελαιοειδών που απελευθερώνονται συνεχώς από το ναυάγιο.

6.4. Εφαρμογή του μοντέλου DESCAR στην περίπτωση του Sea Diamond – Σενάρια

6.4.1. Ρεαλιστικό σενάριο (1)

Το πρώτο σενάριο βασίζεται σε κατά προσέγγιση πραγματικά δεδομένα, και αυτό γιατί όπως αναφέρθηκε δεν είναι απολύτως γνωστοί τόσο οι ρυθμοί απελευθέρωσης όσο και οι ποσότητες απελευθέρωσης των πετρελαιοειδών από το ναυάγιο. Επίσης, δεν υπάρχουν βιβλιογραφικές πηγές σχετικά με ρευματομετρήσεις της περιοχής της Καλντέρας (**Ψαραύτης Ν.Χ., 2010**). Αυτό σημαίνει ότι υδρολογικά δεδομένα, όπως οι ταχύτητες ρευμάτων, θα χρησιμοποιηθούν υποθετικά, χωρίς ωστόσο να αποκλίνουν σημαντικά από την πραγματικότητα. Συνεπώς, γίνεται χρήση των δεδομένων που υπάρχουν και έχουν εκτιμηθεί (**30 litres/day** σύμφωνα με **ITOPF & EPE**), έτσι ώστε να μελετηθεί όσο το δυνατόν καλύτερα η συμπεριφορά των πετρελαιοειδών που απελευθερώνονται καθημερινά από το ναυάγιο στο θαλάσσιο περιβάλλον της Καλντέρας.

Όσο αφορά τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν σε αυτό το σενάριο, αυτά είναι τα εξής:

1) Υδρολογικά δεδομένα (Ambient Data)

Τα υδρολογικά δεδομένα αφορούν:

- την **πυκνότητα του νερού** η οποία έχει τιμή **1029 kg/m³** (Water density) σε βάθος 140 μέτρων και θερμοκρασία $T=16\text{ }^{\circ}\text{C}$, σύμφωνα με τις μελέτες του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών στην περιοχή (**ΕΛ.Κε.Θ.Ε**).
- την **ταχύτητα του θαλάσσιου ρεύματος** (Current velocity) που επικρατεί στην περιοχή. Επειδή δεν υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με ρευματομετρήσεις και υδρολογικά δεδομένα της περιοχής (παλίρροιες, ρεύματα κτλ), επιλέγεται μία εξαιρετικά χαμηλή τυπική τιμή ταχύτητας θαλάσσιου ρεύματος για το συγκεκριμένο σενάριο, ίση με 0.001 m/s. Αυτό γίνεται έτσι ώστε η μελέτη συμπεριφοράς του ρύπου να είναι όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτική
- Την **διεύθυνση του ρεύματος** (Current angle (0 to 360)), η οποία ορίζεται ως η οριζόντια γωνία του θαλάσσιου ρεύματος και μετριέται δεξιόστροφα από τον Βορρά. Έτσι, με βάση την βιβλιογραφία (**ΕΛ.Κε.Θ.Ε**), η κυκλοφορία του νερού είναι πιθανότατα από βορά προς νότο με είσοδο από το βόρειο άνοιγμα της

Καλντέρας προς την ανοιχτή θάλασσα, κύρια ροή προς το νότο στα ανατολικά της Νέας Καμένης και έξοδο από το νοτιοδυτικό όριο της Καλντέρας, χωρίς ωστόσο να επιβεβαιώνεται από ρευματομετρήσεις. Συνεπώς, η επικρατούσα διεύθυνση του θαλάσσιου ρεύματος με βάση αυτές τις πληροφορίες είναι συνήθως **βόρειο-βορειοδυτική**, με κατεύθυνση προς το νότο (έστω 140°). Η συγκεκριμένη πληροφορία θεωρείται ως η πιο έγκυρη και γι' αυτό θα χρησιμοποιηθεί ως δεδομένο για το μοντέλο DESCAR. Όμως, πρέπει να σημειωθεί ότι δε θα θεωρούνταν εσφαλμένο να χρησιμοποιηθούν άλλες διευθύνσεις ρεύματος στην συγκεκριμένη περίπτωση, καθώς και αυτή η παράμετρος δεν είναι σταθερή.

2) Δεδομένα ρύπου (Pollutant Data)

Τα δεδομένα του ρύπου (πετρελαιοειδών) αφορούν:

- την **πυκνότητα του ρύπου** (Pollutant density) η οποία ισούται με **971 kg/m^3** (πυκνότητα πετρελαίου heavy fuel oil σε θερμοκρασία $T=16 \text{ C}^\circ$ (**Emergencies Science Division, 2000**)).
- την **ταχύτητα εκροής του ρύπου** (Effluent velocity), η οποία εκτιμάται περίπου ίση με **0.05 m/s** (πολύ μικρή), διότι ο ρύπος απελευθερώνεται στο θαλάσσιο περιβάλλον με μηδενική ουσιαστικά αρχική ταχύτητα, και ανέρχεται στην επιφάνεια αποκλειστικά και μόνο λόγω μικρότερης πυκνότητας από το νερό (ελαφρύτερο από το νερό). Έτσι, η παραπάνω τιμή είναι καθαρά προσεγγιστική, χωρίς όμως να διαφέρει σημαντικά από την πραγματική.
- την **παροχή εκροής του ρύπου** (Discharge flow rate), η οποία εκτιμάται κατά μέσο όρο ίση με **30 l/day** (ή περίπου 30 kg/day) ή περίπου $1.25 \text{ l/hour} \rightarrow 0.00125 \text{ m}^3/3600 \text{ sec} = 3.47 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{sec}$ σύμφωνα με τους **Michael O'Brien, ITOPF 2010 & Environment Protection Agency, EPE.** Πρέπει να σημειωθεί ότι η παραπάνω εκτιμημένη ποσότητα (κατά μέσο όρο 30 litres) είναι αυτή που συλλέγεται καθημερινά από την εταιρεία απορρύπανσης και καθαρισμού της περιοχής. Άρα είναι προφανές ότι η παραπάνω ποσότητα δεν αντιστοιχεί στην πραγματική ολική ποσότητα που απελευθερώνεται.

Στο δεύτερο σενάριο της μελέτης συμπεριφοράς των πετρελαιοειδών που ακολουθεί, υπολογίζεται προσεγγιστικά πάντα, ένα σημαντικό ποσοστό σφάλματος, θεωρώντας ότι η συνολική ποσότητα πετρελαίου που απελευθερώνεται καθημερινά από το ναυάγιο είναι τουλάχιστον διπλάσια (60 litres).

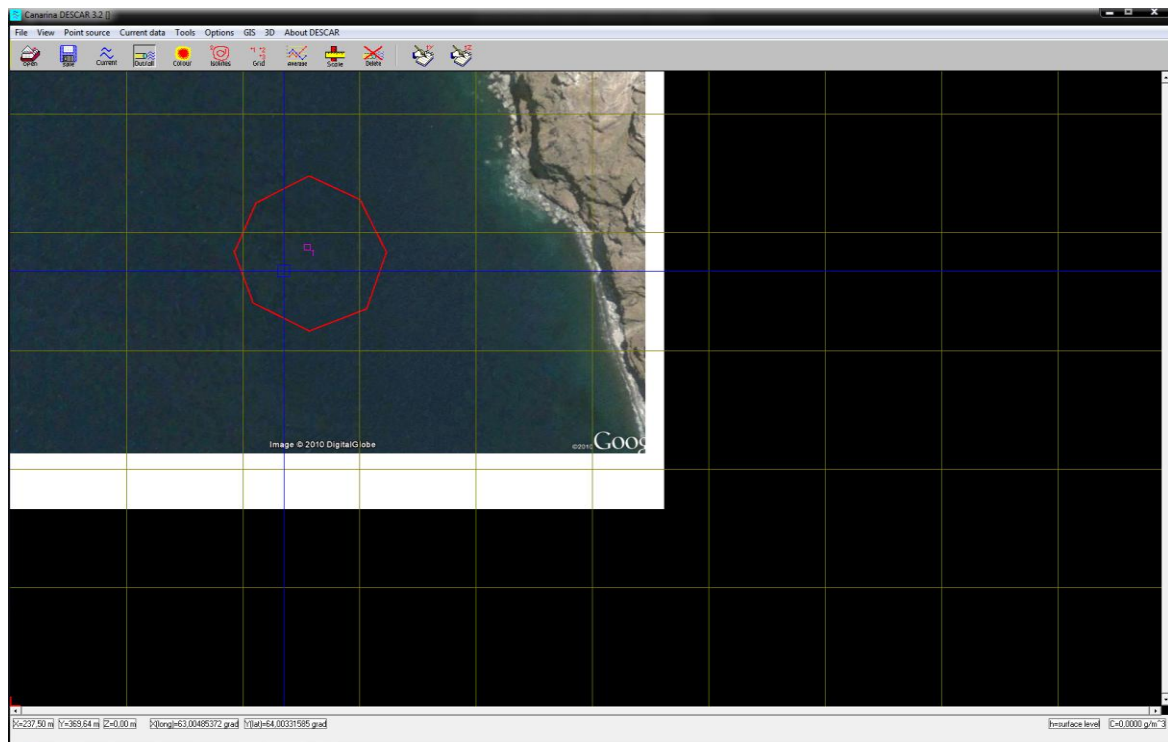
Τα δεδομένα του ρύπου στην περίπτωση αυτή αφορούν:

- το **βάθος εκροής του ρύπου** (Water depth at discharge location) το οποίο αντιστοιχεί στο βάθος του ναυαγίου, δηλαδή **140m**. Η συγκεκριμένη τιμή βέβαια, ίσως να αποκλίνει λίγο από την πραγματική, καθώς δεν είναι γνωστό το ακριβές σημείο του πλοίου από το οποίο διαρρέει το πετρέλαιο.
- την **συγκέντρωση του ρύπου** (Pollutant Concentration), η οποία ισούται με **971000 gr/m³**, δηλαδή την πυκνότητα του ρύπου που απελευθερώνεται εκφρασμένη σε μονάδες gr/m³. Αυτό ισχύει διότι η ρυπογόνος ουσία που αποβάλλεται στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι σχεδόν καθαρό πετρέλαιο (**Canarina Algorithmos**).

Στην συνέχεια ακολουθεί η εφαρμογή των σεναρίων στο λογισμικό DESCAR 3.2 και τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης.

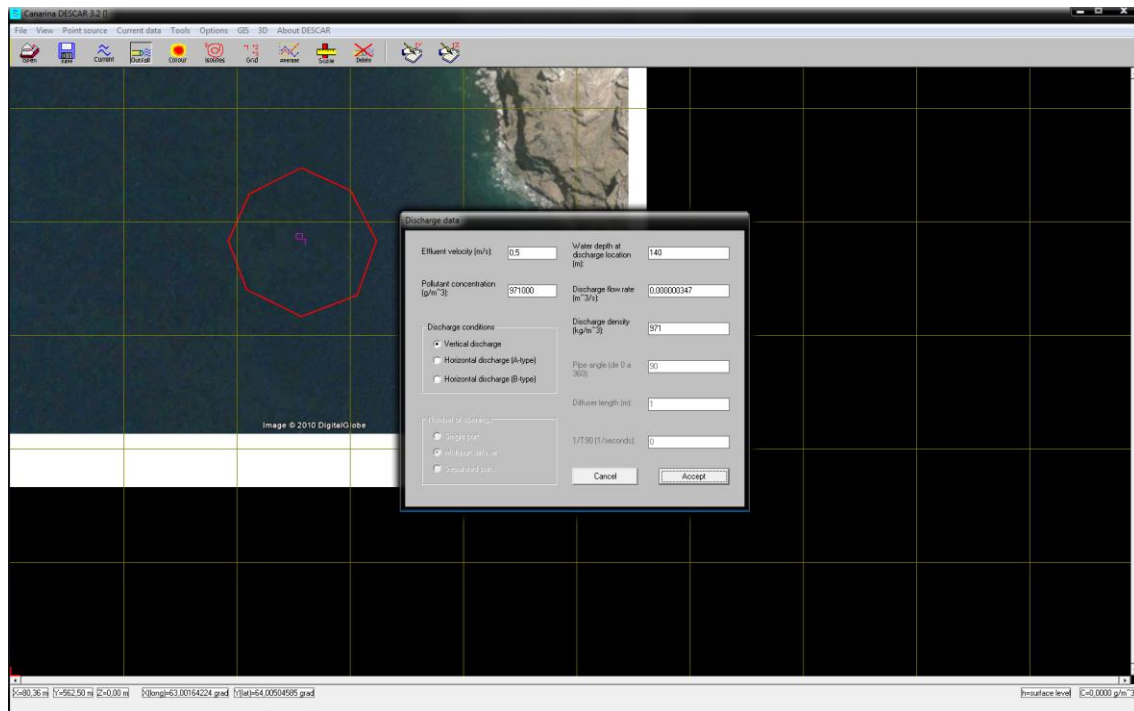
➤ Σενάριο 1 - Εισαγωγή Δεδομένων στο μοντέλο DESCAR

Το πρόγραμμα έχει μία γραμμή μενού και εργαλείων πάνω αριστερά, ενώ κάτω έχει μια γραμμή κατάστασης. Στην Εικόνα 6.1 έχει εισαχθεί ο χάρτης της περιοχής του ναυαγίου, όπου το κόκκινο πολύγωνο προσδιορίζει το αντιρρυπαντικό φράγμα σε σχεδόν πραγματικές διαστάσεις (150 m διάμετρος), έτσι ώστε οι υπολογισμοί να γίνουν αυτόματα πάνω στον συγκεκριμένο χάρτη. Να σημειωθεί ότι το πλοίο Sea Diamond έχει μήκος περίπου 143 μέτρα, πράγμα που δείχνει ότι η διαφορά ανάμεσα στις διαστάσεις του φράγματος και του πλοίου είναι αμελητέα. Πρόκειται για μία σημειακή πηγή απελευθέρωσης ρύπου, με κάθετη απόρριψη προς την επιφάνεια της θάλασσας.



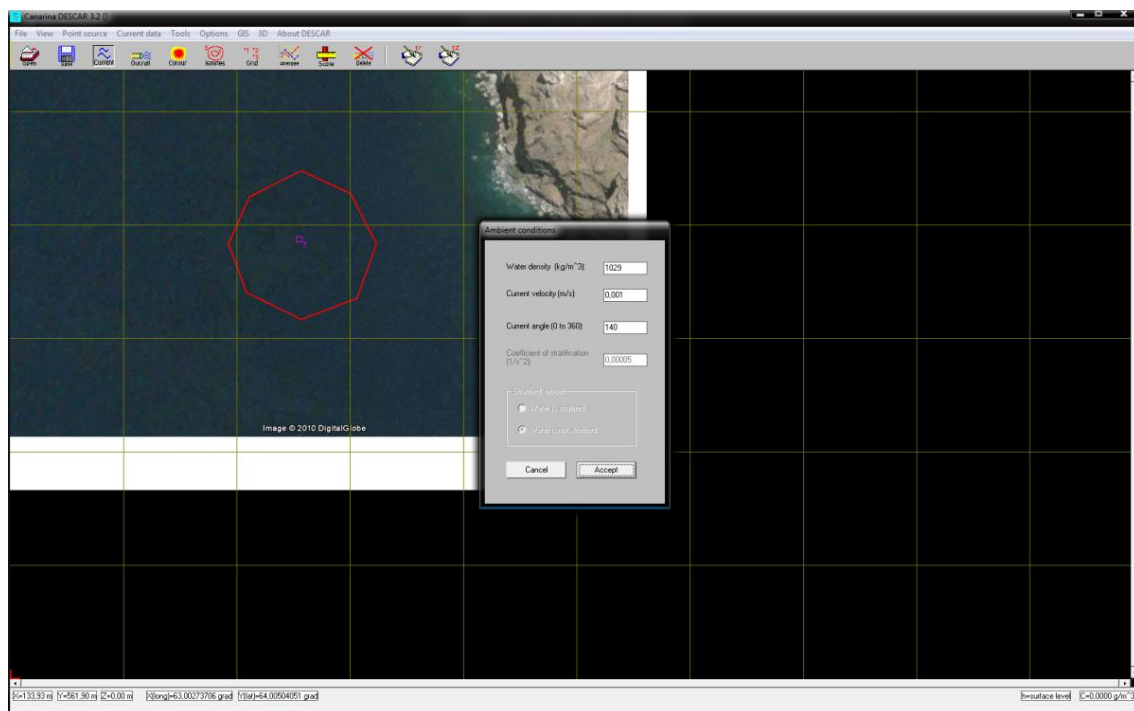
Εικόνα 6.1. Εισαγωγή χάρτη της περιοχής του ναυαγίου στο πρόγραμμα DESCAR 3.2.

Στην Εικόνα 6.2 που ακολουθεί, προσδιορίζεται το σημείο απελευθέρωσης του ρύπου το οποίο ισοδυναμεί με το κέντρο του αντιρρυπαντικού φράγματος. Στο πλαίσιο που υπάρχει στο κέντρο της εικόνας εισάγονται τα δεδομένα του ρύπου (discharge data), όπως η ταχύτητα εκροής, η συγκέντρωση, ο ρυθμός απελευθέρωσης, η πυκνότητα και το βάθος εκροής του ρύπου.



Εικόνα 6.2. Προσδιορισμός σημείου απελευθέρωσης και εισαγωγή δεδομένων ρύπου.

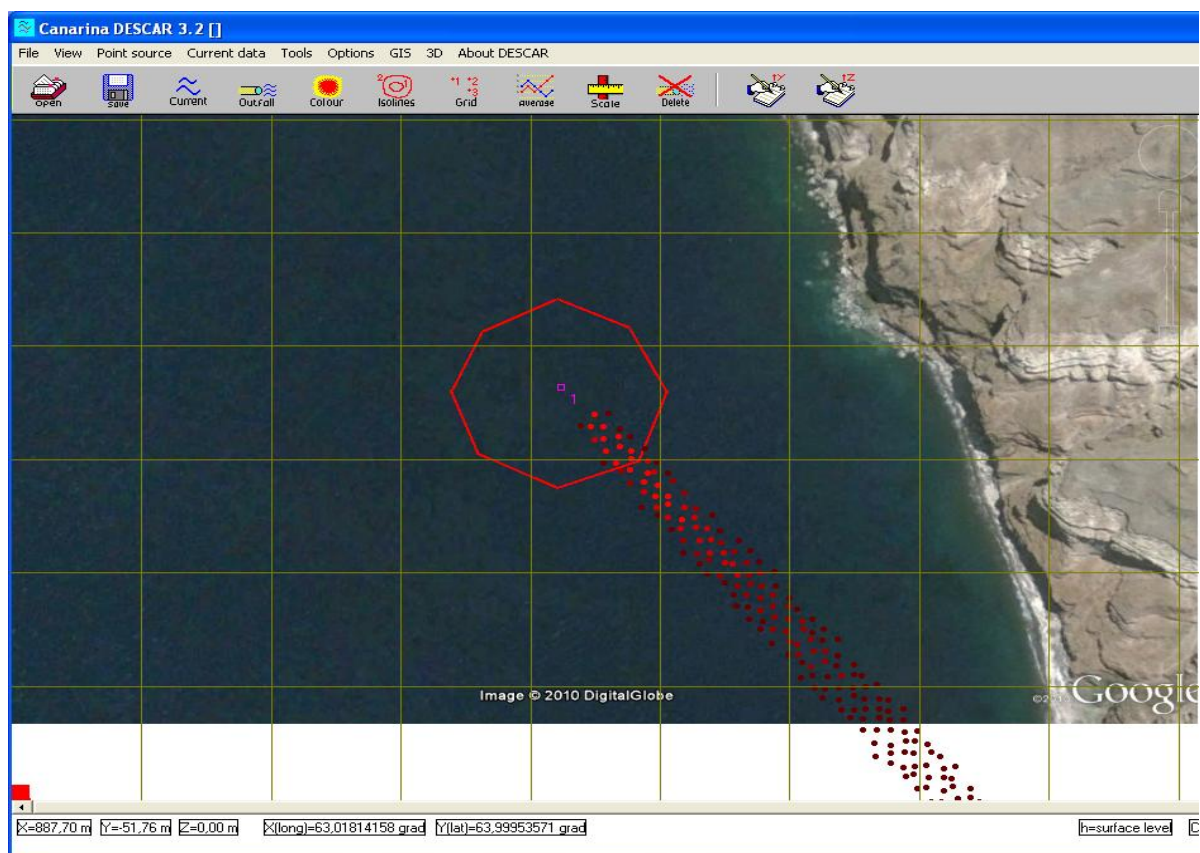
Στην συνέχεια (Εικόνα 6.3), εισάγονται τα υδρολογικά δεδομένα (Ambient data), όπως η πυκνότητα του νερού, η διεύθυνση και η ταχύτητα του θαλάσσιου ρεύματος το οποίο επικρατεί καθ'όλο το ύψος της θαλάσσιας στήλης (140m).



Εικόνα 6.3. Εισαγωγή υδρολογικών δεδομένων.

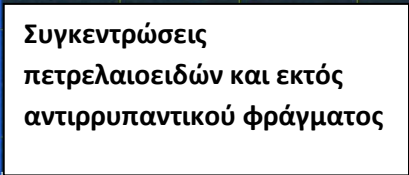
Τέλος, αφού γίνει η εισαγωγή των δεδομένων του ρύπου και των υδρολογικών δεδομένων, επιλέγονται άλλες δύο παράμετροι. Πρώτον, ο υπολογισμός των συγκεντρώσεων του ρύπου στην επιφάνεια της θάλασσας, και δεύτερον, η επιλογή πλωτού μοντέλου άνωσης (buoyant model), και όχι στρωματοποιημένου (stratified model), καθώς δεν υπάρχουν δεδομένα για πυκνοκλινές και διάφορες στρωματοποιήσεις στην περιοχή.

Στις Εικόνες 6.4, 6.5, 6.6, 6.7 και 6.8 που ακολουθούν, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου με διάφορες απεικονίσεις, όπως κουκκίδες, χρωματισμούς, ισούψείς συγκεντρώσεις και τρισδιάστατη απεικόνιση.

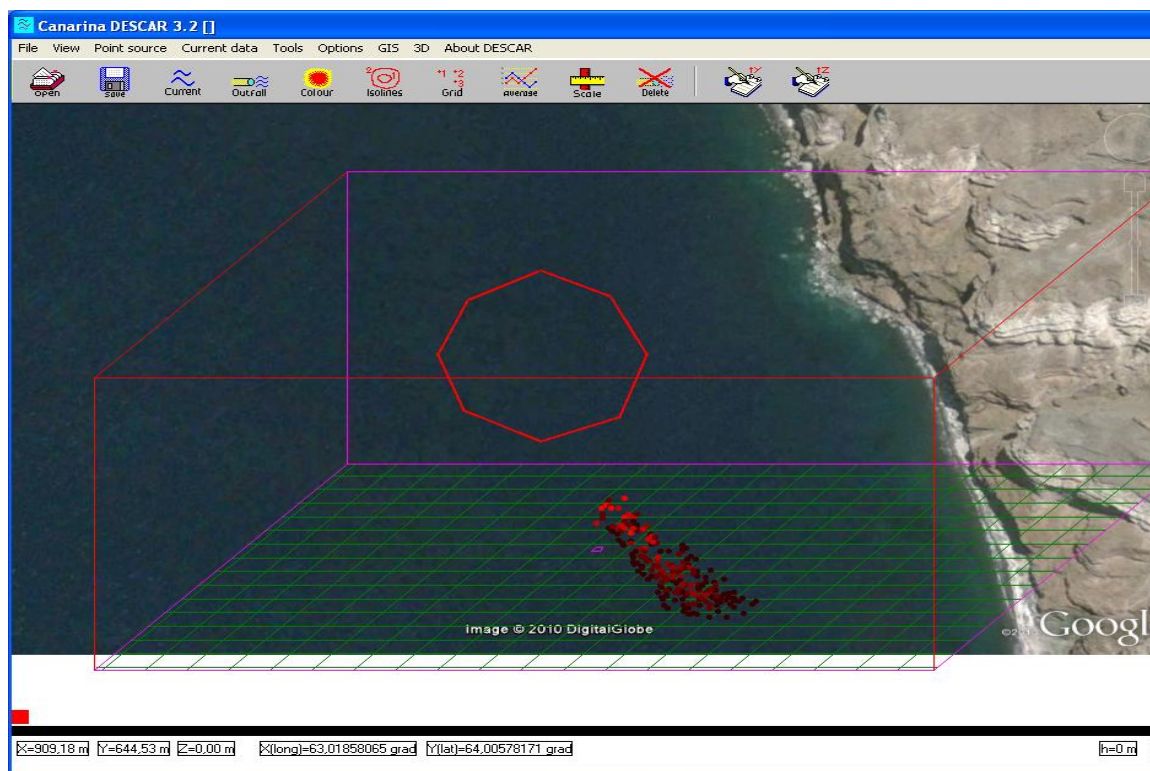


Εικόνα 6.4. Υπολογισμός συγκεντρώσεων πετρελαιοειδών στην επιφάνεια της θάλασσας με κουκκίδες, με κατεύθυνση νοτιοανατολική (140°).

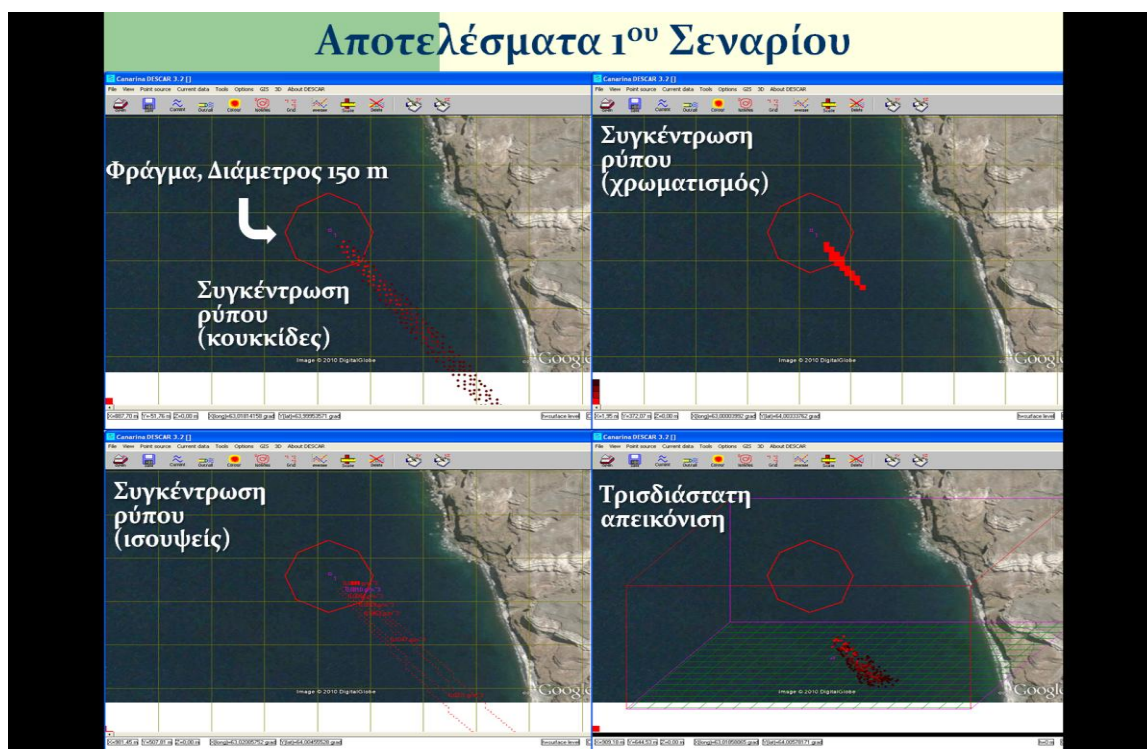
*Οι κουκκίδες με πιο έντονο χρώμα υποδεικνύουν υψηλότερες συγκεντρώσεις.



Εικόνα 6.6. Υπολογισμός συγκεντρώσεων πετρελαιοειδών στην επιφάνεια της θάλασσας με ισοϋψείς συγκεντρώσεων, με κατεύθυνση νοτιοανατολική (140°).



Εικόνα 6.7. Τρισδιάστατη απεικόνιση συμπεριφοράς πετρελαιοειδών με κατεύθυνση νοτιοανατολική (140°).



Εικόνα 6.8. Συνολική παρουσίαση αποτελεσμάτων πρώτου σεναρίου.

6.4.2. Ρεαλιστικό σενάριο (2)

Στο δεύτερο σενάριο χρησιμοποιούνται, ναι μεν σε υποθετικά δεδομένα, αλλά χωρίς αυτά να απέχουν σημαντικά από την πραγματικότητα. Στην προκειμένη περίπτωση, το σενάριο αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι η συνολική ποσότητα πετρελαιοειδών που διαρρέει καθημερινά από το εσωτερικό του ναυαγίου, δεν ισούται με αυτήν που συλλέγεται. Έτσι, αυτό το σενάριο εκτιμά ότι η ποσότητα απελευθέρωσης είναι τουλάχιστον διπλάσια από αυτήν που συλλέγεται καθημερινά από την εταιρεία απορρύπανσης της περιοχής. Άρα, η τιμή χρησιμοποιείται σε αυτή την περίπτωση για την μελέτη συμπεριφοράς του ρύπου, είναι ίση με $2 \times 30 \text{ litres/day} = 60 \text{ litres/day}$ (Πολυτεχνείο Κρήτης).

Όσο αφορά τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε αυτό το σενάριο, είναι τα ίδια με αυτά του προηγούμενου σεναρίου, εκτός από την ποσότητα του ρύπου για την οποία έγινε η παραπάνω υπόθεση. Αυτά λοιπόν είναι:

1) Υδρολογικά δεδομένα (Ambient Data)

Τα υδρολογικά δεδομένα αφορούν:

- την **πυκνότητα του νερού** η οποία έχει τιμή **1029 kg/m³** (Water density) σε βάθος 140 μέτρων και θερμοκρασία $T=16 \text{ C}^\circ$ (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε).
- την **ταχύτητα του θαλάσσιου ρεύματος** (Current velocity) που επικρατεί στην περιοχή. Επειδή δεν υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με ρευματομετρήσεις και υδρολογικά δεδομένα της περιοχής (παλίρροιες, ρεύματα κτλ), επιλέγεται μία εξαιρετικά χαμηλή τυπική τιμή ταχύτητας θαλάσσιου ρεύματος για το συγκεκριμένο σενάριο, ίση με 0.001 m/s .
- Την **διεύθυνση του ρεύματος** (Current angle (0 to 360)), η οποία ορίζεται ως η οριζόντια γωνία του θαλάσσιου ρεύματος και μετριέται δεξιόστροφα από τον Βορρά. Με βάση την βιβλιογραφία (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε), η κυκλοφορία του νερού είναι πιθανότατα από βορά προς νότο με είσοδο από το βόρειο άνοιγμα της Καλντέρας προς την ανοιχτή θάλασσα, κύρια ροή προς το νότο στα ανατολικά της Νέας Καμένης και έξοδο από το νοτιοδυτικό όριο της Καλντέρας, χωρίς ωστόσο να επιβεβαιώνεται από ρευματομετρήσεις. Συνεπώς, η επικρατούσα διεύθυνση του θαλάσσιου ρεύματος με βάση αυτές τις πληροφορίες είναι συνήθως **βόρειο-βορειοδυτική**, με κατεύθυνση προς το νότο (έστω 140°).

Η συγκεκριμένη πληροφορία θεωρείται ως η πιο έγκυρη και γι'αυτό θα χρησιμοποιηθεί ως δεδομένο για το μοντέλο DESCAR. Όμως, πρέπει να σημειωθεί ότι δε θα θεωρούνταν εσφαλμένο να χρησιμοποιηθούν άλλες διευθύνσεις ρεύματος στην συγκεκριμένη περίπτωση, καθώς και αυτή η παράμετρος δεν είναι σταθερή.

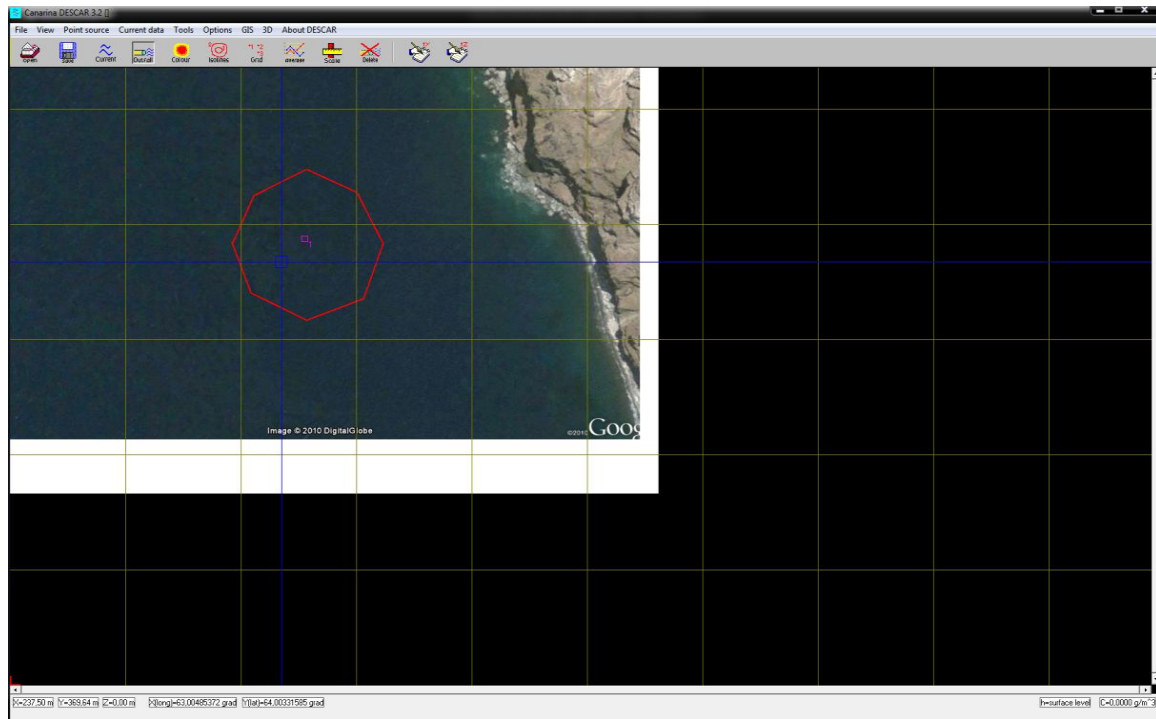
3) Δεδομένα ρύπου (Pollutant Data)

Τα δεδομένα του ρύπου (πετρελαιοειδών) αφορούν:

- την **πυκνότητα του ρύπου** (Pollutant density) η οποία ισούται με **971 kg/m³** (πυκνότητα πετρελαίου heavy fuel oil σε θερμοκρασία T=16 C° (**Emergencies Science Division, 2000**)).
- την **ταχύτητα εκροής του ρύπου** (Effluent velocity), η οποία εκτιμάται περίπου ίση με **0.05 m/s** (πολύ μικρή), διότι ο ρύπος απελευθερώνεται στο θαλάσσιο περιβάλλον με μηδενική ουσιαστικά αρχική ταχύτητα, και ανέρχεται στην επιφάνεια αποκλειστικά και μόνο λόγω μικρότερης πυκνότητας από το νερό (άνωση, ελαφρύτερο από το νερό). Έτσι, η παραπάνω τιμή είναι καθαρά προσεγγιστική, χωρίς όμως να διαφέρει σημαντικά από την πραγματική.
- την **παροχή εκροής του ρύπου** (Discharge flow rate), η οποία εκτιμάται όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ίση με **60 l/day** (ή περίπου 60 kg/day) ή περίπου 2.5 l/hour → $0.0025\text{m}^3/3600\text{sec}=6.94*10^{-7}\text{ m}^3/\text{sec}$.
- το **βάθος εκροής του ρύπου** (Water depth at discharge location) το οποίο αντιστοιχεί στο βάθος του ναυαγίου, δηλαδή **140m**. Η συγκεκριμένη τιμή βέβαια, ίσως να αποκλίνει λίγο από την πραγματική, καθώς δεν είναι γνωστό το ακριβές σημείο του πλοίου από το οποίο διαρρέει το πετρέλαιο.
- την **συγκέντρωση του ρύπου** (Pollutant Concentration), η οποία ισούται με **971000 gr/m³**, δηλαδή την πυκνότητα του ρύπου που απελευθερώνεται εκφρασμένη σε μονάδες gr/m³. Αυτό ισχύει διότι η ρυπογόνος ουσία που αποβάλλεται στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι σχεδόν καθαρό πετρέλαιο (**Canarina Algorithmos**).

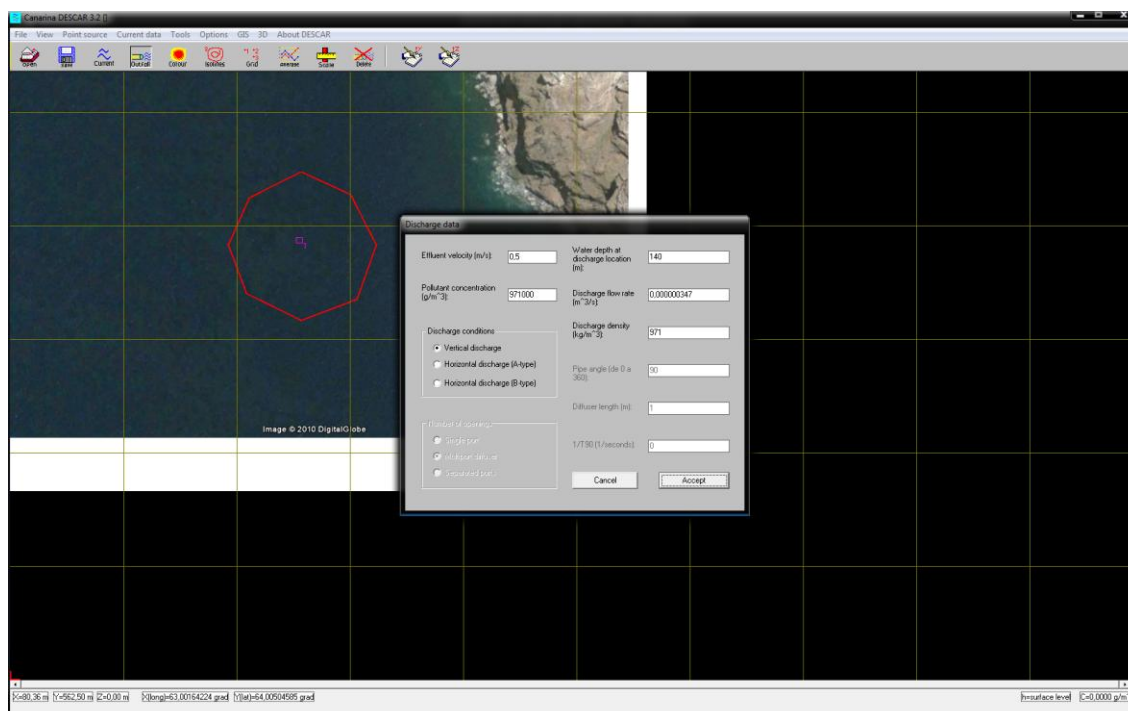
➤ **Σενάριο 2 - Εισαγωγή Δεδομένων στο μοντέλο DESCAR**

Στην Εικόνα 6.9 που ακολουθεί έχει εισαχθεί ο χάρτης της περιοχής του ναυαγίου, όπου το κόκκινο πολύγωνο προσδιορίζει το αντιρρυπαντικό φράγμα σε σχεδόν πραγματικές διαστάσεις (150 m διάμετρος), έτσι ώστε οι υπολογισμοί να γίνουν αυτόματα πάνω στον συγκεκριμένο χάρτη. Πρόκειται για μία σημειακή πηγή απελευθέρωσης ρύπου, με κάθετη απόρριψη προς την επιφάνεια της θάλασσας.



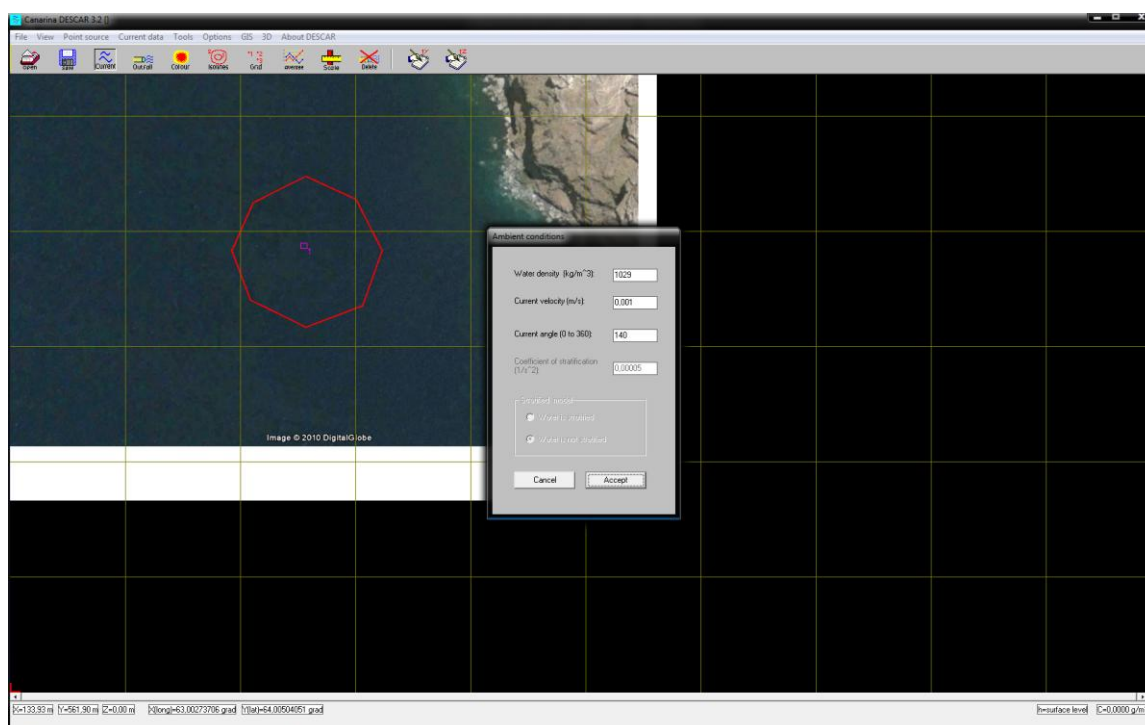
Εικόνα 6.9. Εισαγωγή χάρτη της περιοχής του ναυαγίου στο πρόγραμμα DESCAR 3.2.

Στην Εικόνα 6.10 που ακολουθεί, προσδιορίζεται το σημείο απελευθέρωσης του ρύπου το οποίο ισοδυναμεί με το κέντρο του αντιρρυπαντικού φράγματος. Στο πλαίσιο που διακρίνεται στο κέντρο της εικόνας εισάγονται τα δεδομένα του ρύπου (discharge data), όπως η ταχύτητα εκροής, η συγκέντρωση, ο ρυθμός απελευθέρωσης, η πυκνότητα και το βάθος εκροής του ρύπου.



Εικόνα 6.10. Προσδιορισμός σημείου απελευθέρωσης και εισαγωγή δεδομένων ρύπου.

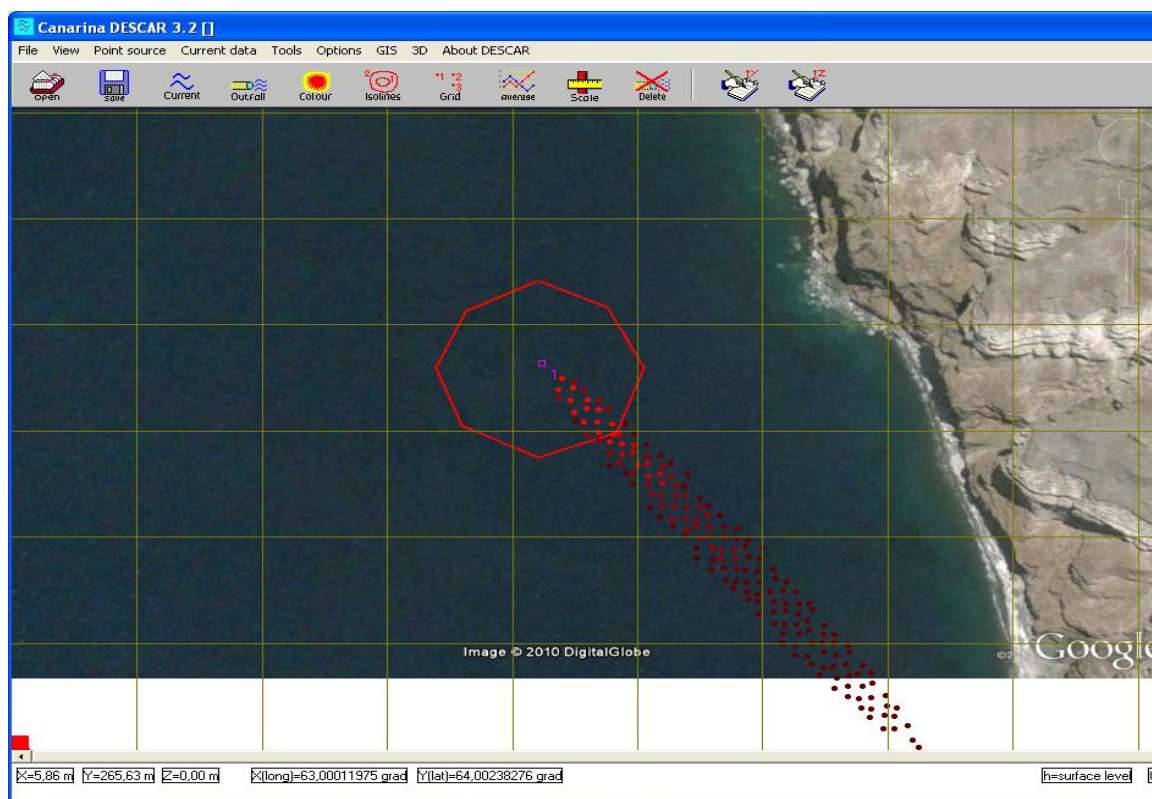
Στην Εικόνα 6.11 εισάγονται τα υδρολογικά δεδομένα (Ambient data), όπως η πυκνότητα του νερού, η διεύθυνση και η ταχύτητα του θαλάσσιου ρεύματος το οποίο επικρατεί καθ'όλο το ύψος της θαλάσσιας στήλης (140m).



Εικόνα 6.11. Εισαγωγή υδρολογικών δεδομένων.

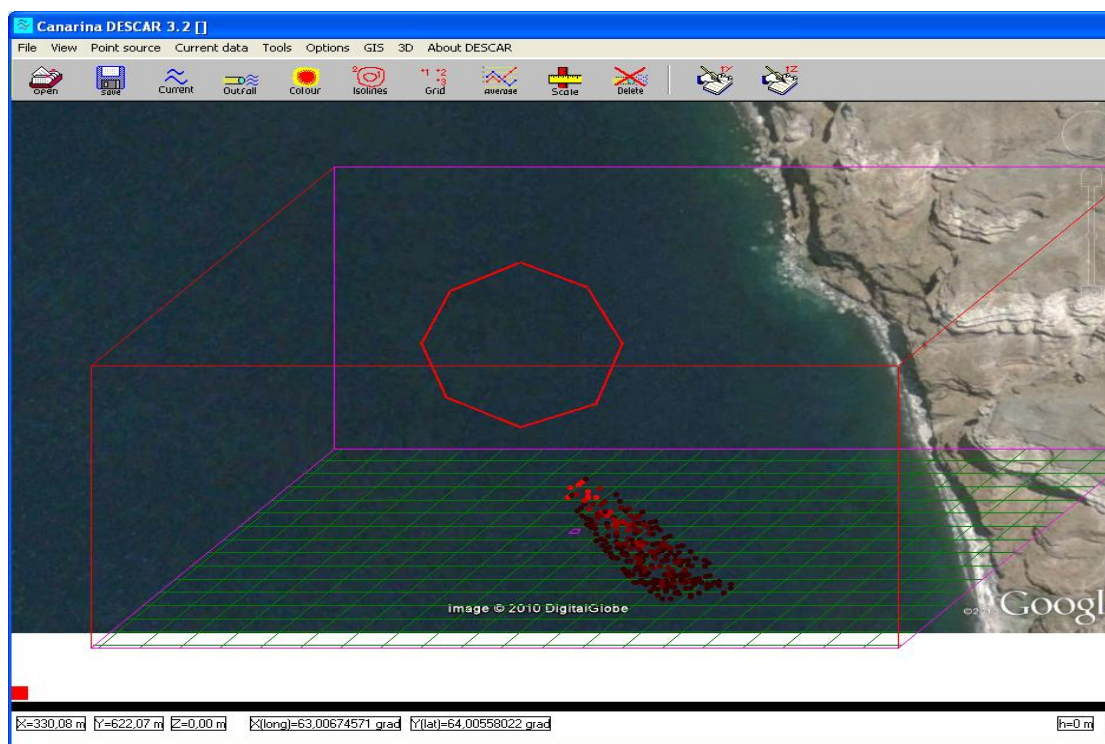
Τέλος, αφού λάβει χώρα η εισαγωγή των δεδομένων του ρύπου και των υδρολογικών δεδομένων, επιλέγονται άλλες δύο παράμετροι. Πρώτον, ο υπολογισμός των συγκεντρώσεων του ρύπου στην επιφάνεια της θάλασσας, και δεύτερον, η επιλογή πλωτού μοντέλου άνωσης (buoyant model), και όχι στρωματοποιημένου (stratified model), καθώς δεν υφίστανται δεδομένα για πυκνοκλινές και διάφορες στρωματοποιήσεις στην περιοχή.

Στις Εικόνες 6.12, 6.13, 6.14, 6.15 και 6.16 που ακολουθούν, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου με διάφορες απεικονίσεις, όπως κουκκίδες, χρωματισμούς, ισοϋψείς συγκεντρώσεων και τρισδιάστατη απεικόνιση.

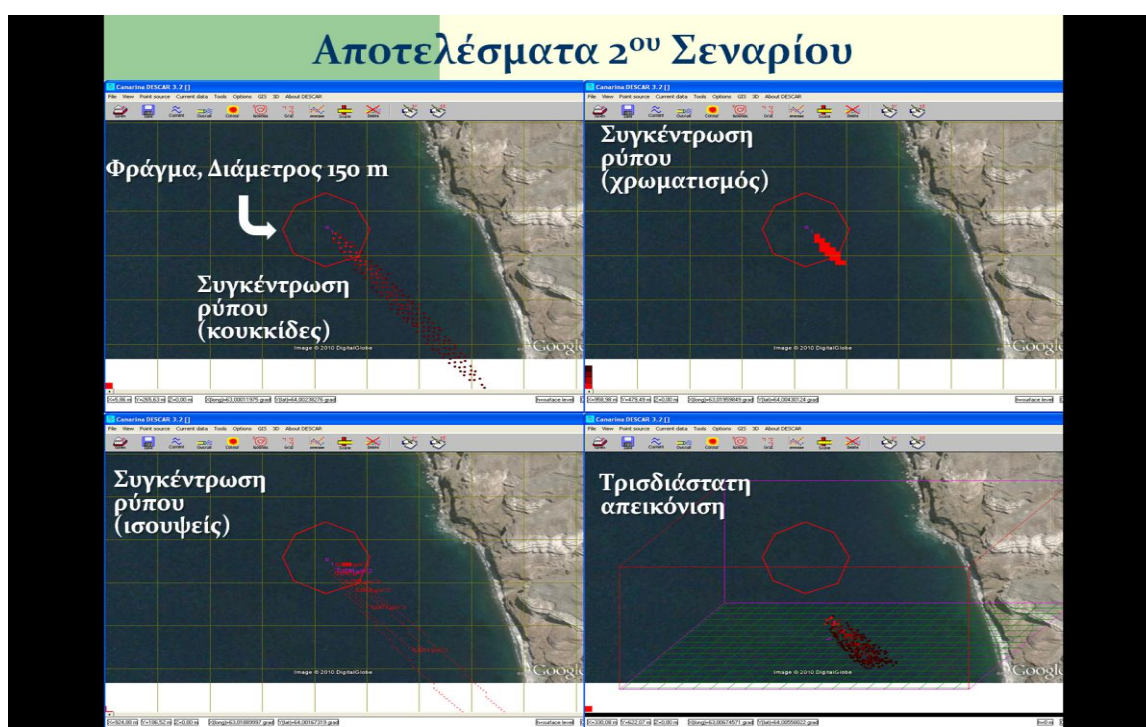


Εικόνα 6.12. Υπολογισμός συγκεντρώσεων πετρελαιοειδών στην επιφάνεια της θάλασσας με κουκκίδες, με κατεύθυνση νοτιοανατολική (140°).

*Οι κουκκίδες με πιο έντονο χρώμα υποδεικνύουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις.



Εικόνα 6.15. Τρισδιάστατη απεικόνιση συμπεριφοράς πετρελαιοειδών με κατεύθυνση νοτιοανατολική (140°).



Εικόνα 6.16. Συνολική παρουσίαση αποτελεσμάτων δεύτερου σεναρίου.

6.5. Συμπεράσματα

Το πρόγραμμα DESCAR 3.2 χρησιμοποιήθηκε για την όσο το δυνατόν καλύτερη και πιο ρεαλιστική μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των πετρελαιοειδών που απελευθερώνονται με συνεχείς ρυθμούς από το κουφάρι του Sea Diamond στο θαλάσσιο περιβάλλον της Καλντέρας. Έγινε χρήση δύο σεναρίων τα οποία βασίστηκαν σε κατά προσέγγιση “πραγματικά δεδομένα” και εκτιμήσεις που έχουν γίνει μέχρι σήμερα από τους O’Brien - ITOPF και Πολυτεχνείο Κρήτης, αναφορικά με τους ρυθμούς απελευθέρωσης και τις απελευθερωθείσες ποσότητες πετρελαιοειδών. Τα συγκεκριμένα δεδομένα και εκτιμήσεις βασίζονται στους ακόλουθους ρυθμούς απελευθέρωσης:

- (30 litres/day – Πηγή: O’Brien & E.P.E) και
- (60 litres/day – Εκτίμηση Πολυτεχνείου Κρήτης).

Οι ρυθμοί αυτοί είναι ιδιαίτερα χαμηλοί, ενώ εκτιμήσεις που έχουν προκύψει από επισκέψεις στον χώρο του ναυαγίου, και ιδιαίτερα από τα αποτελέσματα της επιχείρησης απάντλησης του Μαΐου 2009, οδηγούν σε πολύ υψηλότερους ρυθμούς και ανάλογα υψηλές ποσότητες απελευθέρωσης, χωρίς όμως να είναι δυνατή η ποσοτικοποίησή τους.

Επίσης, δεδομένου ότι δεν υπάρχει ανάλογη βιβλιογραφία σχετικά με τα υδρολογικά δεδομένα και τις ταχύτητες θαλάσσιων ρευμάτων (**Ψαράκης Ν.Χ., 2010**), (**ΕΛ.Κε.Θ.Ε**) για την περιοχή της Καλντέρας της Σαντορίνης, επιλέχθηκε για την μοντελοποίηση μία εξαιρετικά χαμηλή τιμή ταχύτητας (1mm/sec) θαλάσσιου ρεύματος. Τα αποτελέσματα του μοντέλου και για τα δύο σενάρια, έδειξαν ότι ακόμα και σε μία τόσο χαμηλή ταχύτητα ρεύματος, οι ποσότητες του πετρελαίου που ανέρχονται καθημερινά από το βάθος των 140 m, δεν συγκεντρώνονται καν στο αντιρρυπαντικό φράγμα, αλλά ένα σημαντικό μέρος τους διαφεύγει, σύμφωνα με την διεύθυνση του ρεύματος που επικρατεί. Συνεπώς, γίνεται έντονα αντιληπτό ότι σε μεγαλύτερες εντάσεις θαλάσσιων ρευμάτων και σε συνδυασμό με ισχυρούς ανέμους, το αντιρρυπαντικό φράγμα που βρίσκεται στην περιοχή καθίσταται ανεπαρκές και αναποτελεσματικό στην συλλογή και εγκλωβισμό μεγαλύτερων ποσοτήτων ανερχόμενων πετρελαιοειδών.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι η παραπάνω μοντελοποίηση δεν αποτελεί ακριβή απεικόνιση της πραγματικότητας, καθώς όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, βασίστηκε σε κατά προσέγγιση πραγματικά δεδομένα και εκτιμήσεις.

Συνεπώς, τα αποτελέσματά της δεν αποτελούν τις επικρατούσες συνθήκες στην περιοχή του ναυαγίου, αλλά απώτερος σκοπός της ήταν να αποδειχθεί ότι υπάρχουν ποσότητες ανερχόμενων πετρελαιοειδών που διαφεύγουν του αντιρρυπαντικού φράγματος, πράγμα το οποίο επιβεβαιώνεται στην συνέχεια τόσο από τους δειγματοληπτικούς ελέγχους όσο και από το υπάρχων φωτογραφικό υλικό.

ΕΝΟΤΗΤΑ 3

Δειγματοληψίες & Αναλύσεις

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Δειγματοληψίες και Αναλύσεις στην περιοχή μελέτης

7.1. Πρότυπα δειγματοληψιών

7.1.1. Διαδικασία της δειγματοληψίας

Η δειγματοληψία στο θαλάσσιο περιβάλλον αποτελεί μία σύνθετη διαδικασία, η οποία χρειάζεται ειδικό εξοπλισμό και πρέπει να εκτελεστεί με προσοχή έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος και η αποφυγή μόλυνσης. Πρέπει λοιπόν να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα κάθε φορά έτσι ώστε να αποτρέπεται η τυχόν αλλοίωση των δειγμάτων. Γι αυτό το λόγο, υπάρχουν συγκεκριμένα βήματα που ακολουθούνται κατά τη διάρκεια μίας δειγματοληψίας και αυτά είναι τα εξής (**Swedish Coast Guard Headquarters, 2002**):

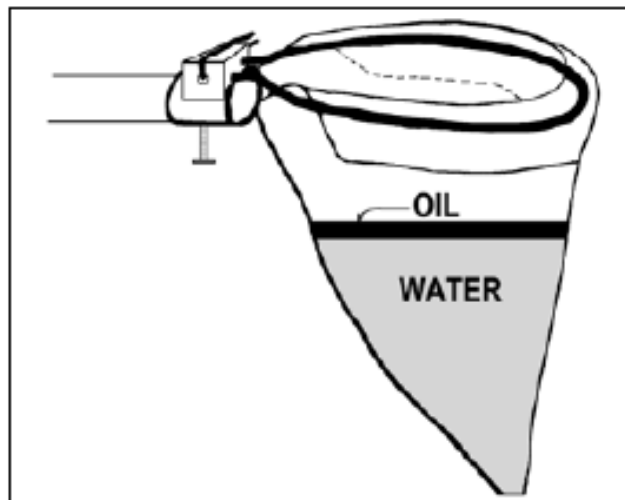
1. Δειγματοληψία σε προκαθορισμένα σημεία από την πηγή της διαρροής στα οποία τα δείγματα θα θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά.
Ο εξοπλισμός της δειγματοληψίας, επαναχρησιμοποιήσιμος και μη, πρέπει πάντα να είναι πολύ καθαρός έτσι ώστε να αποφευχθεί τυχόν μόλυνση των δειγμάτων.
2. Διατήρηση και μεταφορά δειγμάτων σε κατάλληλες συνθήκες (θερμοκρασία <4°C) έως την μεταφορά τους στο εργαστήριο για ανάλυση. Ο γρήγορος χειρισμός των δειγμάτων είναι πολύ σημαντικός.
3. Χημικές, φυσικές και βιολογικές αναλύσεις ανάλογα με το είδος της ουσίας που πρόκειται να εξεταστεί στο δείγμα.
4. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ανάλυσης.
5. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων ανάλυσης.

7.1.2. Δειγματοληψία πετρελαιοκηλίδας

Στην επιφάνεια της θάλασσας, το πετρέλαιο εμφανίζεται κυρίως σε δύο μορφές. Η πρώτη είναι αυτή των σφαιριδίων πίσσας (στερεοποιημένο πετρέλαιο) και η δεύτερη είναι αυτή των λεπτών στρωμάτων, η αλλιώς “γυαλάδων”. Για να συλλεχθεί το πετρέλαιο σε αυτές τις δύο μορφές, ακολουθούνται δυο διαφορετικές διαδικασίες (**Swedish Coast Guard Headquarters, 2002**). Αυτές είναι:

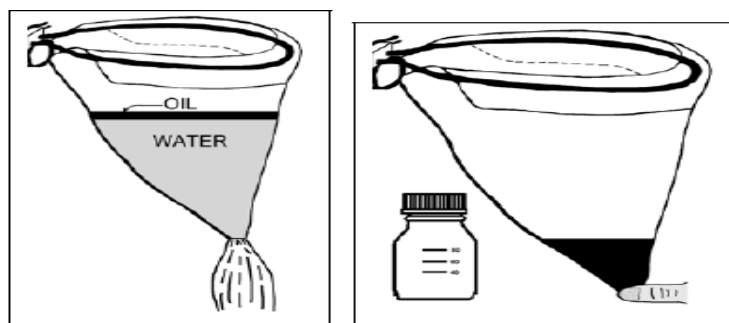
1. Για σφαιρίδια πετρελαίου - πίσσας

- Τα σφαιρίδια πετρελαίου και τα παχιά στρώματα μπορούν να συλλεχθούν άμεσα από μία φιάλη δειγματοληψίας ή μία ειδική «κορνέτα» (χωνί) πολυαιθυλενίου, σε συνδυασμό με τη χρήση ενός μεταλλικού δακτυλιδιού και μίας βάσης (Εικόνα 7.1).



Εικόνα 7.1. Ειδική «κορνέτα» (χωνί) πολυαιθυλενίου για συλλογή πετρελαίου (Swedish Coast Guard Headquarters, 2002).

- Κατόπιν, το πετρέλαιο που έχει παραμείνει στην κορνέτα μεταφέρεται σε φιάλη δειγμάτων όγκου 100ml με φαρδύ στόμιο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.2. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται μία ή αρκετές φορές έως ότου το πετρέλαιο που θα συλλεχθεί να «καλύπτει» τα $\frac{3}{4}$ του μπουκαλιού. Η στάθμη του περιέχοντος πετρελαίου να είναι σε απόσταση μεγαλύτερη των 2 cm από το καπάκι (Swedish Coast Guard Headquarters, 2002).



Εικόνα 7.2. Τρόπος συλλογής και αποθήκευσης του πετρελαίου στα φιαλίδια με φαρδύ στόμιο (Swedish Coast Guard Headquarters, 2002).

2. Λεπτά στρώματα πετρελαίου (γυαλάδες)

Σε περιπτώσεις δειγματοληψίας λεπτών στρωμάτων πετρελαίου (γυαλάδες, "ουράνιο τόξο γυαλάδα", "μπλε γυαλάδα", "αργυροειδής γυαλάδα"), χρησιμοποιείται ένα ειδικό τεφλόν ύφασμα (Εικόνα 7.3). Το υλικό αυτό πρέπει να είναι τεφλόν, διότι τα άλλα υλικά παρεμβαίνουν στην χημική ανάλυση του εργαστηρίου. Πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας για να αποφευχθεί τυχόν ρύπανση στο σκάφος από ίχνη πετρελαίου. Το ειδικό μαξιλάρι πρέπει να απομακρύνεται από την επιφάνεια του νερού κατά προτίμηση έως ότου έχει χρωματιστεί πλήρως από το πετρέλαιο (**Swedish Coast Guard Headquarters, 2002**).



Εικόνα 7.3. Ειδικό απορροφητικό ύφασμα για συλλογή λεπτών στρωμάτων πετρελαίου (www.onlyomega.com).

7.1.3. Πρότυπο δειγματοληψίας και ανάλυσης θαλασσινού νερού για την εξέταση των Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων

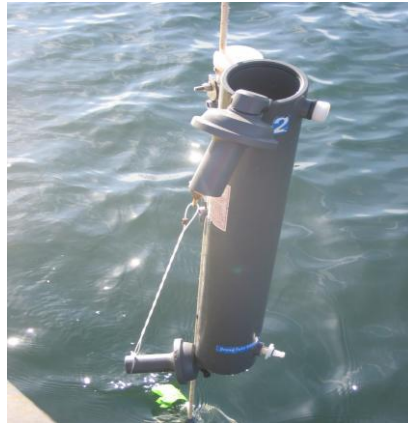
Σε μία δειγματοληψία που λαμβάνει χώρα στο θαλάσσιο περιβάλλον, ακολουθούνται συγκεκριμένες μεθοδολογίες ή αλλιώς πρότυπα, ανάλογα με το είδος της ουσίας που πρόκειται να εξεταστεί. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η ανάλυση του δείγματος στοχεύει στην εξέταση Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων και η μεθοδολογία της δειγματοληψίας σε θαλάσσια στήλη και ιζήματα αντίστοιχα, είναι η εξής:

- **Θαλάσσια στήλη**

✚ Συλλογή δειγμάτων θαλασσινού νερού σε ειδικές σκούρες φιάλες (κατά προτίμηση) όγκου 1L (Εικόνα 7.4), από βάθος 2m από την επιφάνεια έως και το μέγιστο βάθος του κάθε σταθμού με τη χρήση ειδικού δειγματολήπτη (Niskin), όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.5.



Εικόνα 7.4. Σκούρες φιάλες δειγματοληψίας θαλασσινού νερού (**Sigma Aldrich**).



Εικόνα 7.5. Δειγματολήπτης θαλάσσιας στήλης Niskin model 1010 χωρητικότητας 10L (**General Oceanics**).

- ✚ Ακολουθεί αποθήκευση των δειγμάτων σε ψυγείο με θερμοκρασία -4°C ή σε όσο το δυνατόν πιο σκοτεινό μέρος μέχρι την μεταφορά τους σε ψυγείο.

- **Ιζήματα**

- ✚ Τα δείγματα των επιφανειακών ιζημάτων συλλέγονται με τη χρήση δειγματολήπτη Van Veen τύπου αρπάγης (grab) όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.6, και τα δείγματα τοποθετούνται σε αλουμινόχαρτο όπου στη συνέχεια καταψύχονται στους -20°C , μέχρι την ανάλυσή τους.



Εικόνα 7.6. Δειγματολήπτης ιζήματος τύπου Van Veen grab χωρητικότητας 250cm^3 (**Sea Water Solutions**).

Ανάλυση

Οι αναλύσεις των δειγμάτων για τον προσδιορισμό των Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων είναι βασισμένες στο κύριο πρότυπο εργαστηριακών δοκιμών και αναλύσεων, το **ISO / IEC 17025**. Αρχικά εκδόθηκε το 1999 από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης, και ήταν γνωστό ως πρότυπο ISO / IEC Guide 25. Υπάρχουν πολλά κοινά σημεία με το πρότυπο ISO 9000, με την κύρια διαφορά ότι το πρότυπο ISO / IEC 17025 απευθύνεται άμεσα σε οργανισμούς οι οποίοι εξειδικεύονται σε εργαστηριακές αναλύσεις και δοκιμές. Στον Πίνακα 7.1 φαίνονται συγκεκριμένα οι μέθοδοι εφαρμογής για ανάλυση ως προς Πετρελαϊκούς Υδρογονάνθρακες.

Πίνακας 7.1. Μέθοδοι ανάλυσης δειγμάτων για Πετρελαϊκούς Υδρογονάνθρακες.

Particulate Material (Εξεταζόμενες Ουσίες)	Applied Methods (Μέθοδοι Εφαρμογής)
Total Hydrocarbons C10-C40	ISO 16703, ISO 9377-2
PAHs	U.S EPA 8270, DIN38407-F39

Συνοπτική διαδικασία μεθόδων ανάλυσης θαλασσινού νερού

- **TPH – Ολικοί Πετρελαϊκοί Υδρογονάνθρακες**

Η διαδικασία της ανάλυσης θαλασσινού νερού για ανίχνευση TPH διεξάγεται σύμφωνα με την **EN ISO 9377-2**, όπου 500 ml οξινισμένου δείγματος εκχυλίζονται με 10 ml n-εξανίου σε κανονικές συνθήκες για χρονικό διάστημα 60 λεπτών. Αφού υποστεί καθαρισμό, το εκχύλισμα προσδιορίζεται ποσοτικά με την μέθοδο GC-FID σύμφωνα με ένα πρότυπο Υδρογονανθράκων.

- **PAH – Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες**

Η διαδικασία της ανάλυσης θαλασσινού νερού για ανίχνευση PAH διεξάγεται σύμφωνα με την **DIN 38407 - F39**, όπου 500 ml του δείγματος εκχυλίζονται με 5 ml εξανίου σε κανονικές συνθήκες για χρονικό διάστημα 60 λεπτών. Το εκχύλισμα προσδιορίζεται ποσοτικά με την μέθοδο GC / MS.

Σημείωση: η μέθοδος αυτή θεωρείται ισοδύναμη με την **US EPA 8270**.

7.2. Σχεδιασμός δειγματοληψίας

Στην συγκεκριμένη περίπτωση του ναυαγίου του Sea Diamond, σκοπός των δειγματοληψιών αποτελεί η επιβεβαίωση της ταυτοποίησης του ναυαγίου ως «σημειακή πηγή μόλυνσης» της θαλάσσιας περιοχής της Καλντέρας. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι διαδικασίες δειγματοληψίας πρέπει να εκτελεσθούν με ιδιαίτερη προσοχή και ακρίβεια.

Για την υποστήριξη των θεωρητικών ποιοτικών εκτιμήσεων και την τεκμηρίωση των δυνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, κρίθηκε απαραίτητη η διεξαγωγή δειγματοληψιών και ανάλυση των δειγμάτων σε θαλάσσια στήλη και ιζήματα. Οι ακόλουθες παράμετροι κρίθηκαν ως οι πλέον σημαντικές:

- **Πετρελαιοειδή-Πετρελαϊκοί και Οργανικοί ρύποι**, Hydrocarbons C10-C40 - Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.
- **Βαρέα Μέταλλα**, Heavy Metals (Pb, Zn, Cr, Cd, Hg, Cu, Fe, Mn, Ni, Al)

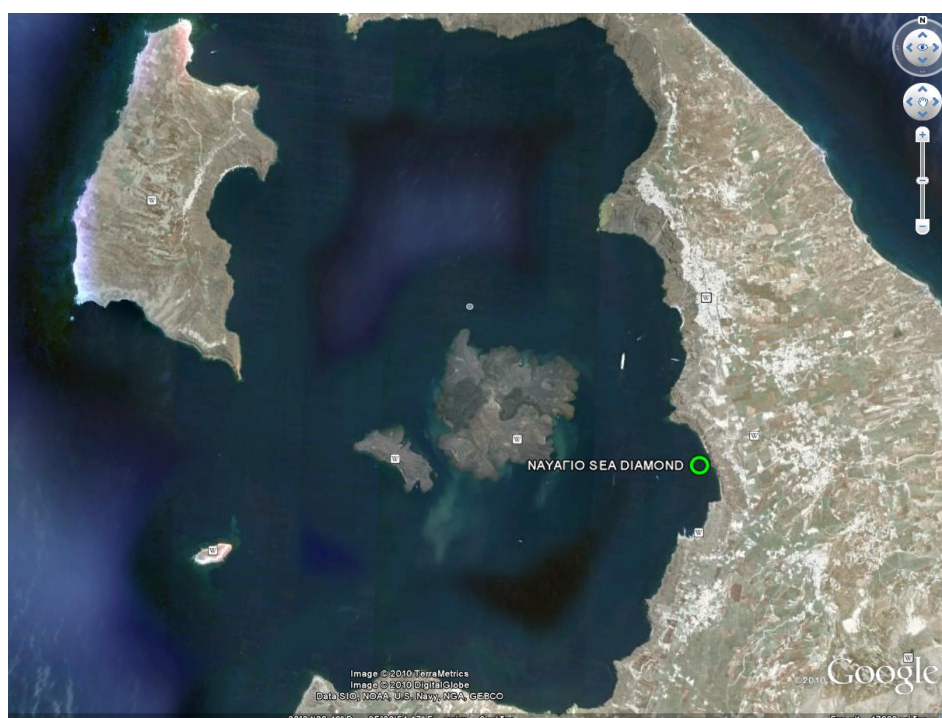
Οι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκε η εξέταση και ανάλυση των παραπάνω ουσιών, είναι προφανείς. Πρώτα απ' όλα, είναι γνωστό πως το συγκεκριμένο πλοίο πριν τη βύθισή του περιείχε περισσότερους από 500 τόνους πετρελαίου μαζούτ και εσωτερικής καύσης. Συνεπώς, κρίνεται αναγκαία η εξέταση της ευρύτερης θαλάσσιας περιοχής αναφορικά με τα επίπεδα και την συμπεριφορά των Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων.

Όσο αφορά τον σχεδιασμό των δειγματοληπτικών ελέγχων, αποφασίστηκε να πραγματοποιηθούν μετρήσεις σε ορισμένες θέσεις δειγματοληψίας κοινές με αυτές του Ελ.Κε.Θ.Ε, όπου υπάρχουν δεδομένα καθ'όλες τις περιόδους μετρήσεων και σε όσο το δυνατόν περισσότερες περιόδους, ώστε να είναι δυνατόν να αξιολογηθεί η διαχρονική εξέλιξη της ποιότητας του νερού. Επίσης, επιλέχθηκαν δειγματοληψίες σε νέους δειγματοληπτικούς σταθμούς στην περιοχή του ναυαγίου και στην ευρύτερη της Καλντέρας, τόσο στη θαλάσσια στήλη όσο και σε θαλάσσια επιφανειακά ιζήματα.

Στον Πίνακα 7.2 παρουσιάζονται συνοπτικά τα είδη και οι σκοποί των δειγματοληπτικών ελέγχων που έχουν σχεδιαστεί να λάβουν χώρα στην περιοχή της Καλντέρας της Σαντορίνης, ενώ στην Εικόνα 7.7 φαίνεται η εξεταζόμενη περιοχή.

Πίνακας 7.2. Είδη και σκοποί δειγματοληψίας.

Είδος Δειγματοληψίας	Σκοπός Δειγματοληψίας	Τοποθεσία
<i>Θαλάσσια στήλη</i>	<i>Εξέταση Πετρελαϊκών και Οργανικών Ρύπων (TPHs, PAHs)</i>	<i>Περιοχή της Καλντέρας – περιοχή ναυαγίου</i>
<i>Θαλάσσια επιφανειακά ιζήματα</i>	<i>Εξέταση Πετρελαϊκών και Οργανικών Ρύπων (TPHs, PAHs)</i>	<i>Περιοχή ναυαγίου – κοντά στην ακτή</i>
<i>Πετρελαιοειδή (tars)</i>	<i>Εξέταση Πετρελαϊκών και Οργανικών Ρύπων (TPHs, PAHs)</i>	<i>Εντός και εκτός του αντιρρυπαντικού φράγματος</i>



Εικόνα 7.7. Η περιοχή της Καλντέρας και το σημείο του ναυαγίου (Google Earth).

7.3. Χρονοδιάγραμμα δειγματοληψιών

Μέχρι σήμερα έχουν λάβει χώρα πέντε δειγματοληπτικοί έλεγχοι σε θαλάσσια στήλη στην περιοχή της Καλντέρας, και δύο σε θαλάσσια ιζήματα στην περιοχή του ναυαγίου, κοντά στις ακτές. Ο πρώτος πραγματοποιήθηκε στις 22 Ιανουαρίου 2010 με σκοπό την ποιοτική εκτίμηση των ουσιών που ανέρχονται στην επιφάνεια της θάλασσας ακριβώς πάνω από το ναυάγιο. Στη συνέχεια, οι υπόλοιποι τέσσερις πραγματοποιήθηκαν το διάστημα Μάιου - Νοεμβρίου 2010 με σκοπό την ποιοτική και ποσοτική εκτίμηση των Πετρελαϊκών και Οργανικών Ρύπων (TPHs, PAHs), στο θαλασσινό νερό και στα θαλάσσια ιζήματα της ευρύτερης περιοχής της Καλντέρας.

Στον Πίνακα 7.3 παρουσιάζεται το χρονοδιάγραμμα όλων των δειγματοληπτικών ελέγχων το διάστημα Ιανουαρίου – Νοεμβρίου 2010.

Πίνακας 7.3. Χρονοδιάγραμμα δειγματοληπτικών ελέγχων για το διάστημα Ιανουαρίου – Νοεμβρίου, 2010.

Χρ. Διάστημα	Ιανουάριος	Μάιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Νοέμβριος
Είδη δειγματοληψίας					
Θαλάσσια στήλη	+	+	+	+	+
Ιζήματα				+	+
Στερεοποιημένο πετρέλαιο (tars)	+			+	+

Για την πραγματοποίηση μίας τόσο σύνθετης διαδικασίας όπως είναι ένας δειγματοληπτικός έλεγχος, κρίνεται απαραίτητη η χρήση – χρησιμοποίηση μιας σειράς εργαλείων και μέσων. Αυτά είναι τα εξής:

1. Αλιευτικό σκάφος με βίντσι και GPS για την άμεση πρόσβαση σε όλους τους δειγματοληπτικούς σταθμούς.
2. Δειγματολήπτες θαλάσσιας στήλης (Niskin) και ιζημάτων (τύπου grab).
3. Ειδικά κινητά ψυγεία (+παγοκύστες) για την συντήρηση των δειγμάτων μέχρι την μεταφορά τους στο εργαστήριο για ανάλυση.
4. Ειδικές σκούρες δειγματοληπτικές φιάλες όγκου 1 L για ανάλυση Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων-Οργανικών Ρύπων.
5. Πλαστικά γάντια για την όλη διαδικασία και αποφυγή μόλυνσης.
6. Αλουμινόχαρτο ή πλαστικά δοχεία για την αποθήκευση των ιζημάτων και ζυγαριά.

7. Αδιάβροχοι μαρκαδόροι και ετικέτες για την καταγραφή των δειγμάτων έτσι ώστε να είναι γνωστό που αντιστοιχεί κάθε δείγμα.
8. Απιονισμένο και υπερκάθαρο νερό για την πλύση των φιαλών.
9. Ψηφιακή φωτογραφική μηχανή για την καταγραφή τυχόν παρατηρήσεων που μπορεί να θεωρηθούν σημαντικές για την έρευνα.

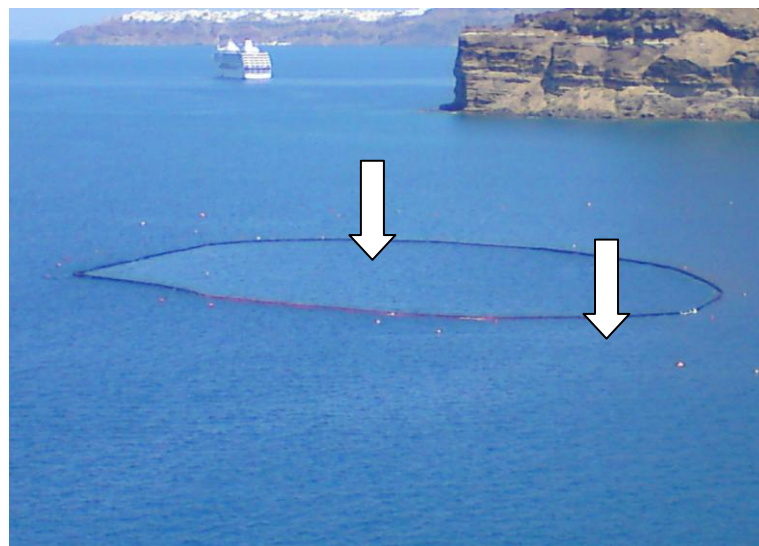
7.4. Παρακολούθηση του επιπέδου ρύπανσης της περιοχής μελέτης από το Πολυτεχνείο Κρήτης

7.4.1. Πρώτη δειγματοληψία

Η πρώτη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στην αρχή του έτους και συγκεκριμένα στις 22 Ιανουαρίου 2010, με τη βοήθεια σκάφους. Η ακριβής τοποθεσία της δειγματοληψίας ήταν εντός και εκτός του αντιρρυπαντικού φράγματος, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.8. Ο σκοπός της κυρίως ενδεικτικός και ποιοτικός, ώστε να διαπιστωθεί τι είδους ουσίες ανέρχονται στην επιφάνεια πάνω από το ναυάγιο, εντός του φράγματος.

Ο συνολικός αριθμός των επιφανειακών δειγμάτων ήταν οκτώ. Ποιο συγκεκριμένα, συλλέχθηκαν 4 διπλά δείγματα τα οποία συγχωνεύτηκαν για τις ανάγκες της ανάλυσης, καθώς και ένα πισσώδες δείγμα το οποίο περιείχε στερεοποιημένο πετρέλαιο. Τα δείγματα ήταν τα εξής:

1. **SA** (S1+S3)
2. **SB** (S2+S4)
3. **SC** (S5+S6)
4. **SD** (S7+S8) – εκτός
5. **Tarwater sample** (πισσώδες δείγμα).



Εικόνα 7.8. Τοποθεσία 1^{ης} δειγματοληψίας.

Την ημέρα της δειγματοληψίας, παρατηρήθηκαν στο πεδίο ορατές κηλίδες πετρελαίου προερχόμενες από το βυθό, όπου βρίσκεται το ναυάγιο (Εικόνα 7.9 και 7.10). Επίσης, διαπιστώθηκαν έντονα λεπτά στρώματα πετρελαίου (γυαλάδες) εντός και εκτός του φράγματος, σε μεγάλες αποστάσεις.



Εικόνα 7.9. Κηλίδα πετρελαίου ανερχόμενη από το βυθό του ναυαγίου.



Εικόνα 7.10. Κηλίδα πετρελαίου στην επιφάνεια της θάλασσας εντός του αντιρρυπαντικού φράγματος.

7.4.2. Δεύτερη δειγματοληψία

Η δεύτερη σειρά δειγματοληψιών στη θαλάσσια περιοχή της Καλντέρας από την ερευνητική ομάδα του Πολυτεχνείου Κρήτης, πραγματοποιήθηκε στις 22 & 23 Μαΐου του 2010, με τη βοήθεια αλιευτικού σκάφους.

Σκοπός της δειγματοληψίας ήταν η αξιολόγηση του επιπέδου ρύπανσης της ευρύτερης περιοχής της Καλντέρας και της περιοχής που βρίσκεται το ναυάγιο, ως προς τους Πετρελαϊκούς Υδρογονάνθρακες.

Συγκεκριμένα, ελήφθησαν δείγματα νερού στη θαλάσσια στήλη από συνολικά 21 σημεία στη θαλάσσια περιοχή της Καλντέρας. Δεδομένου ότι τα πετρελαιοειδή ανέρχονται στην επιφάνεια της θάλασσας ύστερα από μία ή περισσότερες διαρροές, λόγω του ειδικού βάρους τους (διαφορά πυκνότητας με το θαλασσινό νερό), κρίθηκε σκόπιμο να αξιολογηθούν μόνο επιφανειακά δείγματα νερού και να εξεταστούν ως προς Πετρελαϊκούς και Οργανικούς ρύπους.

Όλα τα δείγματα νερού ελήφθησαν από βάθος 2 m στη θαλάσσια στήλη με τη βοήθεια ειδικού δειγματολήπτη (φιάλη Niskin 10 lt). Τα δείγματα αποθηκεύτηκαν αμέσως σε ειδικά φορητά ψυγεία μαζί με παγοκύστες για λόγους συντήρησης. Στη συνέχεια μεταφέρθηκαν σε κανονικό ψυγείο σε θερμοκρασία μικρότερη των 4 °C μέχρι την στιγμή που στάλθηκαν για ανάλυση στα διαπιστευμένα εργαστήρια της AGROLAB Labor GmbH, στην πόλη Bruckberg της Γερμανίας.

Στην Εικόνα 7.11 που ακολουθεί παρουσιάζεται ο χάρτης της περιοχής όπου φαίνονται οι θέσεις δειγματοληψίας, ενώ στον Πίνακα 7.4 παρουσιάζονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες των θέσεων δειγματοληψίας.

Για μεθοδολογικούς σκοπούς, επιλέχθηκε να πραγματοποιηθούν δειγματοληψίες και σε ορισμένες θέσεις όπου υπήρχαν προηγούμενες μετρήσεις από το Ελ.Κε.Θ.Ε. με σκοπό να συγκριθούν τα αποτελέσματα. Οι θέσεις αυτές εμφανίζονται μέσα σε παρένθεση σύμφωνα με την ονοματολογία του Ελ.Κε.Θ.Ε., τόσο στην Εικόνα 7.11 όσο και στον Πίνακα 7.4.

Τέλος, την ημέρα της δειγματοληψίας παρατηρήθηκε ρύπανση με έντονες διαστάσεις στην νοτιοανατολική περιοχή του ναυαγίου, κοντά στην ακτή, όπως διακρίνεται στην Εικόνα 7.12.



Εικόνα 7.11. Σημεία 2^{ης} δειγματοληψίας Πολυτεχνείου Κρήτης στην περιοχή της Καλντέρας (Google Earth).



Εικόνα 7.12. Έντονη ρύπανση νοτιοανατολικά του ναυαγίου, κοντά στην ακτή.

Πίνακας 7.4. Γεωγραφικές συντεταγμένες των δειγματοληπτικών σταθμών στην περιοχή της Καλντέρας κατά την 2^η φάση δειγματοληψιών.

ΣΗΜΕΙΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	Γ. ΜΗΚΟΣ	Γ. ΠΛΑΤΟΣ	ΣΗΜΕΙΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	Γ. ΜΗΚΟΣ	Γ. ΠΛΑΤΟΣ
SN1 (Ελ.Κε.Θ.Ε)(1)	25°20'45.30"A	36°21'42.66"B	SN4 (Ελ.Κε.Θ.Ε)(2)	25°21'58.80"A	36°22'45.60"B
SN6 (Ελ.Κε.Θ.Ε)(13)	25°25'43.98"A	36°23'37.44"B	SN6d(10)	25°24'47.17"A	36°23'37.47"B
SN6a (Ελ.Κε.Θ.Ε)(9)	25°25'6.00"A	36°23'17.88"B	SN6c(14)	25°25'21.79"A	36°23'58.61"B
SN6b (Ελ.Κε.Θ.Ε)(16)	25°25'17.94"A	36°24'13.68"B	SN5b(7)	25°24'33.43"A	36°23'21.59"B
Kam-1	25°23'12.54"A	36°23'29.88"B	SN7d(15)	25°24'54.94"A	36°24'11.12"B
Kam-2	25°23'14.52"A	36°23'44.70"B	AΘ-3(3)	25°25'37.84"A	36°23'28.05"B
Kam-3	25°23'25.08"A	36°23'40.98"B	SN5c(8)	25°25'9.49"A	36°22'57.12"B
Kam-4	25°22'49.08"A	36°24'8.88"B	SN5d(6)	25°24'3.77"A	36°23'21.52"B
Kam-5	25°22'57.84"A	36°24'18.54"B	Ίζημα	25°25'57.00"A	36°23'34.20"B
Kam-6	25°23'8.52"A	36°24'41.04"B			
SN7 (Ελ.Κε.Θ.Ε)(19)	25°24'30.90"A	36°25'35.52"B			
SN7a(18)	25°24'49.86"A	36°24'45.60"B			
SN7b(17)	25°25'21.96"A	36°24'41.28"B			
SN7c(12)	25°24'54.90"A	36°23'50.40"B			
Φράγμα εξ.-1	25°25'46.86"A	36°23'40.32"B			
Φράγμα εξ.-2	25°25'48.54"A	36°23'44.70"B			
AΘ-1	25°25'50.34"A	36°23'18.72"B			
AΘ-2	25°25'40.20"A	36°23'14.76"B			
SN5a(5)	25°24'28.02"A	36°22'58.86"B			
SN5 (Ελ.Κε.Θ.Ε)(3)	25°24'14.28"A	36°22'22.62"B			
SN4a(4)	25°24'10.86"A	36°22'48.96"B			

7.4.3. Τρίτη δειγματοληψία

Δεδομένων των αποτελεσμάτων της δεύτερης δειγματοληψίας, κρίθηκε απαραίτητο η δεύτερη δειγματοληψία να επικεντρωθεί σε ένα πυκνότερο πλέγμα δειγματοληπτικών σταθμών γύρω από το ναυάγιο, και συγκεκριμένα ανατολικά από αυτό, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.13. Συγκεκριμένα, σκοπός της πυκνότερης χωροθέτησης των δειγματοληπτικών σταθμών, ήταν η πιθανή ανίχνευση «πλουμίου» ρύπανσης, προερχόμενου από το ναυάγιο του πλοίου. Οι θέσεις δειγματοληψίας κατά τη δεύτερη σειρά δειγματοληψιών διακρίνονται στην Εικόνα 7.14, ενώ οι αντίστοιχες γεωγραφικές συντεταγμένες εμφανίζονται στον Πίνακα 7.5.

Η στρατηγική που ακολουθήθηκε ήταν η ίδια με αυτήν της δεύτερης δειγματοληψίας, συλλέγοντας όλα τα δείγματα νερού από βάθος 2 m στη θαλάσσια στήλη με τη βοήθεια ειδικού δειγματολήπτη (φιάλη Niskin 10 lt). Τα δείγματα αποθηκεύτηκαν αμέσως σε ειδικά φορητά ψυγεία μαζί με παγοκύστες για λόγους συντήρησης. Στη συνέχεια μεταφέρθηκαν σε κανονικό ψυγείο σε θερμοκρασία μικρότερη των 4 °C μέχρι την στιγμή που στάλθηκαν για ανάλυση στα εργαστήρια της AGROLAB Labor GmbH στο Bruckberg της Γερμανίας.

Οι δειγματοληπτικοί σταθμοί που εμφανίζονται στην Εικόνα 7.14 απέχουν αποστάσεις της τάξης των 150-250 μέτρων και σχηματίζουν τέσσερα αλληπάλλληλα τόξα (σειρά 1, 2, 3 και 4) με συνολικά 25 θέσεις δειγματοληψίας.



Εικόνα 7.13. Η περιοχή της τρίτης δειγματοληψίας, δυτικά του αντιρρυπαντικού φράγματος.



Εικόνα 7.14. Σημεία δειγματοληψίας κατά τη 3^η φάση δειγματοληψιών (Google Earth).

Πίνακας 7.5. Γεωγραφικές συντεταγμένες των θέσεων δειγματοληψίας κατά τη 3^η φάση δειγματοληψιών.

Δειγματοληπτικός σταθμός	Συντεταγμένες	Δειγματοληπτικός σταθμός	Συντεταγμένες
1a	36° 24' 6.39'' 25° 25' 29.29''	3a	36° 24' 12.42'' 25° 25' 17.41''
1b	36° 23' 59.11'' 25° 25' 26.25''	3b	36° 24' 2.54'' 25° 25' 11.65''
1c	36° 23' 51.23'' 25° 25' 24.63''	3c	36° 23' 52.08'' 25° 25' 8.73''
1d	36° 23' 37.43'' 25° 25' 30.86''	3d	36° 23' 39.78'' 25° 25' 13.15''
1e	36° 23' 43.66'' 25° 25' 25.90''	3e	36° 23' 30.61'' 25° 25' 21.94''
1f	36° 23' 32.57'' 25° 25' 38.83''	3f	36° 23' 24.45'' 25° 25' 32.97''
1g	36° 23' 28.14'' 25° 25' 49.42''	3g	36° 23' 21.82'' 25° 25' 46.43''
2a	36° 24' 4.30'' 25° 25' 21.33''	4a	36° 24' 9.96'' 25° 25' 5.20''
2b	36° 23' 56.57'' 25° 25' 17.67''	4b	36° 23' 58.17'' 25° 24' 59.33''
2c	36° 23' 47.68'' 25° 25' 17.07''	4c	36° 23' 42.79'' 25° 24' 57.73''
2d	36° 23' 37.72'' 25° 25' 23.32''	4d	36° 23' 29.66'' 25° 25' 6.01''
2e	36° 23' 31.82'' 25° 25' 31.75''	4e	36° 23' 20.74'' 25° 25' 22.79''
2f	36° 23' 27.61'' 25° 25' 40.78''		

7.4.4. Τέταρτη δειγματοληψία

Στις 30 Αυγούστου 2010 πραγματοποιήθηκε από το Πολυτεχνείο Κρήτης ο τέταρτος κατά σειρά δειγματοληπτικός έλεγχος στην περιοχή του ναυαγίου του Sea Diamond, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.15. Η τέταρτη κατά σειρά δειγματοληψία επικεντρώθηκε σε ένα ακόμη πυκνότερο πλέγμα δειγματοληπτικών σταθμών γύρω από το ναυάγιο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.17, καθώς τα περισσότερα σημεία παρέχουν καλύτερη εικόνα της κατάστασης της περιοχής.

Εκτός όμως από τη θαλάσσια στήλη, δειγματοληψία έγινε και στα θαλάσσια επιφανειακά ιζήματα του βυθού της περιοχής, όπου οι θέσεις δειγματοληψίας τους παρουσιάζονται στην Εικόνα 7.18. Ακόμη, συλλέχθηκε στερεοποιημένο πετρέλαιο και ελαιώδη (tars) στα εσωτερικά και εξωτερικά τοιχώματα (Εικόνα 7.16) του αντιρρυπαντικού φράγματος με σκοπό την ανάλυση Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων.

Σκοπός του τέταρτου δειγματοληπτικού ελέγχου, ήταν:

1. η αξιολόγηση του επιπέδου ρύπανσης της συγκεκριμένης περιοχής ως προς τους Πετρελαϊκούς και Οργανικούς ρύπους.
2. η πιθανή ανίχνευση «πλουμίου» ρύπανσης, προερχόμενου από το ναυάγιο του πλοίου.
3. Η εξέταση επιφανειακών ιζημάτων για τυχόν εναποθέσεις Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων στο βυθό.

Ο συνολικός αριθμός των δειγμάτων ανέρχονται σε:

- 20 δείγματα θαλασσινού νερού
- 5 δείγματα ιζημάτων
- 3 δείγματα με στερεοποιημένο πετρέλαιο και ελαιώδη εντός και περιμετρικά του αντιρρυπαντικού φράγματος.

Όσο αφορά τα συγκεκριμένα δείγματα, στάλθηκαν για ανάλυση στα εργαστήρια της AGROLAB Labor GmbH στο Bruckberg της Γερμανίας.

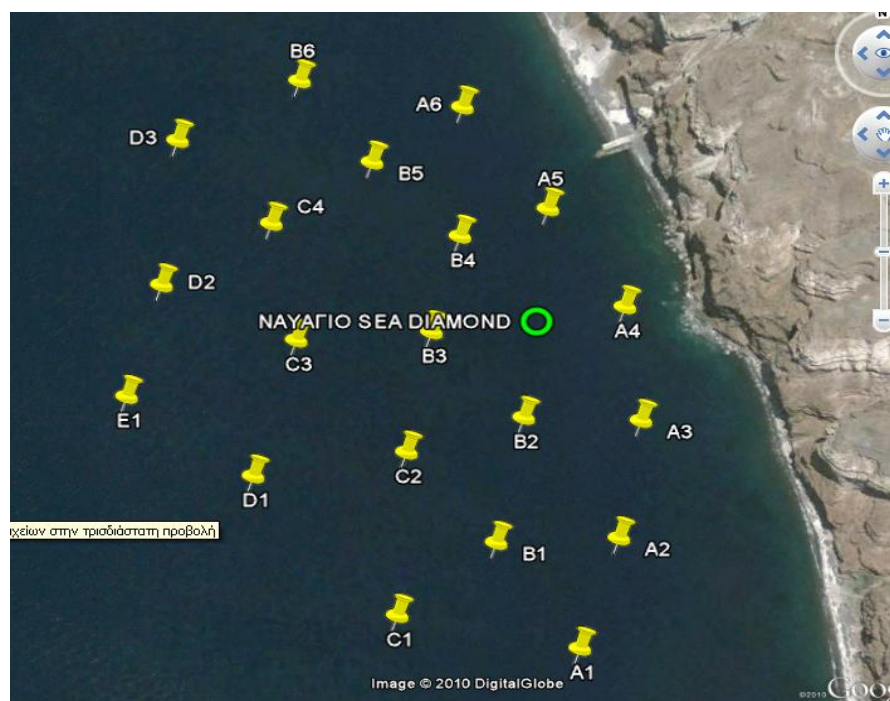


Εικόνα 7.15. Η περιοχή της τέταρτης δειγματοληψίας, κοντά στο ναυάγιο.



Εικόνα 7.16. Τοιχώματα του αντιρρυπαντικού φράγματος κοντά στα οποία έγινε η δειγματοληψία πετρελαιοειδών.

Οι αντίστοιχες γεωγραφικές συντεταγμένες των θέσεων δειγματοληψίας θαλάσσιας στήλης και ιζημάτων εμφανίζονται στους Πίνακες 7.6. και 7.7.



Εικόνα 7.17. Σημεία δειγματοληψίας θαλάσσιας στήλης κατά την 4^η φάση δειγματοληψιών (Google Earth).



Εικόνα 7.18. Σημεία δειγματοληψίας επιφανειακών ιζημάτων κατά την 4^η φάση δειγματοληψιών (Google Earth).

Πίνακας 7.6. Γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων δειγματοληψίας θαλάσσιας στήλης και πετρελαιοειδών κατά την 4^η φάση δειγματοληψιών.

ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓ/ΨΙΑΣ	Γ. ΠΛΑΤΟΣ	Γ.ΜΗΚΟΣ	Π.ΥΔΡΟ/ΚΕΣ
<i>Θαλάσσια Στήλη</i>			
A1	36°23'572	25°25'914	1
A2	36°23'639	25°25'943	1
A3	36°23'710	25°25'960	1
A4	36°23'779	25°25'952	1
A5	36°23'839	25°25'902	1
A6	36°23'903	25°25'847	1
B6	36°23'921	25°25'738	1
B5	36°23'870	25°25'785	1
B4	36°23'824	25°25'843	1
B3	36°23'766	25°25'822	1
B2	36°23'713	25°25'882	1
B1	36°23'638	25°25'860	1
C1	36°23'595	25°25'793	1
C2	36°23'694	25°25'802	1
C3	36°23'764	25°25'731	1
C4	36°23'835	25°25'716	1
D3	36°23'886	25°25'655	1
D2	36°23'799	25°25'642	1
D1	36°23'682	25°25'698	1
E1	36°23'732	25°25'615	1
<i>Σύνολο</i>			20
<i>Εντός & εκτός φράγματος</i>			
Φ1 (tar)	36°23'46.24"B	25°25'52.83"A	1
Φ2 (tar)	36°23'46.24"B	25°25'52.83"A	1
Φ3 (tar)	36°23'46.24"B	25°25'52.83"A	1
<i>Σύνολο</i>			3

Πίνακας 7.7. Γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων δειγματοληψίας επιφανειακών ιζημάτων.

ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓ/ΨΙΑΣ	Γ.ΠΛΑΤΟΣ	Γ.ΜΗΚΟΣ
<i>Ιζήματα</i>		
SD1 (25m)	36°23'584	25°26'029
SD2 (15m)	36°23'652	25°26'015
SD3 (8m)	36°23'717	25°25'983
SD4 (8m)	36°23'807	25°25'933
SD5 (5m)	36°23'906	25°25'882

Την ημέρα της δειγματοληψίας, παρατηρήθηκε στο πεδίο έντονη ρύπανση νοτιοανατολικά του ναυαγίου, κοντά στην ακτή, όπως εξάλλου διακρίνεται και στις Εικόνες 7.19 & 7.20, καθώς επίσης παρουσία μεγάλου αριθμού μεδουσών του γένους *Cothyloriza tuberculata* (Εικόνες 7.21 & 7.22). Όσο αφορά τώρα την παρουσία των συγκεκριμένων οργανισμών στην περιοχή, δεν είναι γνωστό που οφείλεται. Ίσως παρασύρθηκαν από τον καιρό, ίσως η συγκεκριμένη περιοχή να τους φάνηκε «πλούσια» σε τροφή.



Εικόνες 7.19 & 7.20. Έντονη ρύπανση νοτιοανατολικά του ναυαγίου, κοντά στις ακτές.



Εικόνες 7.21 & 7.22. Μέδουσα του γένους *Cothyloriza tuberculata* στην περιοχή του ναυαγίου, κοντά στο αντιρρυπαντικό φράγμα.

7.4.5. Πέμπτη δειγματοληψία

Στις 8 και 11 Νοεμβρίου 2010 πραγματοποιήθηκε από το Πολυτεχνείο Κρήτης ο πέμπτος και τελευταίος δειγματοληπτικός έλεγχος στην περιοχή του ναυαγίου του Sea Diamond στα πλαίσια του προγράμματος «*«Ποιοτικός και ποσοτικός χαρακτηρισμός επικίνδυνων και τοξικών ουσιών από το ναυάγιο του Sea Diamond-Περιβαλλοντικές επιπτώσεις (παρούσες και μελλοντικές)»*

Η τελευταία δειγματοληψία επικεντρώθηκε σε ένα μικρότερο σε σχέση με τα προηγούμενα πλέγμα δειγματοληπτικών σταθμών γύρω από το ναυάγιο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.23, άλλα ταυτόχρονα συλλέχθηκε νερό και από μεγαλύτερα βάθη. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.8. Να σημειωθεί επίσης ότι 4 από τα συνολικά 15 σημεία δειγματοληψίας ήταν κοινά με τα αντίστοιχα σημεία της προηγούμενης δειγματοληψίας. Ο λόγος ήταν ότι στην θαλάσσια στήλη των συγκεκριμένων σταθμών παρατηρήθηκαν υψηλές τιμές Βαρέων Μετάλλων, και έτσι θεωρήθηκε απαραίτητο να επανεξεταστούν.



Εικόνα 7.23. Οι θέσεις δειγματοληψίας θαλάσσιας στήλης κατά την 5^η φάση δειγματοληψιών (Google Earth).

Πίνακας 7.8. Γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων δειγματοληψίας θαλάσσιας στήλης κατά την 5^η φάση δειγματοληψιών.

ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓ/ΨΙΑΣ	Γ. ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ		Π.Υ
<i>Θαλάσσια Στήλη</i>			
A2* (2m, 20m)	36°23'639	25°25'943	2
A3* (2m, 20m)	36°23'710	25°25'960	2
A4* (2m, 20m)	36°23'779	25°25'952	2
B6* (2m)	36°23'921	25°25'738	1
B5* (2m)	36°23'870	25°25'785	1
S1(2m, 50m)	36°23'767"	25°25'824"	2
S2 (2m)	36°23'827"	25°25'874"	1
S3 (2m)	36°23'534"	25°25'961"	1
S4 (2m)	36°24'062"	25°25'665"	1
S5 (2m)	36°23'756"	25°25'698"	1
10 (2m)	36°23'467"	25°24'915"	1
Φ1	περιμετρικά	του φράγματος	1
Φ2	περιμετρικά	του φράγματος	1
Φ3	περιμετρικά	του φράγματος	1
Φ4	περιμετρικά	του φράγματος	1
Σύνολο			19

*Τα σημεία **A2**, **A3**, **A4**, **B6** και **B5** είναι τα ίδια με της 4^{ης} δειγματοληψίας και επιλέχθηκαν ξανά διότι παρατηρήθηκαν υψηλές τιμές Βαρέων Μετάλλων στη θαλάσσια στήλη τους.

Εκτός από τη θαλάσσια στήλη, δειγματοληψία έγινε και στα θαλάσσια επιφανειακά ιζήματα του βυθού της περιοχής, όπου οι θέσεις δειγματοληψίας τους φαίνονται στην Εικόνα 7.24 και οι γεωγραφικές τους συντεταγμένες στον Πίνακα 7.9. Ακόμη, έγινε δειγματοληψία στερεοποιημένου πετρελαίου (Εικόνα 7.25) το οποίο είχε συλλεχθεί στις 8 Νοεμβρίου 2010 από την εταιρεία απορρύπανσης της περιοχής (**Τεχνική Προστασίας Περιβάλλοντος-ΕΡΕ**), με σκοπό την ανάλυση πετρελαϊκών υδρογονανθράκων.



Εικόνα 7.24. Σημεία δειγματοληψίας ιζημάτων βυθού στα παράλια του ναυαγίου (**Google Earth**).



Εικόνα 7.25. Συλλεγμένο πετρέλαιο σε απορροφητικά σφουγγάρια και «περούκες» από την εταιρεία απορρύπανσης της περιοχής του ναυαγίου.

Ο σκοπός της πέμπτης και τελευταίας φάσης δειγματοληψιών, ήταν:

1. Η αξιολόγηση του επιπέδου ρύπανσης της συγκεκριμένης περιοχής ως προς τους Πετρελαϊκούς και Οργανικούς ρύπους.
2. Η εξέταση επιφανειακών ιζημάτων για τυχόν εναποθέσεις Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων στο βυθό.

Ο συνολικός αριθμός των δειγμάτων ανέρχονται σε:

- 19 δείγματα θαλασσινού νερού
- 5 δείγματα ιζημάτων
- 2 δείγματα με στερεοποιημένο πετρέλαιο συλλεγμένο από την εταιρεία απορρύπανσης.

Όσο αφορά τα συγκεκριμένα δείγματα, στάλθηκαν για ανάλυση στα εργαστήρια της AGROLAB Labor GmbH στο Bruckberg της Γερμανίας.

Πίνακας 7.9. Γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων δειγματοληψίας επιφανειακών ιζημάτων.

ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓ/ΨΙΑΣ	Γ.ΠΛΑΤΟΣ	Γ.ΜΗΚΟΣ	Π.ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡ ΑΚΕΣ
<i>Ιζήματα</i>			
SD1 (m,m)	36°23'584	25°26'029	1
SD2 (m,m)	36°23'652	25°26'015	1
SD3 (m,m)	36°23'717	25°25'983	1
SD4 (m,m)	36°23'807	25°25'933	1
SD5 (m,m)	36°23'906	25°25'882	1
<i>Σύνολο</i>			5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Αποτελέσματα Δειγματοληψιών

8.1. Αποτελέσματα πρώτης δειγματοληψίας

Τα αποτελέσματα της πρώτης ενδεικτικής δειγματοληψίας που πραγματοποιήθηκε από το Πολυτεχνείο Κρήτης (22 Ιανουαρίου 2010) στο εσωτερικό του αντιρρυπαντικού φράγματος ακριβώς πάνω από το ναυάγιο του Sea Diamond, παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.1. Σκοπός, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ήταν να διαπιστωθεί τι είδους ουσίες ανέρχονται στην επιφάνεια της θάλασσας προερχόμενες από το κουφάρι του πλοίου, εντός του φράγματος.

Πίνακας 8.1. Αποτελέσματα 1^{ης} (ποιοτικής) δειγματοληψίας εντός του αντιρρυπαντικού φράγματος.

Παράμετροι	TPH (mg/l)	PAHs (μg/l)	Pb (mg/l)	Br (mg/l)	Zn (mg/l)	Cr (mg/l)	Cu (mg/l)
Θαλάσσια στήλη							
SA(S1+S3)	<0.1	0.02	0.004	3.6	-	-	-
SB(S2+S4)	<0.1	0.53	0.004	9.7	0.02	-	-
SC(S5+S6)	<0.1	<0.1	0.12	3.7	0.02	-	-
SD(S7+S8)	<0.1	<0.1	0.006	3.7	-	-	-
Tarwater (Πισσώδες)	120.000	31	-	-	27	5	11

Από τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα, επισημαίνεται ότι:

- Οι τιμές των Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων (TPHs & PAHs) που παρατηρήθηκαν στα δείγματα θαλασσινού νερού είναι χαμηλές, κάτω από τα όρια ανίχνευσης (0.1 & 0.01).
- Σε όλα τα δείγματα, οι σχετικά υψηλές τιμές Βρωμίου (κόκκινο χρώμα) αποδεικνύουν την πιθανή απελευθέρωση Βρωμιούχων Επιβραδυντών Φλόγας από το εσωτερικό του ναυαγίου.
- Οι υψηλές τιμές των Βαρέων Μετάλλων Zn, Cr και Cu στο συγκεκριμένο πισσώδες δείγμα οφείλονται στο γεγονός ότι τα πετρελαιοειδή που ανέρχονται στην επιφάνεια συνοδεύονται και από άλλες ουσίες, όπως τα συγκεκριμένα Βαρέα Μέταλλα.

- Οι υψηλές τιμές Ολικών Υδρογονανθράκων (κόκκινο χρώμα) που παρατηρήθηκαν στο πισσώδες δείγμα, οφείλονται στην ύπαρξη «στερεοποιημένου πετρελαίου».
- Τέλος, σε ένα δείγμα (SB) παρατηρήθηκε σχετικά υψηλή τιμή Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (κίτρινο χρώμα), γεγονός που οφείλεται στο ότι ένα ποσοστό των πετρελαιοειδών που απελευθερώνονται, συγκεντρώνονται εντός του αντιρρυπαντικού φράγματος. Συνεπώς, η ανίχνευση PAHs σε δείγματα θαλασσινού νερού της περιοχής είναι πολύ πιθανή.

Το συμπέρασμα που προκύπτει λοιπόν, είναι ότι στο αντιρρυπαντικό φράγμα το οποίο είναι υπεύθυνο για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος της περιοχής από τα πετρελαιοειδή που διαρρέουν από το κουφάρι, συγκεντρώνονται και άλλου είδους ουσίες, όπως τα συγκεκριμένα Βαρέα Μέταλλα που μετρήθηκαν στα δείγματα θαλασσινού νερού. Οι συγκεκριμένες ουσίες όμως, όντας μη ορατές σε αντίθεση με τα πετρελαιοειδή, δεν συλλέγονται και υπάρχει πιθανότητα διαφυγής τους εκτός του αντιρρυπαντικού φράγματος. Συνεπώς, η παρακολούθηση της συγκεκριμένης περιοχής με συχνές δειγματοληψίες δίνοντας έμφαση τόσο εντός όσο και εκτός του αντιρρυπαντικού φράγματος, θεωρείται άκρως αναγκαία.

8.2. Αποτελέσματα δεύτερης δειγματοληψίας

Τα αποτελέσματα της δεύτερης σειράς δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκε στην ευρύτερη περιοχή της Καλντέρας τον Μάιο του 2010 παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.2.

Παρατηρούνται πολύ χαμηλές τιμές συγκεντρώσεων Ολικών και Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων, σε όλους τους δειγματοληπτικούς σταθμούς, οι περισσότερες μάλιστα κάτω από το όριο της ανίχνευσης.

Ένας λόγος για τον οποίο παρατηρούνται αυτές οι χαμηλές τιμές είναι ότι τα περισσότερα σημεία δειγματοληψίας βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από το ναυάγιο, και συνεπώς είναι δύσκολο να ανιχνευτούν πετρελαιοειδή σε τόσο μακρινές αποστάσεις, όταν μάλιστα η διαρροή των πετρελαιοειδών είναι περιορισμένη γύρω από τον χώρο του ναυαγίου. Επίσης, ένας δεύτερος σημαντικός παράγοντας στον οποίο πιθανότατα να οφείλονται αυτές οι χαμηλές τιμές στις συγκεντρώσεις των υδρογονανθράκων, είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας τον μήνα Μάιο που έγιναν οι δειγματοληψίες. Το διάστημα Μαΐου-Σεπτεμβρίου επικρατεί κατά κύριο λόγο έντονη ηλιακή ακτινοβολία (θερινοί μήνες) και συνεπώς, υψηλές θερμοκρασίες οι οποίες συμβάλλουν στην διαλυτοποίηση, την αποικοδόμηση και τη διασπορά των πετρελαιοειδών. Τέλος, θεωρείται αυτονόητη η σημαντική συμβολή του φυσικού περιβάλλοντος στην απορρύπανση της περιοχής (π.χ μικροοργανισμοί που διασπούν το πετρέλαιο).

Αξίζει να σημειωθεί ότι στο τελευταίο μέρος αυτού του κεφαλαίου, γίνεται μία σημαντική και συνάμα χρήσιμη σύγκριση με άλλες τιμές Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων που έχουν ανιχνευθεί σε άλλες επιβαρυμένες περιοχές της Ελλάδας, με σκοπό να κατανοηθεί η σημασία των τιμών των συγκεντρώσεων που ανιχνεύτηκαν στην θαλάσσια στήλη της Καλντέρας.

Σημ. Δεγ/ως		SN1 (1)	SN4 (2)	SN4a (4)	SN5 (3)	SN5a (5)	SN5b (7)	SN5c (8)	SN5d (6)	SN6 (13)	SN6a (9)	SN6b (16)	SN6c (14)	SN6d (10)	SN7 (19)	SN7a (18)	SN7b (17)	SN7c (12)	SN7d (15)	A0. 3	Φ. 1	Φ.2
Παράμετροι	Unit																					
C10-C40	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PAHs																						
Naphthalene	μg/l	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Acenaphthylene	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Avenaphthene	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Fluorene	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Phenanthrene	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	0.02	<0.01	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Anthracene	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Fluoranthene	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Pyrene	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Benzo(a)anthracene	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Chrysene	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Benzo(b)fluoranthene	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Benzo(k)fluoranthene	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Benzo(a)pyrene	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Dibenzo(ah)anthracene	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Benzo(ghi)perylene	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Indeno(1,2,30cd)pyrene	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Sum PAH	μg/l	0.03													0.04	0.02						

Πίνακας 8.2. Αποτελέσματα 2^{ης} δειγματοληψίας στην ευρύτερη περιοχή της Καλντέρας.

8.3. Αποτελέσματα τρίτης δειγματοληψίας

Τα αποτελέσματα της τρίτης δειγματοληψίας που πραγματοποιήθηκε από την Ομάδα του Πολυτεχνείου Κρήτης το διήμερο 3-4 Ιουλίου 2010 στην περιοχή δυτικά του ναυαγίου, παρουσιάζονται στους Πίνακες 8.3 και 8.4. Σκοπός ήταν η αξιολόγηση του επιπέδου ρύπανσης της περιοχής ως προς τους Πετρελαϊκούς Υδρογονάνθρακες, καθώς και η τυχόν ύπαρξη πλουμίου ρύπανσης, προερχόμενο από το ναυάγιο.

Πίνακες 8.3 & 8.4. Αποτελέσματα 3^{ης} δειγματοληψίας στην περιοχή δυτικά του ναυαγίου.

Παράμετροι	Μονάδες μέτρησης	Δ.Σ 1a	Δ.Σ 1b	Δ.Σ 1c	Δ.Σ 1d	Δ.Σ 1e	Δ.Σ 1f	Δ.Σ 1g	Δ.Σ 2a	Δ.Σ 2b	Δ.Σ 2c	Δ.Σ 2d	Δ.Σ 2e
Hydrocarbons Index (C10-C40)	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

Παράμετροι	Μονάδες μέτρησης	Δ.Σ 2f	Δ.Σ 3a	Δ.Σ 3b	Δ.Σ 3c	Δ.Σ 3d	Δ.Σ 3f	Δ.Σ 3g	Δ.Σ 4a	Δ.Σ 4b	Δ.Σ 4c	Δ.Σ 4e
Hydrocarbons Index (C10-C40)	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

Με βάση τα αποτελέσματα της δειγματοληψίας, παρατηρείται ότι:

- Οι τιμές των Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων (TPHs & PAHs) που παρατηρήθηκαν στη θαλάσσια στήλη είναι πολύ χαμηλές (κάτω από το όριο ανίχνευσης 0.1). Συνεπώς, στην θαλάσσια στήλη της περιοχής δεν ανιχνεύτηκαν πετρελαιοειδή.

8.4. Αποτελέσματα τέταρτης δειγματοληψίας

Τα αποτελέσματα της τέταρτης δειγματοληψίας που πραγματοποιήθηκε από την Ομάδα του Πολυτεχνείου Κρήτης στις 31 Αυγούστου 2010 στην περιοχή γύρω από το ναυάγιο, παρουσιάζονται στους Πίνακες 8.5, 8.6 και 8.7.

Όσο αφορά τα αποτελέσματα για την θαλάσσια στήλη, παρατηρείται πως και σε αυτή την περίπτωση οι συγκεντρώσεις των Ολικών Υδρογονανθράκων και Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων είναι χαμηλές, κάτω από το όριο της ανίχνευσης. Αυτό δείχνει ότι και σε αυτή την δειγματοληψία, δεν ανιχνεύτηκαν πετρελαιοειδή στην περιοχή γύρω από το ναυάγιο.

Όσο αφορά τα αποτελέσματα των ιζημάτων βάθους από 5 έως 25 μέτρα, και σε αυτά οι τιμές συγκεντρώσεων των TPHs και PAHs είναι κάτω από το όριο της ανίχνευσης, που σημαίνει ότι μέχρι στιγμής δεν υπάρχουν επικαθίσεις πετρελαιοειδών στα συγκεκριμένα σημεία του βυθού.

Εκτός από την θαλάσσια στήλη και τα ιζήματα, έγινε συλλογή μερικών πισσώδων δειγμάτων, δηλαδή στερεοποιημένου πετρελαίου, από τα εσωτερικά και εξωτερικά τοιχώματα του αντιρρυπαντικού φράγματος. Οι τιμές των Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων (TPHs & PAHs) (κόκκινο χρώμα) που μετρήθηκαν στα πισσώδη δείγματα (tarwater samples), τόσο εντός όσο και εκτός του αντιρρυπαντικού φράγματος, είναι υπερβολικά υψηλές και αποδεικνύουν ότι η υφιστάμενη επιφανειακή κάλυψη είναι ανεπαρκής για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος της Καλντέρας. Να σημειωθεί ότι το δείγμα F3 συλλέχθηκε έξω από το αντιρρυπαντικό φράγμα, από κηλίδα πετρελαίου.

Σύμφωνα με Ευρωπαϊκά Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος, το ανώτατο επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης Ολικών Υδρογονανθράκων σε ένα θαλάσσιο ίζημα, είναι 1000 mg/kg. Αν και αυτή η τιμή θεωρείται εξαιρετικά υψηλή, με βάση την βιβλιογραφική έρευνα δεν έχουν συναντηθεί ιζήματα με τόσο υψηλές τιμές Ολικών Υδρογονανθράκων. Όμως, αυτό δεν σημαίνει πως τα συγκεκριμένα πισσώδη δείγματα θα επικαθίσουν εξ ολοκλήρου σε ιζήματα του βυθού της Καλντέρας, καθώς πρόκειται για μεμονωμένες κηλίδες πετρελαίου των οποίων η τύχη στο θαλάσσιο περιβάλλον ποικίλει.

Σημ. Δειγ/ιας	Unit	ΔΣ A2	ΔΣ A3	ΔΣ A4	ΔΣ A5	ΔΣ A6	ΔΣ B2	ΔΣ B4	ΔΣ B5	ΔΣ B6	ΔΣ C2	ΔΣ C4	ΔΣ D1	ΔΣ D3	ΔΣ E1	ΔΣ C3
C10-C40	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PAHs																
<i>Naphthalene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	0,02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Acenaphthylene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Avenaphthene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Fluorene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Phenanthrene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01
<i>Anthracene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Fluoranthene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Pyrene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Benzo(a)anthracene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Chrysene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Benzo(b)fluoranthene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Benzo(k) fluoranthene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Benzo(a)pyrene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Dibenzo(ah)anthracene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Benzo(ghi)perylene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Indeno(1,2,3cd)pyrene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sum PAH	μg/l				0.02											

Πίνακας 8.5. Αποτελέσματα 4^{ης} δειγματοληψίας στην περιοχή του ναυαγίου (θαλάσσια στήλη).

Πίνακας 8.6. Αποτελέσματα 4^{ης} δειγματοληψίας στην περιοχή του ναυαγίου
(επιφανειακά ιζήματα).

Παράμετροι	Μονάδες μέτρησης	Όριο Ανίχνευσης	SD1 (25m)	SD2 (15m)	SD3 (8m)	SD4 (8m)	SD5 (5m)
Hydrocarbons Index (C10-C40)	mg/kg	50	<50	<50	<50	<50	<50
Sum PAH (EPA)	μg/kg	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

Πίνακας 8.7. Αποτελέσματα 4^{ης} δειγματοληψίας στα εσωτερικά και εξωτερικά
τοιχώματα του αντιρρυπαντικού φράγματος (πισσώδη δείγματα).

Παράμετροι	Μονάδα μέτρησης	Όριο Ανίχνευσης	F1	Όριο Ανίχνευσης	F2	Όριο Ανίχνευσης	F3
Hydrocarbon Index (C10-C40)	[mg/kg]	50	83000	50	100000	50	94000
PAH							
<i>Naphthalene</i>	mg/kg	0.17	<0.17	0.14	3	0.25	1.5
<i>Acenaphthylene</i>	mg/kg	0.17	<0.17	0.14	<0.14	0.25	<0.25
<i>Acenaphthene</i>	mg/kg	0.17	<0.17	0.14	0.19	0.25	<0.25
<i>Fluorene</i>	mg/kg	0.17	1.4	0.14	0.57	0.25	0.73
<i>Phenanthrene</i>	mg/kg	0.17	1.8	0.14	1.7	0.25	2.2
<i>Anthracene</i>	mg/kg	0.17	0.54	0.14	0.44	0.25	0.42
<i>Fluoranthene</i>	mg/kg	0.17	0.29	0.14	0.55	0.25	0.59
<i>Pyrene</i>	mg/kg	0.17	0.7	0.14	1.4	0.25	0.54
<i>Benzo(a)anthracene</i>	mg/kg	0.17	0.67	0.14	3.2	0.25	3.6
<i>Chrysene</i>	mg/kg	0.17	1.8	0.14	2.8	0.25	3.9
<i>Benzo(b)fluoranthene</i>	mg/kg	0.17	1.7	0.14	0.86	0.25	1.1
<i>Benzo(k)fluoranthene</i>	mg/kg	0.17	0.19	0.14	0.23	0.25	0.31
<i>Benzo(a)pyrene</i>	mg/kg	0.17	0.18	0.14	<0.14	0.25	<0.25
<i>Dibenzo(ah)anthracen</i>	mg/kg	0.17	<0.17	0.14	<0.14	0.25	<0.25
<i>Benzo(ghi)perylene</i>	mg/kg	0.17	1.4	0.14	0.74	0.25	1.1
<i>Indeno(1,2,3-cd)pyrene</i>	mg/kg	0.17	<0.17	0.14	<0.14	0.25	0.3
Sum PAH (EPA)			10.7		15.7		16.3

8.5. Αποτελέσματα πέμπτης δειγματοληψίας

Τα αποτελέσματα της πέμπτης και τελευταίας δειγματοληψίας που πραγματοποιήθηκε από το Πολυτεχνείο Κρήτης στα πλαίσια του προγράμματος «Ποιοτικός και ποσοτικός χαρακτηρισμός των επικίνδυνων και τοξικών ουσιών από το ναυάγιο του Sea Diamond-Περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Παρούσες και Μελλοντικές)», στις 8 και 11 Νοεμβρίου 2010 στην περιοχή γύρω από το ναυάγιο, παρουσιάζονται στους Πίνακες 8.8, 8.9 για τη θαλάσσια στήλη, και στους Πίνακα 8.10, 8.11 για τα επιφανειακά ιζήματα.

Όσο αφορά την θαλάσσια στήλη, τα αποτελέσματα αυτή τη φορά είναι διαφορετικά από αυτά των προηγούμενων δειγματοληπτικών ελέγχων. Δεδομένου ότι συλλέχθηκαν δείγματα και από βάθη των 20 μέτρων για ορισμένα σημεία δειγματοληψίας, παρατηρήθηκαν σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων, και συγκεκριμένα **Ναφθαλενίου**, σε 8 σημεία δειγματοληψίας (A2-20m, A3-20m, A3-2m, A4-2m, B5-2m, S4-2m, S5-2m και 10) (Πίνακες 8.8 & 8.9). Όσο αφορά τους Ολικούς Υδρογονάνθρακες (TPHs), όλες οι τιμές των συγκεντρώσεων ήταν κάτω από το όριο της ανίχνευσης (0.1) σε όλα τα σημεία δειγματοληψίας.

Οι συγκεντρώσεις TPHs & PAHs που ανιχνεύτηκαν στα επιφανειακά ιζήματα ήταν όλες σχεδόν κάτω από τα όρια της ανίχνευσης, με εξαίρεση το ίζημα SD1-30m, όπου η συγκέντρωση των PAHs βρέθηκε ίση με 0.94 mg/kg (940 ng/gr).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα σημεία A4-2m και S4-2m, τα οποία παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές PAHs, και συγκεκριμένα Ναφθαλενίου (κόκκινο χρώμα). Το Ναφθαλένιο, γνωστό και ως Ναφθαλίνη είναι ένας στερεός κρυσταλλικός αρωματικός υδρογονάνθρακας με χημικό τύπο $C_{10}H_8$ και αποτελείται από 2 συμπυκνωμένους βενζολικούς δακτυλίους. Σύμφωνα με την **IARC (International Agency for Research on Cancer)**, το Ναφθαλένιο κατατάσσεται ως πιθανών καρκινογόνο για τον άνθρωπο και τα ζώα (Group B). Επισημαίνεται επίσης ότι η οξεία έκθεση σε Ναφθαλένιο προκαλεί καταρράκτη στον άνθρωπο, σε αρουραίους και άλλους οργανισμούς (**Wikipedia**). Τέλος, η έκθεση σε μεγάλες ποσότητες μπορεί να προκαλέσει βλάβη ή καταστροφή των ερυθρών αιμοσφαιρίων, ναυτία, εμετό, ακόμα και ίκτερο.

Σημ. Δειγ/ιας	Unit	ΔΣ A2 (2m)	ΔΣ A3 (2m)	ΔΣ A4 (2m)	ΔΣ B5 (2m)	ΔΣ B6 (2m)	ΔΣ S1 (2m)	ΔΣ S2 (2m)	ΔΣ S3 (2m)	ΔΣ S4 (2m)	ΔΣ S5 (2m)	ΔΣ 10 (2m)
C10-C40	mg/l	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PAHs												
<i>Naphthalene</i>	μg/l	<0.01	0.14	0.71	0.37	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.81	0.36	0.46
<i>Acenaphthylene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Acenaphthene</i>	μg/l	0.01	0.03	0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	0.03
<i>Fluorene</i>	μg/l	<0.01	0.09	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	0.01	0.01
<i>Phenanthrene</i>	μg/l	<0.01	0.13	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	0.02	0.01
<i>Anthracene</i>	μg/l	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Fluoranthene</i>	μg/l	<0.01	0.11	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Pyrene</i>	μg/l	<0.01	0.08	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Benzo(a)anthracene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Chrysene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Benzo(b)fluoranthene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Benzo(k) fluoranthene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Benzo(a)pyrene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Dibenzo(ah)anthracene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Benzo(ghi)perylene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Indeno(1,2,3cd)pyrene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sum PAH	μg/l	0.01	0.60	0.72	0.40					0.85	0.39	0.51

Πίνακας 8.8. Αποτελέσματα 5^{ης} δειγματοληψίας (θαλάσσια στήλη 1).

Σημ. Δειγ/ιας	Unit	ΔΣ A2 (20m)	ΔΣ A3 (20m)	ΔΣ A4 (20m)	ΔΣ S1 (50m)	F1	F2	F3	F4
C10-C40	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PAHs									
<i>Naphthalene</i>	μg/l	0.41	0.39	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Acenaphthylene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Acenaphthene</i>	μg/l	0.02	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Fluorene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Phenanthrene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Anthracene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Fluoranthene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Pyrene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Benzo(a)anthracene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Chrysene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Benzo(b)fluoranthene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Benzo(k) fluoranthene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Benzo(a)pyrene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Dibenzo(ah)anthracene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Benzo(ghi)perylene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Indeno(1,2,3cd)pyrene</i>	μg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sum PAH	μg/l	0.43	0.41						

Πίνακας 8.9. Αποτελέσματα 5^{ης} δειγματοληψίας (θαλάσσια στήλη 2).

Πίνακας 8.10. Αποτελέσματα 5^{ης} δειγματοληψίας στην περιοχή του ναυαγίου
(επιφανειακά ιζήματα) (1).

Παράμετροι	Μονάδες μέτρησης	Όριο Ανίχνευσης	SD1 (51m)	SD1(30m)	SD1 (20m)	SD2 (20m)	SD2 (12m)
Hydrocarbons Index (C10-C40)	mg/kg	50	<50	<50	<50	<50	<50
<i>Naphthalene</i>	mg/kg		<0.05	0.42	<0.05	<0.05	0.13
<i>Acenaphthylene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Acenaphthene</i>	mg/kg		<0.05	0.12	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Fluorene</i>	mg/kg		<0.05	0.21	<0.05	<0.05	0.05
<i>Phenanthrene</i>	mg/kg		<0.05	0.19	<0.05	<0.05	0.06
<i>Anthracene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Fluoranthene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Pyrene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Benzo(a)anthracene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Chrysene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Benzo(b)fluoranthene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Benzo(k)fluoranthene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Benzo(a)pyrene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Dibenz(ah)anthracene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Benzo(ghi)perylene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Indeno(1,2,3-cd)pyrene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Sum PAHs (EPA)	mg/kg			0.94			0.24

Πίνακας 8.11. Αποτελέσματα 5^{ης} δειγματοληψίας στην περιοχή του ναυαγίου
(επιφανειακά ιζήματα) (2).

Παράμετροι	Μονάδες μέτρησης	Όριο Ανίχνευσης	SD3 (15m)	SD3(12m)	SD4(11m)	SD4(8m)	SD5 (11m)	SD5 (7m)
Hydrocarbons Index (C10-C40)	mg/kg	50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
<i>Naphthalene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.07
<i>Acenaphthylene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Acenaphthene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Fluorene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Phenanthrene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.07
<i>Anthracene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Fluoranthene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Pyrene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Benzo(a)anthracene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Chrysene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Benzo(b)fluoranthene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Benzo(k)fluoranthene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Benzo(a)pyrene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Dibenz(ah)anthracene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Benzo(ghi)perylene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>Indeno(1,2,3-cd)pyrene</i>	mg/kg		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Sum PAHs (EPA)	mg/kg							0.14

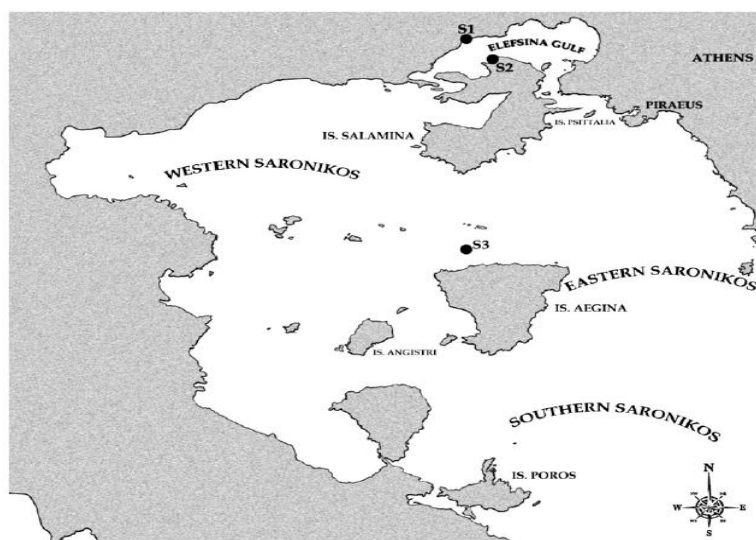
Αξιολόγηση αποτελεσμάτων – Σύγκριση με άλλες μελέτες

- **Θαλάσσια Στήλη**

Για να γίνει περισσότερο κατανοητή η σημασία των συγκεντρώσεων των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων που ανιχνεύτηκαν στη θαλάσσια στήλη της Καλντέρας, ακολουθεί μία αξιολογή συσχέτιση – σύγκριση των τιμών αυτών με αντίστοιχες που έχουν μετρηθεί σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας και του εξωτερικού. Δόθηκε έμφαση σε κόλπους – θάλασσες οι οποίες θεωρούνται επιβαρυνμένες με ρυπογόνες ουσίες, όπως ο Σαρωνικός, ο Θερμαϊκός, ο Ευβοϊκός κτλ, περιοχές με έντονη ναυτιλιακή και βιομηχανική δραστηριότητα.

Οι **Valavanidis A., et. al. (2008)** μέτρησαν συγκεντρώσεις PAHs στην ευρύτερη περιοχή του Σαρωνικού κόλπου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.1, οι οποίες κυμάνθηκαν από 425 έως 459 ng/L (**0.425-0.459 µg/l**) στις πιο μολυσμένες περιοχές 1 και 2 (παραλία Ελευσίνας και Σαλαμίνα), και από 103 έως 124 ng/L (**0.103-0.124 µg/l**) στην περιοχή της Αίγινας. Τα συγκεκριμένα επίπεδα PAHs εκτιμώνται μέτρια προς χαμηλά. Από τους 17 PAHs που μελετήθηκαν, εννέα μόνο εντοπίστηκαν, ενώ όλοι οι υπόλοιποι βρέθηκαν σε συγκεντρώσεις κάτω από το όριο ανίχνευσης. Η παραλία της Ελευσίνας και η Σαλαμίνα (περιοχές 1 και 2) παρουσίασαν τα υψηλότερα επίπεδα PAHs, γεγονός που οφείλεται στις εκπομπές καύσεων και στις μεταφορές των πλοίων που λαμβάνουν χώρα στο λιμάνι του Πειραιά. Οι τιμές αυτές θεωρούνται μέτριες προς υψηλές, σε σύγκριση με τιμές άλλων παράκτιων περιοχών και λιμανιών της Μεσογείου.

Στην Εικόνα 8.1 διακρίνονται οι τρεις παράκτιες τοποθεσίες του Σαρωνικού κόλπου όπου πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες θαλασσινού νερού.



Εικόνα 8.1. Σημεία δειγματοληψίας στον Σαρωνικό κόλπο (Valavanidis A., et. al., 2008).

Στο Πίνακα 8.12 που ακολουθεί παρουσιάζονται ενδεικτικές τιμές συγκεντρώσεων PAHs στο θαλασσινό νερό διαφόρων περιοχών του κόσμου, όπως του Ατλαντικού Ωκεανού, της Μεσόγειου, της Βαλτικής θάλασσας και τέλος, του Θερμαϊκού κόλπου (Κίτσος Α., 2003). Όσο αφορά τον τελευταίο, ο οποίος μάλιστα θεωρείται περιοχή έντονης βιομηχανικής δραστηριότητας, οι συγκεντρώσεις PAHs είναι οι υψηλότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες άλλων περιοχών, με τιμές από 135 έως 917 ng/L (0.135-0.917 µg/l).

Πίνακας 8.12. Συγκεντρώσεις PAHs σε θαλασσινό νερό διαφόρων περιοχών (ng/l) (Κίτσος Α., 2003).

PAH	Βόρειος Ατλαντικός [4]	King George (Ανταρκτική) [5]	Μεσόγειος Θάλασσα [4]	Θάλασσα της Βαλτικής [2]		Κόλπος Θερμαϊκού (Ελλάδα) [2]
				Βάθος 10-25 m	Βάθος 70-415 m	
Np		200		0.27 – 1.78	0.05 – 0.41	
Acy		11				
Ace		8		1.63 – 4.86	0.13 – 1.04	10 – 64
F				0.27 – 0.86	0.03 – 0.18	10 – 150
Ph	0.40	8	0.24	0.50 – 2.26	0.08 – 1.00	30 – 132
An		2		0.16 – 0.46	0.04 – 0.56	10 – 170
Fl	0.11	5	0.35	0.41 – 0.93	0.10 – 0.85	10 – 65
Py	0.07	3	0.07	0.12 – 0.99	0.03 – 0.42	10 – 140
B[a]An	~0.01		~0.01	0.03 – 0.90	0.01 – 0.11	10 – 45
Crhy			~0.01	0.04 – 0.46	0.01 – 0.09	10 – 45
B[b]Fl	~0.04		~0.05	0.03 – 0.13	0.01 – 0.09	
B[k]Fl	~0.04		~0.05	0.01 – 0.06	0.01 – 0.07	15 – 32
B[a]Py	~0.02		~0.01	0.01 – 0.12	0.01 – 0.07	10 – 44
Db[a,h]An				0.01 – 0.02	0.00 – 0.17	
B[ghi]Pe				0.02 – 0.48	0.00 – 0.35	10 – 30
I[1,2,3-cd]Py				0.01 – 0.19	0.00 – 0.19	
$\sum PAH$	~0.69	237	~0.79	3.25 – 7.86	0.51 – 5.60	135 – 917

Σε μία άλλη έρευνα που έγινε στην Μεσόγειο θάλασσα και συγκεκριμένα στην παράκτια περιοχή της Αλεξάνδρειας στην Αίγυπτο (**Kamal M.Z., et. al., 2005**), μετρήθηκαν Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες στην θαλάσσια στήλη. Η θαλάσσια περιοχή της Αλεξάνδρειας περιλαμβάνει ένα από τα μεγαλύτερα και κυριότερα λιμάνια της χώρας. Θεωρείται μία από τις πιο βιομηχανικές ζώνες, όπου καταναλώνονται συνεχώς σημαντικές ποσότητες πετρελαίου και προϊόντων του. Υπολογίζεται ότι μεταφέρονται μέσω αγωγών περίπου 100 εκατομμύρια τόνοι αργού πετρελαίου το χρόνο από τις χώρες του Περσικού Κόλπου. Μία άλλη πηγή πετρελαϊκής ρύπανσης στην περιοχή αποτελούν οι εκροές τεράστιων ποσών χερσαίων υδάτων αποστράγγισης και αποχέτευσης από την έντονα ρυπασμένη λίμνη Mariut. Τα συγκεκριμένα απόβλητα περιλαμβάνουν λιπαντικά και πετρελαιοειδή.

Συγκεντρώσεις Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων ανιχνεύθηκαν στο θαλασσινό νερό της παράκτιας περιοχής της Αλεξάνδρειας το έτος 1995. Η διακύμανση των PAH δεν επηρεάστηκε από εποχιακές αλλαγές. Ο αρωματικός υδρογονάνθρακας που βρέθηκε σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ήταν το Πυρένιο (112ng/l ή **0.112 μg/l**). Έπειτα ακολούθησαν το Ναφθαλένιο (56ng/l ή **0.056 μg/l**) και το Φαινανθρένιο (14ng/l ή **0.014 μg/l**). Οι περισσότεροι από τους αρωματικούς υδρογονάνθρακες που περιέχονται στο θαλασσινό νερό προέκυψαν κυρίως από την καύση πετρελαίου και των προϊόντων του, ενώ λίγοι αρωματικοί υδρογονάνθρακες βρέθηκαν ως αποτέλεσμα ρύπανσης πετρελαίου.

Στον ακόλουθο Πίνακα 8.13 παρουσιάζονται συγκεντρώσεις αρωματικών υδρογονανθράκων που έχουν μετρηθεί σε διάφορες περιοχές του κόσμου.

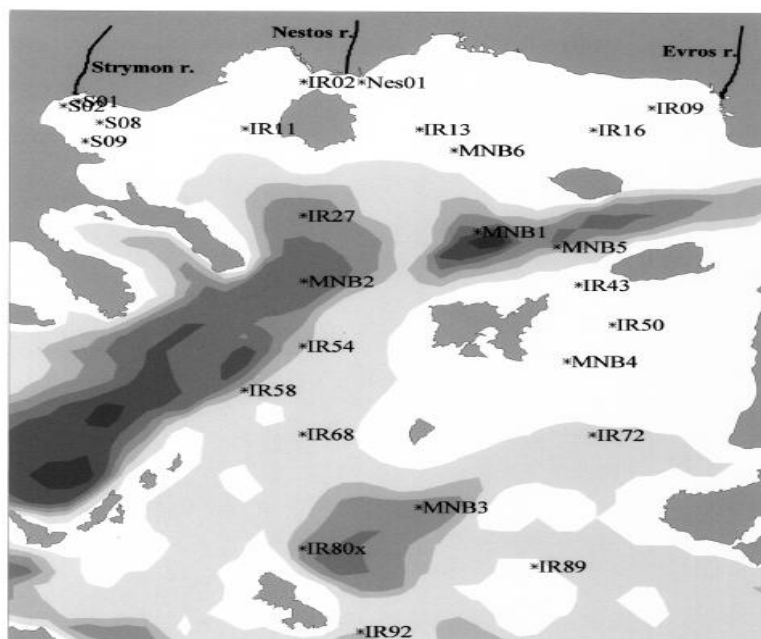
Πίνακας 8.13. Συγκεντρώσεις Αρωματικών Υδρογονανθράκων σε άλλες θαλάσσιες περιοχές (ng/l) (**Kamal M.Z., et. al., 2005**).

Area	Aromatic hydrocarbons (ng l-1)						Reference
	na.	ph.	flu.	pyr.	chry.	Benz (a) anth.	
- The Southern Ocean	6.3	5.5	4.4	3.3	1.1	0.9	Cripps, 1992
- Saudian Red Sea coastal waters	-	29.3-66.3	-	200.2-228.3	44.3-97.2	-	Awad, 1990
- Gulf of Oman	-	113	-	373	235	-	Awad <i>et al.</i> , 1990
- Alexandria coastal waters	55.7	14.1	6.9	112.3	1.3	0.1	Present study

Επιστρέφοντας στον ελληνικό χώρο, ακολουθούν δύο ακόμη παραδείγματα που αφορούν συγκεντρώσεις Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Το 2002, οι **Hatzianestis I. & Sklivagou E. (National Centre for Marine Search)** ερεύνησαν τα επίπεδα των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs) στο θαλασσινό νερό του Βορείου Αιγαίου. Οι μετρούμενες συγκεντρώσεις PAHs, οι οποίες θεωρούνται γενικά αυξημένες στις ανοικτές θάλασσες, ήταν ομοιόμορφα κατανεμημένες στην περιοχή. Τα επίπεδά τους κατά τη διαλυμένη φάση κυμάνθηκαν από 1.6 έως 33.0 ng/l (**0.0016–0.033 µg/l**), πολύ υψηλότερα από εκείνα που προέκυψαν κατά την σωματιδιακή φάση (0.04-10.2 ng/l). Οι συγκεντρώσεις γενικότερα ήταν ελαφρώς αυξημένες και υψηλότερες από εκείνες που επικρατούν σε ανοικτές θάλασσες. Η κίνηση των πλοίων στην περιοχή φαίνεται να αποτελεί μια σημαντική πηγή PAHs, ενώ οι απορροές αστικών και παράκτιων δραστηριοτήτων δεν μπορεί να θεωρηθούν ως κύριες πηγές PAHs στη συγκεκριμένη περιοχή.

Στην Εικόνα 8.2 διακρίνονται σταθμοί δειγματοληψίας σε όλο το Βόρειο Αιγαίο, καλύπτοντας μία αρκετά μεγάλη έκταση, ενώ στον Πίνακα 8.14 παρουσιάζονται ενδεικτικές τιμές συγκεντρώσεων PAHs σε διάφορες περιοχές της Μεσογείου και γενικότερα της Ευρώπης.



Εικόνα 8.2. Δειγματοληπτικοί σταθμοί στο Βόρειο Αιγαίο (**Hatzianestis & Sklivagou, 2002**).

Πίνακας 8.14. Συγκεντρώσεις PAHs σε περιοχές της Μεσογείου και της Ευρώπης (ng/l) (Hatzianestis & Sklivagou, 2002).

Area	Dissolved	Suspended	Total	Reference
North Aegean	2.5-19.5	0.02-2.9	3.9-20.2	THIS STUDY
Cretan sea	0.4-1.4	0.3-1.4		GOGOU & STEPHANOU, 1997
Open Western Mediterranean	0.5-2.2	0.2-1.1		DACHS <i>et al.</i> , 1997
Northwestern Black Sea	0.8	1.0		MALDONADO <i>et al.</i> , 1999
Southeastern Mediterranean	50			EHRHARDT & PETRICK, 1993
North Sea			0-15	LAW <i>et al.</i> , 1997
Baltic Sea			3.1-9.2	WITT & MATTHUS, 2001
Rhone Delta	31-120	2.9-19		BOULOUBASSI & SALIOT, 1991
Tyrrhenian Sea	63-3050	581-7540		CINCINELLI <i>et al.</i> , 2001
Chesapeake Bay estuaries	3200-43000	1800-23000		GUSTAFSON & DICKHUT, 1997

Τέλος, οι **Triantafyllaki et. al. (2005)** μελέτησαν τα επίπεδα των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων στις θαλάσσιες περιοχές του Ευβοϊκού και Μαλλιακού κόλπου, στην Στερεά Ελλάδα. Τα σημεία δειγματοληψίας ήταν τρία για καθεμία περιοχή. Στον Πίνακα 8.15 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των 17 PAHs που μετρήθηκαν στους δύο κόλπους. Να σημειωθεί ότι ο Μαλλιακός κόλπος επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την γεωργική δραστηριότητα της περιοχής. Από την άλλη πλευρά, ο Ευβοϊκός χαρακτηρίζεται από αστική και βιομηχανική ρύπανση προερχόμενη από τα ναυπηγεία και τις χημικές εγκαταστάσεις που υπάρχουν στην περιοχή.

Οι συγκεντρώσεις των PAHs ήταν υψηλότερες στον Ευβοϊκό κόλπο (142.2, 106.3 ng/l ή **0.142, 0.106 µg/l**) από 'τι στον Μαλλιακό, γεγονός που οφείλεται κυρίως στις βιομηχανικές πηγές ρύπανσης. Αυξημένες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν στις εκβολές του Σπερχειού ποταμού (73.8 ng/l ή **0.073 µg/l**) και στο λιμάνι της Αγίας Μαρίνας (52.7 ng/l ή **0.052 µg/l**).

Πίνακας 8.15. Συγκεντρώσεις PAHs που μετρήθηκαν στην θαλάσσια στήλη του Ευβοϊκού και Μαλλιακού κόλπου (**Triantafyllaki et. al., 2005**).

Compound	Malliakos-Stylida	Malliakos-Ag.Marina	Malliakos-Sperchios River	Evoikos-Halkida	Evoikos-Shipyards	Evoikos-Larko
Naphthalene	<LOD	52.7	73.8	106.3	142.2	41.3
Acenaphthylene	40.6	24.8	40.3	n.d.	n.d.	n.d.
Fluorene	13.0	27.1	9.0	7.25	5.3	44.2
Acenaphthene	8.9	n.d.	20.0	23.2	<LOD	28.7
Phenanthrene	26.0	33.6	15.1	50.2	13.7	71.1
Anthracene	1.5	1.8	4.3	10.5	4.0	4.7
Fluoranthene	7.9	7.4	5.1	23.2	26.0	5.2
Pyrene	<LOD	9.3	<LOD	10.1	8.3	<LOD
Benz[a]anthracene	<LOD	3.3	<LOD	14.1	5.3	4.8
Chrysene	<LOD	<LOD	<LOD	43.8	27.8	3.6
Benzo[b]fluoranthene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Benzo[k]fluoranthene	<LOD	<LOD	1.2	n.d.	0.9	2.1
Perylene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Benzo[a]pyrene	2.5	22.9	<LOD	n.d.	2.3	2.0
Dibenz[a,h]anthracene	4.7	3.9	<LOD	<LOD	4.9	6.2
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	18.6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<LOD
Benzo[g,h,i]perylene	<LOD	<LOD	<LOD	8.5	n.d.	3.8

(n.d. = not detected)

Συμπεράσματα

Παρατηρώντας τις τιμές των συγκεντρώσεων των PAHs που μετρήθηκαν στην θαλάσσια στήλη της Καλντέρας και συγκεκριμένα του ναυαγίου (**0.72-0.85 µg/l**), και συγκρίνοντάς τις ταυτόχρονα με τις αντίστοιχες των άλλων περιοχών που αναφέρονται στην παραπάνω βιβλιογραφική ανασκόπηση, προκύπτει ότι είναι **σημαντικά υψηλότερες**, με εξαίρεση ίσως την μέγιστη τιμή συγκέντρωσης που παρατηρήθηκε στην θαλάσσια στήλη του Θερμαϊκού κόλπου (**0.917 µg/l**). Να σημειωθεί ότι η σύγκριση των τιμών αυτών γίνεται διότι δεν υπάρχουν θεσμοθετημένα όρια συγκεντρώσεων για τους συγκεκριμένους οργανικούς ρύπους στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι θαλάσσιες περιοχές που μελετήθηκαν (Θερμαϊκός, Σαρωνικός, Ευβοϊκός) αποτελούν περιοχές έντονης αστικής, βιομηχανικής και ναυτιλιακής δραστηριότητας, σε αντίθεση με την θαλάσσια περιοχή της Καλντέρας. Ακόμα και η έντονη κίνηση των πλοίων τους θερινούς μήνες στην Σαντορίνη, δε μπορεί να συγκριθεί με την αντίστοιχη των παραπάνω κόλπων, ιδιαίτερα του Σαρωνικού. Συνεπώς, είναι δεδομένο ότι αυτές οι αυξημένες τιμές συγκεντρώσεων των PAHs οφείλονται στα πετρελαιοειδή που απελευθερώνονται με συνεχείς ρυθμούς από το ναυάγιο του Sea Diamond. Αξίζει δε να σημειωθεί ότι τα σημεία που μετρήθηκαν αυτές οι υψηλές συγκεντρώσεις (**A2, A3, A4, S4, S5, 10**), βρίσκονται γύρω από το ναυάγιο και το αντιρρυπαντικό φράγμα, σε διάφορες αποστάσεις και σε όλες τις διευθύνσεις (βλέπε χάρτη, κεφάλαιο 4).

Αυτό δείχνει, όπως εξάλλου έχει αποδειχθεί και από την χρήση του μοντέλου DESCAR 3.2 (Κεφ. 6), ότι το αντιρρυπαντικό φράγμα που βρίσκεται στην περιοχή για την συλλογή των πετρελαιοειδών που απελευθερώνονται συνεχώς, δεν είναι αποτελεσματικό, καθώς εγκλωβίζει μόνο τα πετρελαιοειδή σφαιρικού σχήματος που ανέρχονται κάθετα από τον βυθό. Μάλιστα, σε περιπτώσεις έντονων ανέμων (κυρίως Νοτιοδυτικών) όπου επικρατούν μεγάλοι κυματισμοί, ο μηχανικός περιορισμός του πετρελαίου καθίσταται τεχνικά αδύνατος (**Τεχνική Προστασίας Περιβάλλοντος, ΕΡΕ**). Έτσι, είναι αναπόφευκτο το ότι σημαντικές ποσότητες πετρελαιοειδών διαφεύγουν εκτός φράγματος και διασκορπίζονται σε όλη την περιοχή ανάλογα με την διεύθυνση του ανέμου και των ρευμάτων.

Τέλος, με βάση αυτές τις παρατηρήσεις, και λαμβάνοντας υπόψη λοιπότενταση των διαρροών είναι αυξητική, θεωρείται αναγκαία η συνεχής παρακολούθηση και σε τακτά χρονικά διαστήματα της θαλάσσιας περιοχής της Καλντέρας δειγματοληψίες σε θαλάσσια στήλη. Επίσης, θεωρείται αυτονόητη η μεγέθυνση του αντιρρυπαντικού φράγματος με σκοπό να αυξηθεί συγχρόνως και το ποσοστό της αποτελεσματικότητάς του.

- **Επιφανειακά Ιζήματα**

Όσο αφορά τα θαλάσσια επιφανειακά ιζήματα της περιοχής της Καλντέρας, όλες σχεδόν οι συγκεντρώσεις που ανιχνεύτηκαν και στις δύο δειγματοληψίες (Αύγουστος, Νοέμβριος 2010) ήταν κάτω από το όριο της ανίχνευσης, με εξαίρεση την συγκέντρωση του Νοεμβρίου στο ίζημα SD1-30m (0.94 mg/kg ή **940 ng/g**). Η συγκεκριμένη τιμή δε μπορεί να αξιολογηθεί για δύο λόγους: πρώτον γιατί μετρήθηκε μόνο σε ένα ίζημα, και δεύτερον, γιατί οι συγκεντρώσεις των άλλων ιζημάτων ήταν εξαιρετικά χαμηλές. Παρόλ'αυτά, ακολουθεί μία τυπική αναφορά σε συγκεντρώσεις Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων που έχουν ανιχνευτεί σε επιφανειακά ιζήματα διάφορων θαλάσσιων περιοχών, κυρίως κόλπων και λιμανιών, της Ελλάδας. Από την παρακάτω αναφορά παρατηρείται ότι η συγκέντρωση (**940 ng/g**) που ανιχνεύτηκε στο ίζημα του βυθού της Καλντέρας είναι μέσα στα όρια των αντίστοιχων συγκεντρώσεων ιζημάτων του Σαρωνικού κόλπου. Συνεπώς, το γεγονός αυτό αποδεικνύει μία ενδεχόμενη, έστω και μικρής έκτασης, επικάλυψη πετρελαιοειδών προερχομένων από το ναυάγιο του Sea Diamond στον βυθό της Καλντέρας, ανατολικά του ναυαγίου.

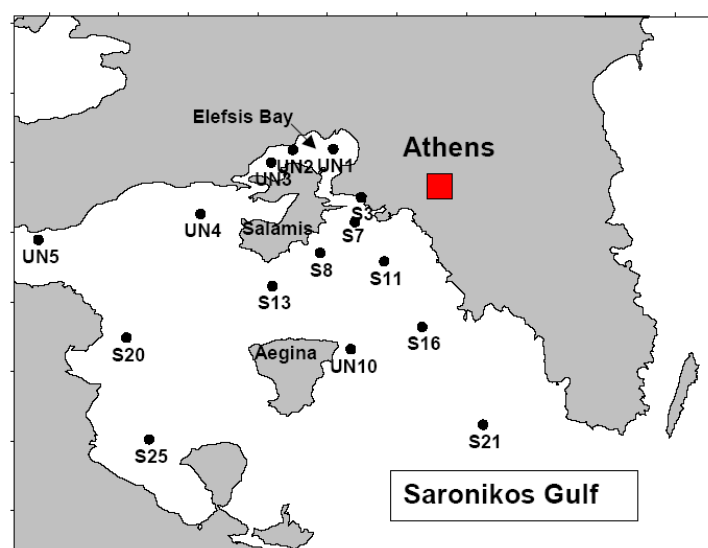
Μελλοντικές δειγματοληψίες ιζημάτων στην περιοχή κρίνονται εξαιρετικά χρήσιμες για την αξιολόγηση της ρύπανσης του βυθού από πετρελαιοειδή.

Και σε αυτή την περίπτωση, δε θα μπορούσε να απουσιάζει από την αναφορά η περιοχή του Σαρωνικού κόλπου, λόγω των έντονων ναυτιλιακών, αστικών και βιομηχανικών δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα στην συγκεκριμένη περιοχή.

Οι **Hatzianestis I. et. al., (2003)** πραγματοποίησαν έρευνα σχετικά με τα επίπεδα των PAHs σε επιφανειακά ιζήματα της συγκεκριμένης περιοχής. Οι τιμές των συγκεντρώσεων που μετρήθηκαν ήταν 7057 ng/g (**7.057 μg/g**) στην περιοχή κοντά στο Κερατσίνι (S3) (Εικόνα 8.3), από 1657 έως 5738 ng/g (**1.657 – 5.738 μg/g**) στην περιοχή της Ελευσίνας, και τέλος 3518 ng/g (**3.518 μg/g**) στην περιοχή της Ψυτάλλειας (S7). Στους υπόλοιπους σταθμούς, οι ολικές συγκεντρώσεις των PAHs κυμάνθηκαν από 119 έως 811 ng/g (**0.119 – 0.811 μg/g**) και θεωρούνται παρόμοιες με αντίστοιχες άλλων παράκτιων περιοχών της Μεσογείου, χωρίς να αποδεικνύουν σημαντικά προβλήματα ρύπανσης.

Στην Εικόνα 8.3 φαίνονται τα σημεία δειγματοληψίας ιζημάτων στην περιοχή του Σαρωνικού κόλπου.

Ανάμεσα στους 17 PAHs που μελετήθηκαν σε αυτή την έρευνα, το Βενζοπυρένιο βρέθηκε σε συγκεντρώσεις **3-510 ng/g**. Ο συγκεκριμένος αρωματικός υδρογονάνθρακας χρήζει ιδιαίτερης προσοχής λόγω των καρκινογενών ιδιοτήτων του. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το Βενζοπυρένιο έχει βρεθεί σε υψηλότερες συγκεντρώσεις (170-612 ng/g) στο λιμάνι της Βαρκελώνης (**Woodhead et. al., 1999**).



Εικόνα 8.3. Σημεία δειγματοληψίας ιζημάτων στον Σαρωνικό κόλπο (**Hatzianestis I. et. al., 2003**).

Μία ακόμη μελέτη πραγματοποιήθηκε από τους **Kostopoulou M. et al., (2007)**, σχετικά με τα επίπεδα των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων στα επιφανειακά ιζήματα του λιμανιού της Μυτιλήνης, στο νησί της Λέσβου. Τα θαλάσσια ιζήματα μπορεί να ρυπανθούν από διάφορες τοξικές ουσίες οι οποίες απελευθερώνονται από ανθρώπινες δραστηριότητες, κυρίως στα λιμάνια, όπου η κυκλοφορία του νερού προς την ανοικτή θάλασσα είναι περιορισμένη.

Οι συγκεντρώσεις των επτά κυριότερων PAHs που ανιχνεύτηκαν στα επιφανειακά ιζήματα της περιοχής κυμάνθηκαν από 6 ng/g έως 260 ng/g, εκτός από τον σταθμό MYT5 (Εικόνα 8.14) όπου οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες Βενζο(b)φλουορανθένιο και ΙνδENO(1,2,3-cd)πυρένιο δεν ανιχνεύτηκαν.

Στην Εικόνα 8.4 φαίνονται τα σημεία δειγματοληψίας των θαλάσσιων ιζημάτων στο λιμάνι της Μυτιλήνης, ενώ στον Πίνακα 8.16 παρουσιάζονται μερικές προτεινόμενες ενδεικτικές τιμές συγκεντρώσεων PAHs από το Ιταλικό Υπουργείο Περιβάλλοντος (**Italian Ministry of Environment**). Οι συνολικές συγκεντρώσεις PAHs στα ιζήματα του βυθού της Μυτιλήνης κυμάνθηκαν από **58 ng/g** έως **800 ng/g**, τιμές οι οποίες θεωρούνται χαμηλές έως μέτριες σε σχέση με αντίστοιχες άλλων ρυπασμένων περιοχών της Ελλάδας.



Εικόνα 8.4. Σημεία δειγματοληψίας ιζημάτων στο λιμάνι της Μυτιλήνης (**Kostopoulou M. et al., 2007**).

PAHs	Low value [ng/g]	Max. value [ng/g]	Threshold Value** [ng/g]
A	47	245	-
BaA*	75	693	-
BaP	80	763	-
Fluo	113	1494	-
P*	153	1398	-
BbF	-	-	40
BkF	-	-	20
BPer	-	-	55
IP	-	-	70
* BaA: Benzo (a) anthracene, P: Pyrene			
- : values not yet set			
** : further toxicological assessment is needed			

Πίνακας 8.16. Ενδεικτικές συγκεντρώσεις PAHs (ng/l) σε θαλάσσια ιζήματα σύμφωνα με το Ιταλικό Υπουργείο Περιβάλλοντος (**Italian Ministry of Environment**).

8.6. Συνολική εκτίμηση του επιπέδου επιβάρυνσης της περιοχής μελέτης

Τα αποτελέσματα όλων των παραπάνω δειγματοληπτικών ελέγχων που πραγματοποιήθηκαν σε θαλάσσια στήλη και ιζήματα της περιοχής της Καλντέρας στη Σαντορίνη το χρονικό διάστημα Ιανουάριος – Νοέμβριος 2010, δείχνουν ότι:

1. Η **θαλάσσια στήλη** της συγκεκριμένης περιοχής κατά το μεγαλύτερο διάστημα παρακολούθησης της (Μάιος – Ιουλός – Αυγούστος 2010), δεν παρουσίασε ιδιαίτερη επιβάρυνση από Πετρελαϊκούς και Οργανικούς ρύπους (PAHs, TPHs). Στους τρεις αυτούς δειγματοληπτικούς ελέγχους του Πολυτεχνείου Κρήτης, όλες οι τιμές των συγκεντρώσεων που παρατηρήθηκαν ήταν κάτω από το όριο ανίχνευσης.
2. Στην τελευταία δειγματοληψία του Πολυτεχνείου Κρήτης (Νοέμβριος 2010), παρατηρήθηκαν υψηλές τιμές Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs) σε 6 σημεία δειγματοληψίας γύρω από το ναυάγιο. Σε σύγκριση με άλλες επιβαρυνμένες περιοχές της χώρας και του εξωτερικού, οι συγκεκριμένες τιμές είναι **σημαντικά υψηλότερες**, και οφείλονται πολύ πιθανόν στο ναυάγιο του Sea Diamond, καθώς αποτελεί την μόνη πηγή πετρελαϊκής ρύπανσης στην περιοχή. Γι αυτό, θεωρείται αναγκαία η συνεχής παρακολούθηση της περιοχής της Καλντέρας με τακτές δειγματοληψίες και αναλύσεις θαλασσινού νερού.
3. Τα θαλάσσια **επιφανειακά ιζήματα** της συγκεκριμένης περιοχής που συλλέχθηκαν στις δύο τελευταίες δειγματοληψίες (Αύγουστος – Νοέμβριος 2010) δεν παρουσίασαν επιβάρυνση από Πετρελαϊκούς και Οργανικούς ρύπους (PAHs, TPHs). Όλες σχεδόν οι τιμές των συγκεντρώσεων ήταν κάτω από το όριο ανίχνευσης, με εξαίρεση αυτή του ιζήματος SD1-30m (0.94 mg/kg). Η συγκεκριμένη τιμή πιθανόν να προϋποθέτει επικάθιση πετρελαϊκών ρύπων στο βυθό της Καλντέρας, χωρίς αυτό να είναι απόλυτο. Η παρακολούθηση του συγκεκριμένου βυθού με μελλοντικές δειγματοληψίες και αναλύσεις ιζημάτων, κρίνεται απαραίτητη για την αξιολόγηση της ρύπανσης της περιοχής.
4. Τέλος, οι υπερβολικά υψηλές τιμές των Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων (TPHs & PAHs) που μετρήθηκαν σε όλα τα **πισσώδη δείγματα** (tarwater samples), τόσο εντός όσο και εκτός του αντιρρυπαντικού φράγματος, όσο και η ταυτοποίηση των δειγμάτων αυτών με χρήση της **χημικής αποτύπωσης (fingerprinting)**, καθιστούν

άκρως αναγκαία την μεγέθυνσή του, με κύριο σκοπό την αποτελεσματικότερη συλλογή των ‘‘ανερχόμενων’’ πετρελαιοειδών από το βυθό του ναυαγίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: Διαχρονική εξέλιξη της ρύπανσης από πετρελαιοειδή

9.1. Γενικά

Μεταξύ των δεινών που προκαλεί, η παραγωγή, μεταφορά, και χρήση του πετρελαίου (ρύπανση της ατμόσφαιρας, οικονομική κρίση κτλ), είναι και η ρύπανση των θαλάσσιων οικοσυστημάτων και γενικότερα του φυσικού περιβάλλοντος, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια της παρούσας εργασίας. Η ρύπανση αυτή με μερικές εκατοντάδες έως εκατομμύρια τόνους πετρελαίου, λαμβάνει χώρα είτε μετά από κάποιο ναυτικό ατύχημα, είτε σκόπιμα μερικές φορές.

Ένα μέρος του πετρελαίου στις θάλασσες προέρχεται από πλωτές εξέδρες άντλησης πετρελαίου στη θάλασσα (περίπτωση πετρελαιοκηλίδας BP, Κόλπος Μεξικού), ένα άλλο από το ανεξέλεγκτο πλύσιμο των δεξαμενών των πετρελαιοφόρων, από φυσικές διαρροές κατά την αποθήκευση από τα πλοία σε δεξαμενές στη στεριά, από τα διυλιστήρια, από τα αστικά και βιομηχανικά λύματα, και τέλος, από ναυτικά ατυχήματα πετρελαιοφόρων (περιπτώσεις *Exxon Valdez* και *Prestige*) και άλλων πλοίων (περίπτωση *Sea Diamond*).

Όσο αφορά την τελευταία αιτία πετρελαϊκής ρύπανσης στο θαλάσσιο περιβάλλον, χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το ατύχημα του πετρελαιοφόρου Τόρρεν Κάννουν, το οποίο απελευθέρωσε 100,000 τόνους πετρελαίου στις ακτές της Κορνουάλης της Αγγλίας, στις 18 Μαρτίου του 1967. Αποτελεί ένα από τα πιο γνωστά ατυχήματα, επειδή η ρύπανση ήταν τεράστια. Αξίζει να σημειωθεί όμως, ότι κάθε χρόνο η θάλασσα δέχεται την ισοδύναμη ρύπανση 61 *Τόρρεν Κάννουν* (Βουτυράκης Μ., 2005). Άλλα γνωστά παραδείγματα του ίδιου βεληνεκούς αποτελούν τα ατυχήματα του πετρελαιοφόρου *Exxon Valdez* στην Αλάσκα το 1989, του *Prestige* στην Γαλικία της Ισπανίας το 2002, του *Erika* το 1999 στην Γαλλία, ενώ μικρότερης εμβέλειας αλλά ιδιαίτερης σημασίας, το ατύχημα του κρουαζιερόπλοιου *Sea Diamond* τον Απρίλιο του 2007, στην Σαντορίνη.

Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση ενός ναυτικού ατυχήματος, η ρύπανση είναι δύσκολο να περιοριστεί τόσο χωρικά, όσο και χρονικά. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του αμερικάνικου πετρελαιοφόρου *Mississineva* το οποίο βυθίστηκε στην περιοχή της Μικρονησίας στις 20 Νοεμβρίου του 1944 (Michel J., 2005).

Το συγκεκριμένο πλοίο μετέφερε 12.900 τόνους πετρελαιοειδών (πετρελαίου μαζούτ, βενζίνη, diesel), και μετά την έκρηξη, άγνωστες ποσότητες πετρελαίου διέρρευσαν στην θαλάσσια περιοχή. Το αξιοσημείωτο είναι ότι, ύστερα από 55 περίπου χρόνια, και συγκεκριμένα τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο του 2001, παρατηρήθηκε μεγάλη διαρροή πετρελαίου στην θαλάσσια περιοχή. Σύμφωνα με πηγές, η ποσότητα του πετρελαίου που είχε παραμείνει στο σκάφος το 2002, υπολογίστηκε ότι κυμαινόταν περίπου από 6.600 έως 9.300 τόνους ειδικού ναυτικού πετρελαίου (Navy Special Fuel Oil), δηλαδή ποσότητα μεγαλύτερη από το μισό της αρχικής.

Τέλος, παρόμοια περίπτωση με αυτή του πετρελαιοφόρου *Mississineva*, αποτελεί αυτή του *Sea Diamond*, με τις σημαντικές διαφορές στον τύπο του πλοίου και στις ποσότητες πετρελαίου που περιείχαν. Παρόλα αυτά, και στην περίπτωση του κρουαζιερόπλοιου, η ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος της Καλντέρας είναι συνεχής και ανεξέλεγκτη μέχρι σήμερα, με ανεξακρίβωτες ποσότητες πετρελαίου να παραμένουν στο εσωτερικό του.

9.2. Το Sea Diamond ως πηγή ρύπανσης στην περιοχή της Καλντέρας

Αναμφισβήτητα, το ναυάγιο του Sea Diamond αποτελεί μία εξαιρετικά σοβαρή πηγή ρύπανσης για θαλάσσιο περιβάλλον της Σαντορίνης, όχι μόνο λόγω των συνεχών διαρροών πετρελαιοειδών, αλλά και εξαιτίας της παρούσας και μελλοντικής απελευθέρωσης άλλου είδους επικίνδυνων ουσιών ως αποτέλεσμα της φυσικής διάβρωσης του σκελετού του πλοίου. Σκοπός του συγκεκριμένου υποκεφαλαίου είναι η εκτίμηση της κατάστασης και συγκεκριμένα ο απλός υπολογισμός των ποσοτήτων πετρελαίου που επρόκειτο να απελευθερωθούν στα επόμενα είκοσι χρόνια (λαμβάνεται ως σημείο αναφοράς), σύμφωνα με τους υπάρχοντες εκτιμώμενους ρυθμούς απελευθέρωσής του. Βέβαια, αξίζει να σημειωθεί ότι είναι εξαιρετικά δύσκολο να εκτιμηθούν με ακρίβεια οι ρυθμοί απελευθέρωσης του πετρελαίου από το ναυάγιο του Sea Diamond που μπορεί να λάβουν χώρα μελλοντικά, καθώς μπορούν να παρουσιάσουν είτε αυξητική είναι μειωτική τάση με το χρόνο.

- Εκτιμημένη εναπομένουσα ποσότητα πετρελαίου στο εσωτερικό του ναυαγίου μέχρι σήμερα (Δεκέμβριος 2010) – Υπολογισμοί Πολυτεχνείου Κρήτης

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4, η αρχική διαρροή πετρελαιοειδών ήταν της τάξης των 150 μετρικών τόνων (MT) ή m^3 περίπου, ενώ όσο αφορά την μοναδική απάντληση που έλαβε χώρα 2 χρόνια αργότερα (**Core Marine Ltd, 2009**), μόνο $1.5 m^3$ πετρέλαιο συλλέχθηκε. Η αρχική ποσότητα πετρελαίου που υπήρχε στο πλοίο σύμφωνα με το Πράσινο Διαβατήριο (**Green Passport**) και την κατάσταση φόρτωσης πριν το ατύχημα (**ANKO, Marine Load Planner**), ήταν περίπου 516 τόνοι (MT) πετρελαίου, συμπεριλαμβάνοντας τις ποσότητες των πετρελαϊκών καταλοίπων (περίπου 10 τόνοι). Εφόσον λοιπόν τα παραπάνω στοιχεία είναι αληθή, προκύπτει μαθηματικά ότι η ποσότητα πετρελαίου που έχει απομείνει στις δεξαμενές του πλοίου από τον Μάιο του 2009 μέχρι σήμερα (Δεκέμβριος 2010) ανέρχεται σε τουλάχιστον 365 τόνους, χωρίς να συμπεριλαμβάνονται σε αυτόν τον αριθμό οι ποσότητες που διέρρεαν καθημερινά από την μέρα της βύθισης του πλοίου μέχρι την απάντληση του Μάιου. Με βάση λοιπόν τις υποτιθέμενες ποσότητες πετρελαίου που απελευθερώνονται καθημερινά στην θαλάσσια στήλη της Καλντέρας (κατά μέσο όρο 25-30 λίτρα την ημέρα), χωρίς ωστόσο αυτές να είναι απολύτως ορθές, προκύπτει με

απλούς υπολογισμούς ότι η μέγιστη εναπομένουσα ποσότητα πετρελαίου στο κουφάρι του πλοίου είναι περίπου ίση με **320-330 τόνους πετρελαίου**, δεδομένου φυσικά ότι υπάρχει ένα σημαντικό ποσοστό σφάλματος, το οποίο οφείλεται σε παράγοντες που αναφέρονται στο κεφάλαιο 4.

- ***Εκτιμημένη ποσότητα πετρελαιοειδών που απελευθερώνεται καθημερινά σύμφωνα με το Πολυτεχνείο Κρήτης και άλλες πηγές (ΕΠΕ, O'Brien)***

Όσο αφορά τους ρυθμούς απελευθέρωσης και τις ποσότητες του πετρελαίου που διαρρέουν, έχουν γίνει εκτιμήσεις και υπολογισμοί (κεφάλαιο 6).

Πιο συγκεκριμένα, η εταιρεία απορρύπανσης (**Τεχνική Προστασίας Περιβάλλοντος (ΕΠΕ) & Michael O'Brien-ITOPF**) που συλλέγει καθημερινά ποσότητες πετρελαιοειδών από την περιοχή και παρακολουθεί το ναυάγιο από την μέρα της βύθισής του μέχρι σήμερα, εκτιμάει ότι η ποσότητα του πετρελαίου που διαρρέει καθημερινά είναι περίπου 25-30 λίτρα. Οι εκτιμήσεις αυτές βασίζονται στο γεγονός ότι η συγκεκριμένη ποσότητα αντιστοιχεί στην ποσότητα πετρελαιοειδών που συλλέγεται από την εν λόγω εταιρεία καθημερινά, δίχως να υπολογίζονται οι ποσότητες που δεν συγκεντρώνονται εντός του φράγματος και διασκορπίζονται στην υπόλοιπη θαλάσσια περιοχή, και συνεπώς δε συλλέγονται.

Από την άλλη πλευρά, το **Πολυτεχνείο Κρήτης** θεώρησε σημαντικό να προβεί σε περαιτέρω εκτιμήσεις όσο αφορά τις ποσότητες πετρελαίου που απελευθερώνονται καθημερινά από το κουφάρι του πλοίου. Έτσι, θεωρείται ότι η ποσότητα πετρελαιοειδών που απελευθερώνεται καθημερινά από τα σημεία διαρροής του πλοίου, είναι τουλάχιστον διπλάσια από αυτήν που συλλέγεται, δηλαδή 60 λίτρα/ημέρα. Η εκτίμηση αυτή ανταποκρίνεται περισσότερο στην πραγματικότητα, καθώς είναι βέβαιο ότι ένα μέρος της ποσότητας που διαρρέει, δεν συλλέγεται είτε λόγω της ρευματικής δραστηριότητας (παρασύρονται από τα υποθαλάσσια ρεύματα της περιοχής), είτε λόγω των ισχυρών ανέμων (σε μερικές περιπτώσεις και κυρίως επιφανειακά), και συνεπώς δεν συμπεριλαμβάνεται στις εκτιμήσεις της εταιρείας.

Οι παραπάνω εκτιμήσεις είναι οι μοναδικές που έχουν γίνει μέχρι σήμερα από ειδικούς, και συνεπώς είναι οι πλέον κατάλληλες για να χρησιμοποιηθούν στην μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των πετρελαιοειδών που απελευθερώνονται συνεχώς από το ναυάγιο.

- *Υπολογισμός - εκτίμηση της συνολικής ποσότητας που αναμένεται να απελευθερωθεί στον περιβάλλοντα χώρο τα επόμενα 20 χρόνια από σήμερα*

Περίπτωση 1^η: Ρυθμός απελευθέρωσης σύμφωνα με τους Ε.Π.Ε, Ο'Brien

Στην πρώτη περίπτωση υπολογισμού της συνολικής ποσότητας που πρόκειται να απελευθερωθεί τα επόμενα είκοσι χρόνια (εφόσον ο συγκεκριμένος ρυθμός παραμείνει σταθερός), χρησιμοποιείται ο εκτιμώμενος από την εταιρεία απορρύπανσης ρυθμός απελευθέρωσης πετρελαιοειδών, δηλαδή τα 30 λίτρα/ημέρα. Έτσι, με βάση τους μαθηματικούς υπολογισμούς προκύπτει ότι για τα επόμενα είκοσι χρόνια θα έχουν απελευθερωθεί συνολικά περίπου 220 τόνοι. Αυτό σημαίνει ότι ακόμα και μετά από τόσα χρόνια θα υπάρχουν ποσότητες πετρελαίου στο κουφάρι του πλοίου, και συγκεκριμένα 330 τόνοι – 220 τόνοι θα απελευθερωθούν = 110 περίπου τόνοι πετρελαίου θα παραμείνουν. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως η συγκεκριμένη περίπτωση προϋποθέτει σταθερή διαρροή και καμμία περαιτέρω επιβάρυνση από την διαχρονική διάβρωση.

Περίπτωση 2^η: Ρυθμός απελευθέρωσης σύμφωνα με το Πολυτεχνείο Κρήτης

Στην δεύτερη περίπτωση τώρα, χρησιμοποιείται ο ρυθμός απελευθέρωσης πετρελαιοειδών σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης, διπλάσιος από αυτόν της εταιρείας απορρύπανσης, δηλαδή 60 λίτρα/ημέρα. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς και εφόσον ο συγκεκριμένος ρυθμός είναι σταθερός για τα επόμενα είκοσι χρόνια, προκύπτει ότι η συνολική εναπομένουσα ποσότητα πετρελαίου στο κουφάρι του πλοίου θα έχει απελευθερωθεί εξ ολοκλήρου στο χρονικό διάστημα των δεκαπέντε χρόνων περίπου από σήμερα. Συνεπώς, στα είκοσι χρόνια από σήμερα δεν θα υπάρχουν ποσότητες πετρελαίου στο εσωτερικό του πλοίου.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω εκτιμήσεις αποτελούν απλούς υπολογισμούς – σενάρια, και σε καμία περίπτωση δεν προδιαγράφουν την μελλοντική κατάσταση στην περιοχή του ναυαγίου. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, είναι εξαιρετικά δύσκολο να εκτιμηθούν με ακρίβεια οι ρυθμοί απελευθέρωσης του πετρελαίου από το ναυάγιο του Sea Diamond που μπορεί να λάβουν χώρα στο μέλλον.

Επίσης, είναι δύσκολο να προβλεφθεί η κατάσταση του ναυαγίου αργότερα, καθώς πάντα εγκυμονεί ο κίνδυνος υλικών ζημιών – ρηγμάτων στο κουφάρι του πλοίου, το ενδεχόμενο σεισμού και μετατόπισής του, ενώ τέλος, τον σημαντικότερο παράγοντα φθοράς του σκελετού αποτελεί η διάβρωση.

9.3. Σενάρια διαχρονικής εξέλιξης της ρύπανσης – Μακροπρόθεσμες περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Η μελέτη της διαχρονικής εξέλιξης της ρύπανσης που προκαλεί το ναυάγιο του Sea Diamond στο θαλάσσιο περιβάλλον της Καλντέρας καθιστά απαραίτητη την δημιουργία πιθανών σεναρίων που μπορεί να λάβουν χώρα στο μέλλον. Με βάση τις συνθήκες που επικρατούν σήμερα στο βάθος των 145 μέτρων, προκύπτουν τα εξής τρία πιθανά σενάρια:

Σενάριο 1: Πιθανότητα σοβαρών υλικών ζημιών-ρηγμάτων στον σκελετό του πλοίου (π.χ κοπεί στη μέση, ενδεχόμενο σεισμού-μετατόπιση κτλ)

Το πρώτο πιθανό σενάριο μελέτης αναφέρεται στο ενδεχόμενο πρόκλησης σοβαρών υλικών ζημιών – ρηγμάτων (λόγω διάβρωσης, πιέσεων κτλ) στο κουφάρι του πλοίου με την πάροδο του χρόνου ή στην περίπτωση ενδεχόμενης σεισμικής δραστηριότητας. Όσο αφορά την δεύτερη περίπτωση, εκτός του ότι το πλοίο πιθανόν να μετατοπιστεί σε μεγαλύτερα βάθη, θα υποστεί συγχρόνως και σοβαρές ζημιές στον σκελετό του. Συνεπώς, και στις δύο αυτές περιπτώσεις το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία νέων πολλαπλών εξόδων απελευθέρωσης επικίνδυνων ουσιών που περιέχονται στο πλοίο, όπως Πετρελαιοειδή και άλλες χημικές ουσίες (Βαρέα Μέταλλα, Αμιάντος, Πολυβυνιλοχλωρίδιο κτλ). Γι αυτό, το συγκεκριμένο σενάριο θεωρείται το χειρίστο σενάριο της διαχρονικής εξέλιξης της ρύπανσης και των μελλοντικών επιπτώσεων του ναυαγίου. Αυτή η άμεση αύξηση απελευθέρωσης πετρελαιοειδών (καύσιμα, λιπαντικά κτλ) θα έχει σαν αποτέλεσμα την άμεση αύξηση του επιπέδου ρύπανσης της περιοχής και συγκεκριμένα:

- ***Ραγδαία αύξηση των επιπέδων των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs) στην θαλάσσια στήλη λόγω της άμεσης απελευθέρωσης πετρελαιοειδών.***
- ***Ραγδαία αύξηση των επιπέδων των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs) στα επιφανειακά ιζήματα της περιοχής λόγω εναπόθεσης ποσοτήτων πετρελαίου.***

- **Πιθανή είσοδος των PAHs στους οργανισμούς και κατ'επέκταση στην τροφική αλυσίδα μέσω του φαινομένου της βιοσυσσωρεύσης, προκαλώντας δερματικές & ηπατικές ασθένειες, διαταραχή ανοσοποιητικού συστήματος των οργανισμών με τελικό αποδέκτη τον ανθρώπινο οργανισμό.**

Τέλος, σε περίπτωση που το ναυάγιο του Sea Diamond μετατοπιστεί λόγω σεισμικής δραστηριότητας σε μεγαλύτερα βάθη (>150 μέτρων), εκτός του ότι θα επηρεάσει νέους οργανισμούς και θα μετατραπεί σε μία ακόμα μεγαλύτερη οικολογική απειλή για το θαλάσσιο οικοσύστημα της Καλντέρας, θα καταστήσει αν όχι ανέφικτη, εξαιρετικά δύσκολη την ανέλκυσή του.

Σενάριο 2: Ενδεχόμενη αύξηση του ρυθμού απελευθέρωσης των επικίνδυνων ουσιών (πετρελαιοειδή) από το ναυάγιο του Sea Diamond

Το δεύτερο πιθανό σενάριο μελέτης κάνει λόγο για ενδεχόμενη σταδιακή αύξηση του ρυθμού απελευθέρωσης των επικίνδυνων ουσιών, και συγκεκριμένα των πετρελαιοειδών, από το ναυάγιο του Sea Diamond. Αυτή η αύξηση μπορεί να προκληθεί από ενδεχόμενες διατρήσεις του κελύφους του σκάφους είτε λόγω διάβρωσης είτε λόγω πιθανών ζημιών.

Συνεπώς, το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου σεναρίου είναι η αύξηση του επιπέδου ρύπανσης της περιοχής του ναυαγίου, και ενδεχομένως της Καλντέρας, και συγκεκριμένα:

- **Θαλάσσια στήλη**
 - ✓ **Άμεση αύξηση των επιπέδων των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs) στην περιοχή του ναυαγίου και ενδεχομένως στην ευρύτερη περιοχή της Καλντέρας, λόγω της αυξανόμενης διαρροής πετρελαίου.**
- **Θαλάσσια επιφανειακά ιζήματα**
 - ✓ **Αύξηση των επιπέδων των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs) στα επιφανειακά ιζήματα της περιοχής λόγω εναπόθεσης ποσοτήτων πετρελαίου → πιθανή είσοδος των PAHs στους οργανισμούς μέσω τροφής.**
- **Θαλάσσιοι οργανισμοί**
 - ✓ **Ενδεχόμενη είσοδος των PAHs στους οργανισμούς και κατ'επέκταση στην τροφική αλυσίδα μέσω του φαινομένου της βιοσυσσωρεύσης, προκαλώντας δερματικές & ηπατικές ασθένειες, διαταραχή ανοσοποιητικού συστήματος των οργανισμών με τελικό αποδέκτη τον ανθρώπινο οργανισμό.**

Σενάριο 3: Συνεχής απελευθέρωση επικίνδυνων ουσιών από το ναυάγιο στο θαλάσσιο περιβάλλον της Καλντέρας (παρούσα κατάσταση)

Το τρίτο και τελευταίο σενάριο της εκτίμησης των μελλοντικών επιπτώσεων από το ναυάγιο του Sea Diamond, αφορά την παρούσα κατάσταση, δηλαδή την συνεχή απελευθέρωση των επικίνδυνων ουσιών (πετρελαιοειδή) από το κουφάρι του πλοίου στο θαλάσσιο περιβάλλον της Καλντέρας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την σταδιακή ρύπανση της γύρω περιοχής (θαλάσσια στήλη – ιζήματα – ακτές → οργανισμούς), δεδομένου ότι το πλοίο Sea Diamond:

1. Βρίσκεται σε πολύ μικρή απόσταση από ακτές και παραλίες
2. Είναι βυθισμένο σε κλειστό κόλπο, όπου επικρατεί πολύ μικρή κυκλοφορία νερού και ρευματική δραστηριότητα

Συγκεκριμένα, θα επακολουθήσει:

- ✓ **Σταδιακή αύξηση** των επιπέδων των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs) στην περιοχή του ναυαγίου και ενδεχομένως στην ευρύτερη περιοχή της Καλντέρας, λόγω των συνεχών διαρροών πετρελαίου, και
- ✓ **Σταδιακή αύξηση** των επιπέδων των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs) στα επιφανειακά ιζήματα της περιοχής λόγω εναπόθεσης ποσοτήτων πετρελαίου, και μακροπρόθεσμα την πιθανή είσοδο των PAHs στους οργανισμούς μέσω τροφής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: Συμπεράσματα - Προτάσεις

Η παρούσα εργασία επικεντρώθηκε σε δύο σημεία:

1. στην όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστική μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των πετρελαιοειδών που απελευθερώνονται καθημερινά από το πλοίο Sea Diamond, και,
2. στους δειγματοληπτικούς ελέγχους στην περιοχή της Καλντέρας με σκοπό την αξιολόγηση του επιπέδου ρύπανσής της ως προς τους σημαντικότερους Πετρελαϊκούς και Οργανικούς ρύπους (TPHs, PAHs), και την επιβεβαίωση της ταυτοποίησης του ναυαγίου ως σημειακή πηγή ρύπανσης στην συγκεκριμένη θαλάσσια περιοχή.

Όσο αφορά την μοντελοποίηση της συμπεριφοράς του ρύπου, το πρόγραμμα DESCAR 3.2 (**Canarina Algorithmos**) χρησιμοποιήθηκε για την όσο το δυνατόν καλύτερη και πιο ρεαλιστική μελέτη της συμπεριφοράς των πετρελαιοειδών που απελευθερώνονται με συνεχείς ρυθμούς από το κουφάρι του Sea Diamond στο θαλάσσιο περιβάλλον της Καλντέρας. Έγινε χρήση δύο σεναρίων τα οποία βασίστηκαν σε κατά προσέγγιση “πραγματικά δεδομένα” και εκτιμήσεις που έχουν γίνει μέχρι σήμερα από τους O’Brien - ITOPE και Πολυτεχνείο Κρήτης, αναφορικά με τους ρυθμούς απελευθέρωσης και τις απελευθερωθείσες ποσότητες πετρελαιοειδών. Τα συγκεκριμένα δεδομένα βασίζονται στους ακόλουθους ρυθμούς απελευθέρωσης:

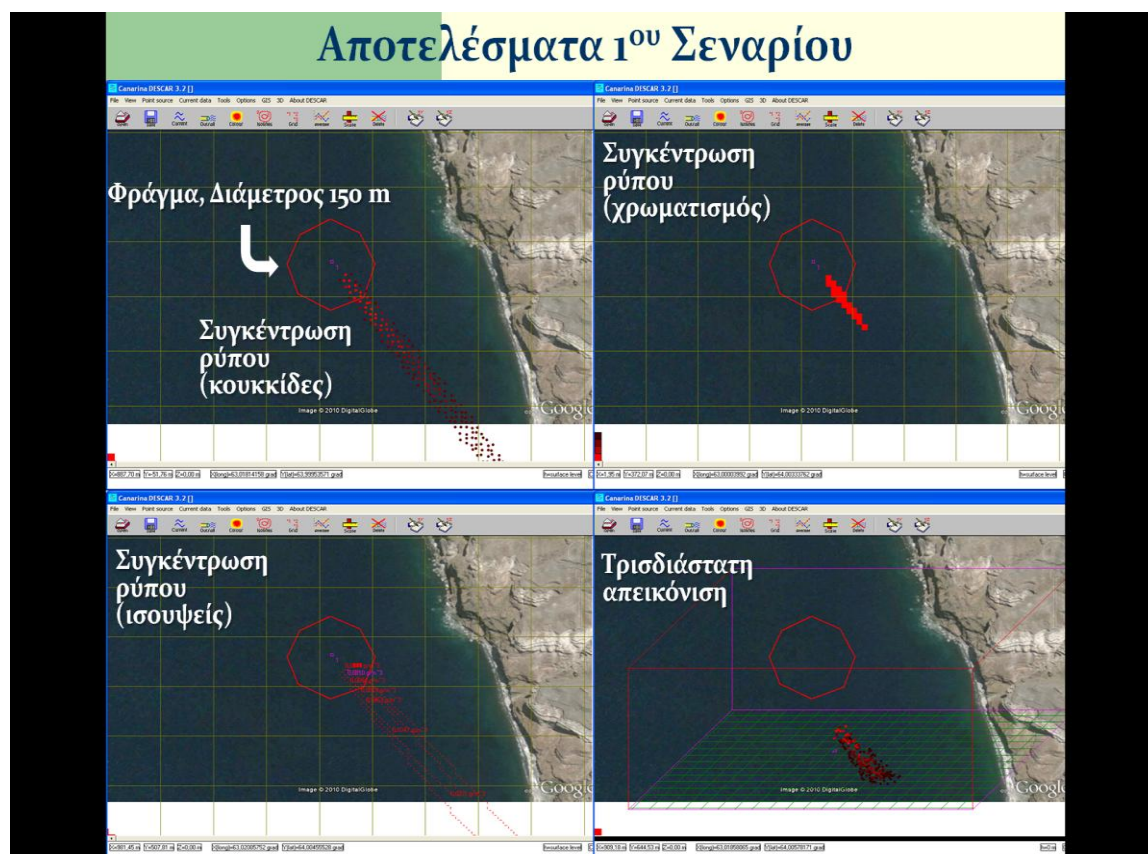
- (30 litres/day – Πηγή: O’Brien & E.P.E) και
- (60 litres/day – Εκτίμηση Πολυτεχνείου Κρήτης).

Οι ρυθμοί αυτοί είναι ιδιαίτερα χαμηλοί, ενώ εκτιμήσεις που έχουν προκύψει από επισκέψεις στον χώρο του ναυαγίου, οδηγούν σε πολύ υψηλότερους ρυθμούς και ανάλογα υψηλές ποσότητες απελευθέρωσης, χωρίς όμως να είναι δυνατή η ποσοτικοποίησή τους.

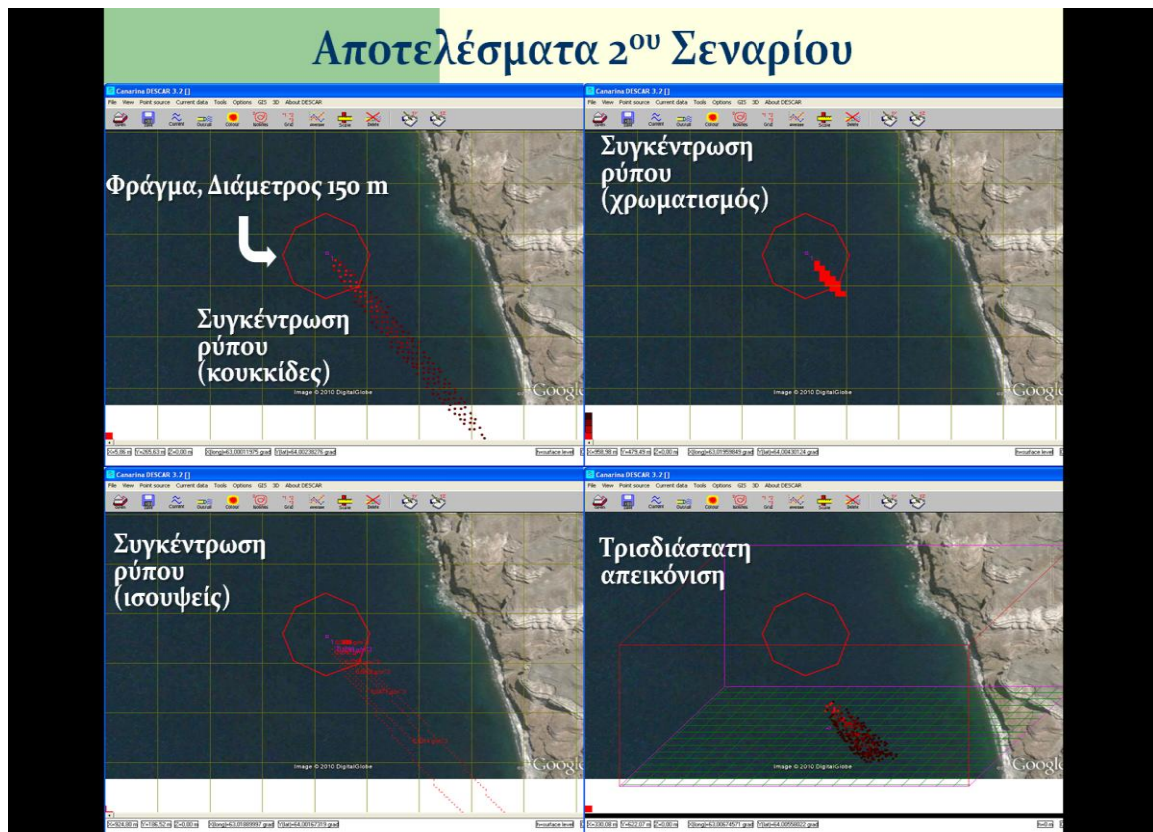
Τέλος, δεδομένου ότι δεν υπάρχει ανάλογη βιβλιογραφία σχετικά με τα υδρολογικά δεδομένα και τις ταχύτητες θαλάσσιων ρευμάτων για την περιοχή της Καλντέρας της Σαντορίνης, επιλέχθηκε για την μοντελοποίηση μία εξαιρετικά χαμηλή τιμή ταχύτητας (1mm/sec) θαλάσσιου ρεύματος. Τα αποτελέσματα του μοντέλου και για τα δύο σεναρία, έδειξαν ότι ακόμα και σε μία τόσο χαμηλή ταχύτητα ρεύματος, οι ποσότητες του πετρελαίου που ανέρχονται καθημερινά από το βάθος των 140 m, δεν συγκεντρώνονται εξ ολοκλήρου στο αντιρρυπαντικό φράγμα,

αλλά ένα σημαντικό μέρος τους διαφεύγει, σύμφωνα με την διεύθυνση του ρεύματος που επικρατεί (Εικόνες 10.1 & 10.2).

Συνεπώς, γίνεται έντονα αντιληπτό ότι σε μεγαλύτερες εντάσεις θαλάσσιων ρευμάτων και σε συνδυασμό με ισχυρούς ανέμους, το αντιρρυπαντικό φράγμα που βρίσκεται στην περιοχή καθίσταται ανεπαρκές και αναποτελεσματικό στην συλλογή και εγκλωβισμό μεγαλύτερων ποσοτήτων ανερχόμενων πετρελαιοειδών.



Εικόνα 10.1. Συνολική παρουσίαση αποτελεσμάτων πρώτου σεναρίου.



Εικόνα 10.2. Συνολική παρουσίαση αποτελεσμάτων πρώτου σεναρίου.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα των πέντε δειγματοληψιών θαλάσσιας στήλης και ιζημάτων που πραγματοποιήθηκαν το χρονικό διάστημα του ενός έτους περίπου (Ιανουάριος – Νοέμβριος 2010), προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

3. Η θαλάσσια στήλη της ευρύτερης περιοχής της Καλντέρας δεν παρουσίασε ιδιαίτερη επιβάρυνση με Πετρελαϊκούς και Οργανικούς ρύπους (TPHs, PAHs), καθ'όλο το διάστημα παρακολούθησης. Αντιθέτως, η θαλάσσια στήλη της περιοχής γύρω από το ναυάγιο, σε διάφορες αποστάσεις και βάθη, παρουσίασε στην τελευταία δειγματοληψία (Νοεμβρίου) υψηλές τιμές συγκεντρώσεων Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs) σε σύγκριση με αντίστοιχες άλλων επιβαρυνμένων περιοχών της Ελλάδας (Σαρωνικός), όπως φαίνεται και στον Πίνακα 10.1. Αυτό δείχνει ότι ποσότητες πετρελαιοειδών που απελευθερώνονται από το κουφάρι του πλοίου, διαφεύγουν του αντιρρυπαντικού φράγματος και διασκορπίζονται στην περιοχή. Είναι σχεδόν βέβαιο ότι οι συγκεκριμένες συγκεντρώσεις που ανιχνεύτηκαν στη θαλάσσια στήλη της περιοχής οφείλονται στο ναυάγιο του Sea Diamond, καθώς αυτό αποτελεί την μοναδική πηγή πετρελαϊκής ρύπανσης στην περιοχή. Αυτό βέβαια επιβεβαιώθηκε και με την χρήση αναλύσεων χημικού αποτυπώματος (fingerprinting).

Πίνακας 10.1. Συγκεντρώσεις Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs) στην θαλάσσια στήλη της Καλντέρας και άλλων περιοχών.

Περιοχή	Συγκεντρώσεις PAHs (μg/l)
Καλντέρα, Σαντορίνη (Πολυτεχνείο Κρήτης, 2010)	<0.01-0.850
Σαρωνικός κόλπος (Valavanidis A., et. al., 2008)	0.425-0.459
Ευβοϊκός κόλπος (Triantafyllaki et. al., 2005)	0.142
Μαλλιακός κόλπος (Triantafyllaki et. al., 2005)	0.052
Βόρειο Αιγαίο (Hatzianestis I. & Sklivagou E., 2002)	0.0016-0.033
Βόρεια Θάλασσα (Law et. al., 1997)	0-0.015
Αλεξάνδρεια, Αίγυπτος (Kamal M.Z., et. al., 2005)	0.112

4. Τα θαλάσσια επιφανειακά ιζήματα του βυθού της περιοχής ανατολικά του ναυαγίου δεν παρουσίασαν σημαντική επιβάρυνση με Πετρελαϊκούς και Οργανικούς ρύπους (TPHs, PAHs), σύμφωνα με τα αποτελέσματα των δύο τελευταίων δειγματοληπτικών ελέγχων που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή (Αύγουστος – Νοέμβριος).

Εξαίρεση αποτελεί μία μόνο τιμή συγκέντρωσης Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs) που μετρήθηκε σε ένα ίζημα της περιοχής κατά την δειγματοληψία του Νοεμβρίου.

Η συγκεκριμένη συγκέντρωση θεωρείται μέτρια σε σύγκριση με αντίστοιχες συγκεντρώσεις άλλων περιοχών της χώρας (Σαρωνικός, λιμάνι Μυτιλήνης). Δεν μπορεί όμως να αξιολογηθεί περαιτέρω, καθώς ανιχνεύτηκε σε ένα μόνο ίζημα της περιοχής.

5. Εκτός από την θαλάσσια στήλη και τα επιφανειακά ιζήματα, αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν και σε συλλεγμένα, τόσο από τα εσωτερικά, όσο και από τα εξωτερικά τοιχώματα του αντιρρυπαντικού φράγματος πισσώδη δείγματα. Οι τιμές των συγκεντρώσεων των Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων (TPHs, PAHs) που μετρήθηκαν, ήταν εξαιρετικά υψηλές όπως ήταν αναμενόμενο (στερεοποιημένο πετρέλαιο). Αυτό αποδεικνύει ότι ποσότητες πετρελαιοειδών ανέρχονται στην επιφάνεια πάνω από το ναυάγιο με συνεχείς ρυθμούς, ακόμα και σήμερα, τέσσερα σχεδόν χρόνια από τη βύθιση του πλοίου.

Προτάσεις

Το ναυάγιο του Sea Diamond αποτελεί μία σημαντική περιβαλλοντική απειλή για το θαλάσσιο περιβάλλον της Καλντέρας της Σαντορίνης. Τα αποτελέσματα των δειγματοληπτικών ελέγχων που πραγματοποιήθηκαν στην θαλάσσια στήλη και στα ιζήματα της περιοχής, καθώς και οι παρατηρήσεις από το πεδίο όλο αυτό το διάστημα του ενός έτους (κηλίδες - γυαλάδες πετρελαίου, έντονη ρύπανση νοτιοανατολικά κτλ), οδηγούν στην άμεση λήψη μέτρων με σκοπό την συνεχή παρακολούθηση του επιπέδου ρύπανσης της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα:

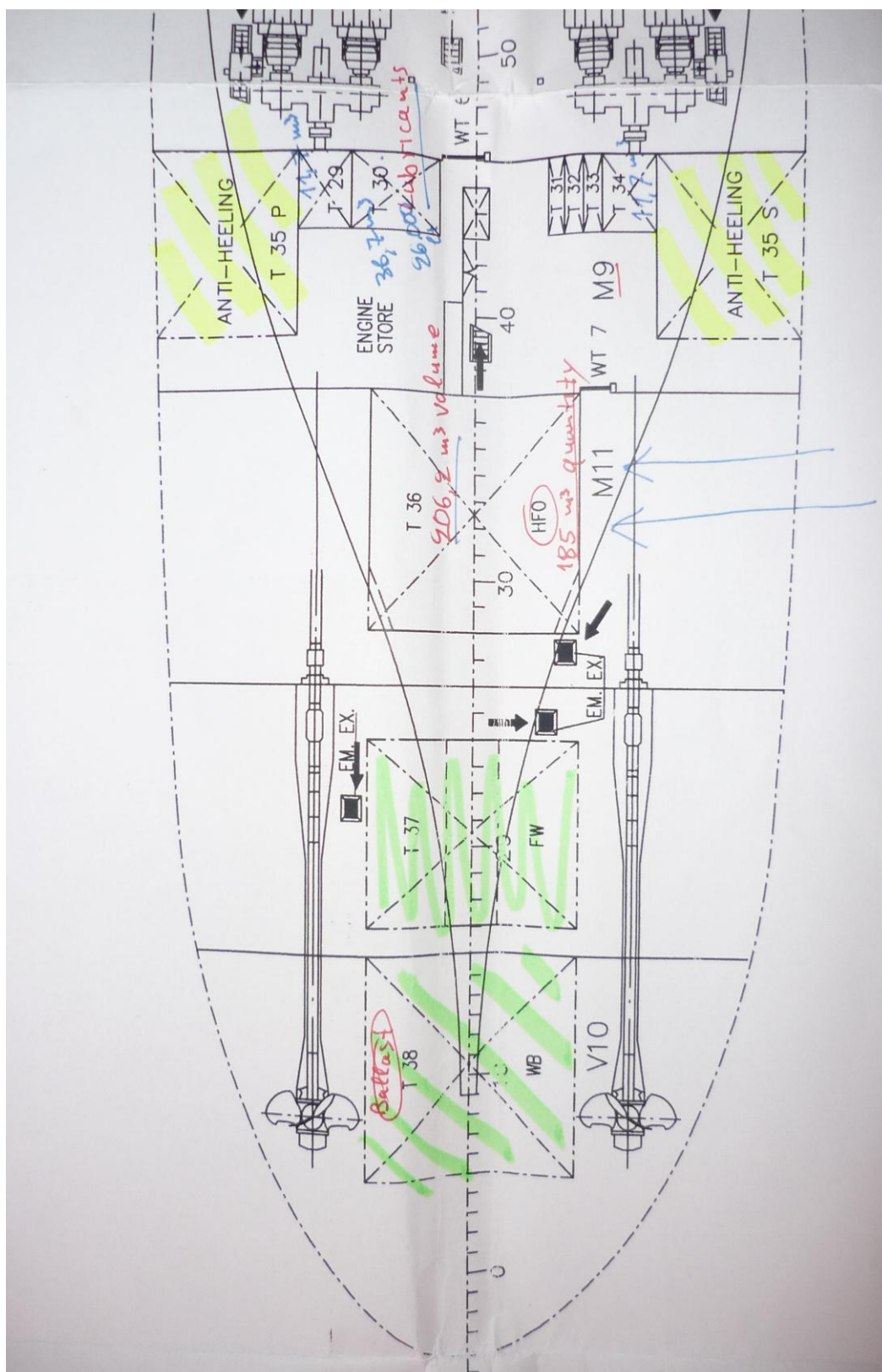
1. Άκρως απαραίτητη θεωρείται η συνέχιση δειγματοληψιών και αναλύσεων θαλασσινού νερού και επιφανειακών ιζημάτων σε τακτά χρονικά διαστήματα. Οι αναλύσεις δεν πρέπει να περιορίζονται μόνο στους Πετρελαϊκούς και Οργανικούς ρύπους (TPHs, PAHs), αλλά και σε άλλες σημαντικές ρυπογόνες ουσίες, όπως τα Βαρέα Μέταλλα.
2. Συχνή συλλογή οστρακοειδών και αλιεία ψαριών με σκοπό την μελέτη βιοσυσσώρευσης Βαρέων Μετάλλων στους ιστούς των συγκεκριμένων οργανισμών. Όπως είναι γνωστό, οποιαδήποτε μεταλλική συσκευή που υπάρχει στο νερό, έχει αρχίσει να διαβρώνεται και με το χρόνο γίνεται εντονότερη. Έτσι και στην περίπτωση του Sea Diamond, η διάβρωση του μεταλλικού σκελετού και του πλούσιου μηχανολογικού, ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού του πλοίου θα γίνει εντονότερη με το χρόνο, απελευθερώνοντας σημαντικές ποσότητες Βαρέων Μετάλλων και όχι μόνο στο θαλάσσιο περιβάλλον της περιοχής. Συνεπώς, κρίνεται εξαιρετικά σημαντική, τόσο η μελέτη βιοσυσσώρευσης Βαρέων Μετάλλων σε οργανισμούς, όσο και η ανάλυση θαλασσινού νερού ως προς Βαρέα Μέταλλα.
3. Αναγκαία επίσης κρίνεται η μεγέθυνση του αντιρρυπαντικού φράγματος έτσι ώστε να συλλέγονται όσο το δυνατόν μεγαλύτερες ποσότητες ανερχόμενων από το ναυάγιο πετρελαιοειδών. Αξίζει να σημειωθεί η διαφορά που υπήρχε στο μέγεθος - διάμετρο του αντιρρυπαντικού φράγματος το έτος 2007 όπου βυθίστηκε το πλοίο Sea Diamond, και σήμερα. Αυτή η διαφορά είναι οφθαλμοφανής στις παρακάτω Εικόνες 10.3 και 10.4. Στην πρώτη απεικονίζεται το αντιρρυπαντικό φράγμα το έτος 2007, λίγους μήνες μετά το ατύχημα, ενώ στην δεύτερη απεικονίζεται το αντιρρυπαντικό φράγμα σήμερα.



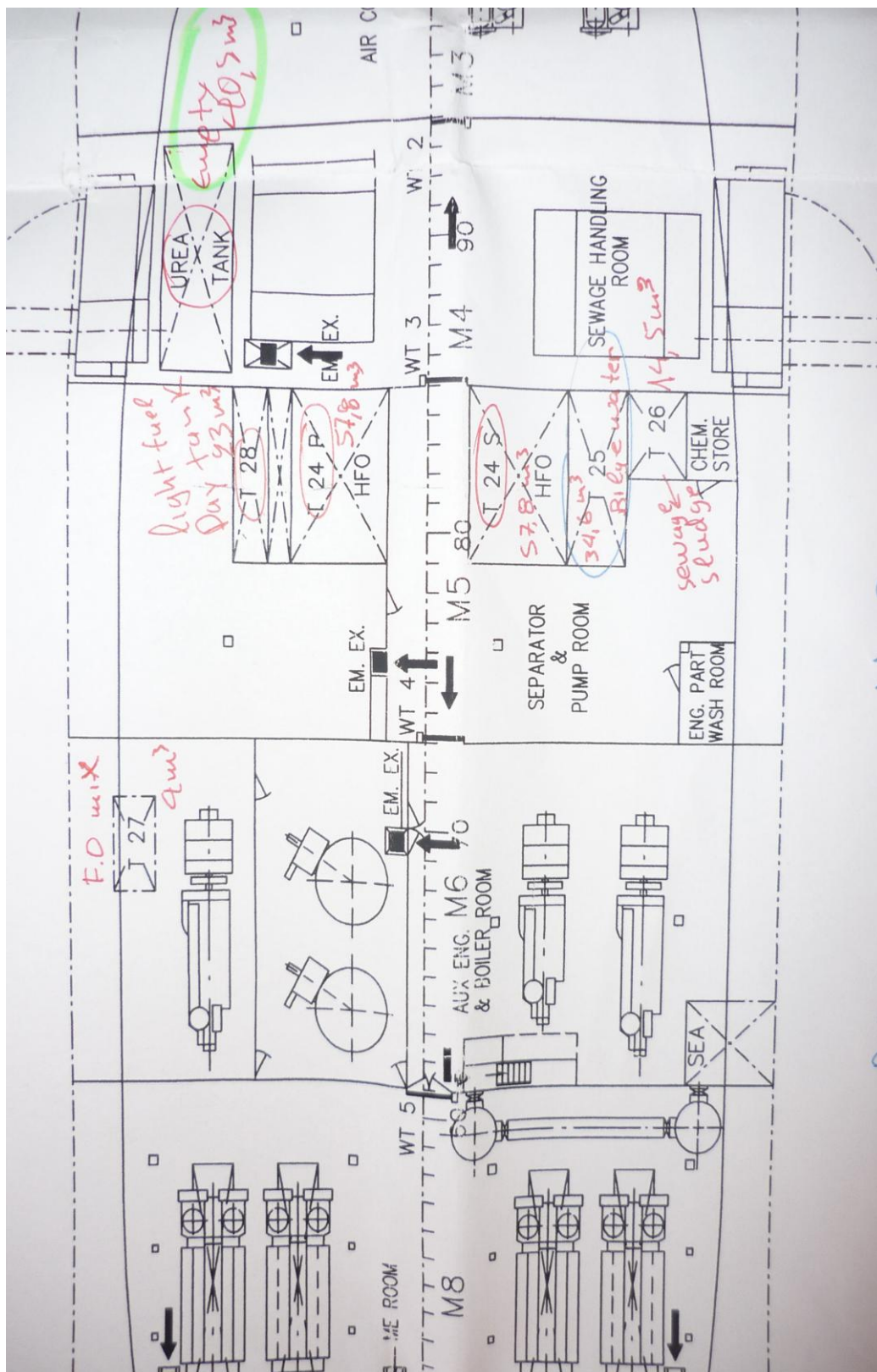
Εικόνα 10.3. Το αντιρρυπαντικό φράγμα πάνω από το Sea Diamond το 2007.



Εικόνα 10.4. Το αντιρρυπαντικό φράγμα πάνω από το Sea Diamond το 2010.



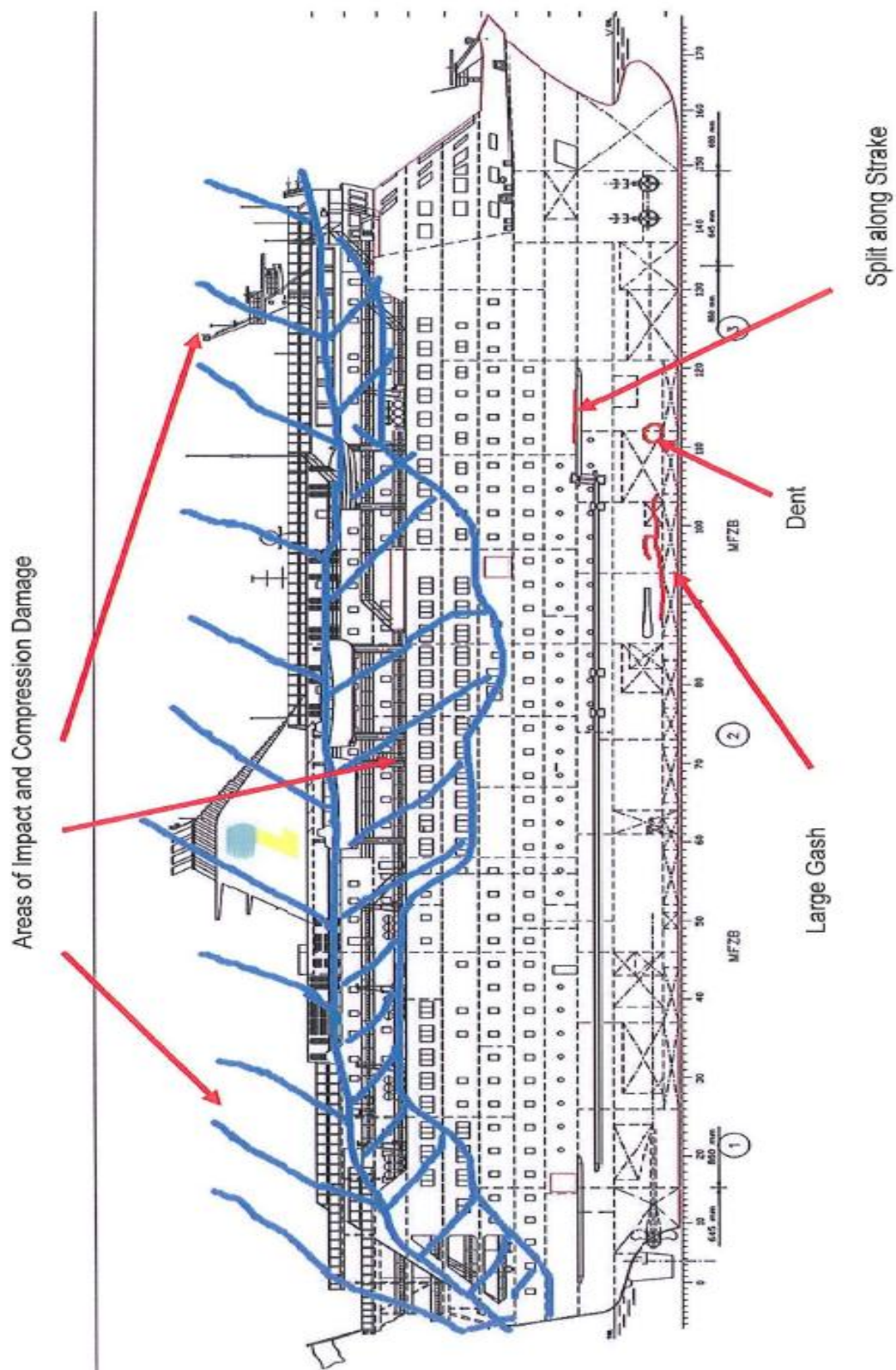
Εικόνα 2. Δεξαμενές T 36 αποθήκευσης πετρελαίου θαλάσσης του πλοίου Sea Diamond σύμφωνα με τα κατασκευαστικά σχέδια (κάτοψη).



Εικόνα 3. Δεξαμενές T 24, T 28 αποθήκευσης πετρελαίου θαλάσσης του πλοίου Sea Diamond σύμφωνα με τα κατασκευαστικά σχέδια (κάτοψη).



Εικόνα 4. Σημεία στα οποία έχει υποστεί ζημιές, ρήγματα και «βαθουλώματα» το πλοίο Sea Diamond (αριστερή πλευρά)
(Dronik Maritime Consultants Ltd, 2009).

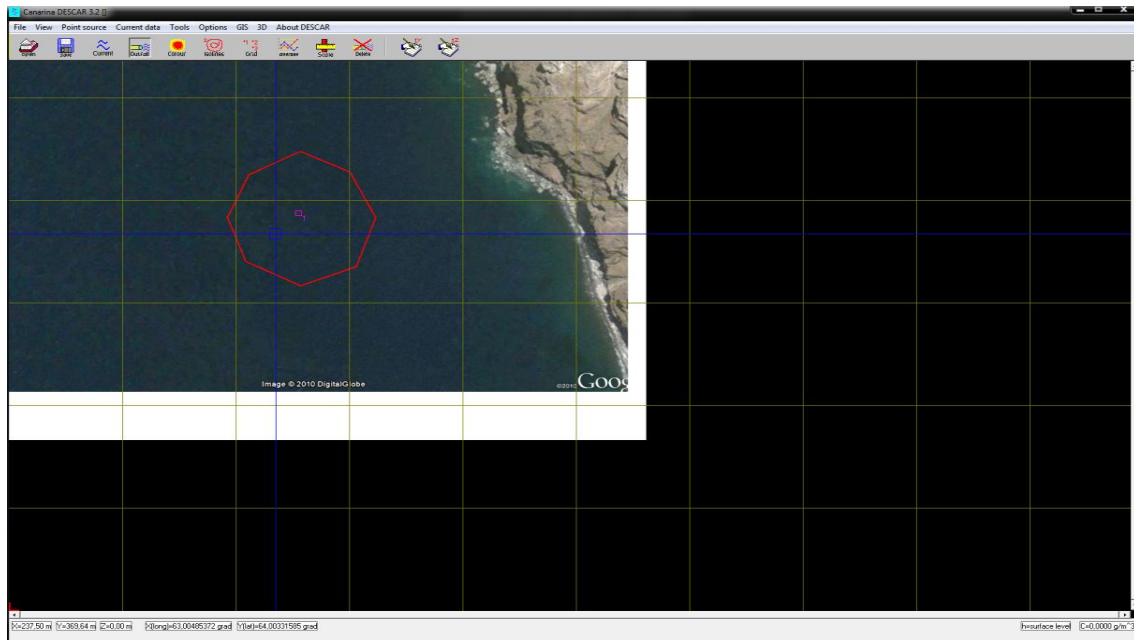


Εικόνα 5. Σημεία στα οποία έχει υποστεί ζημιές, ρήγματα και «βαθουλώματα» το πλοίο Sea Diamond (δεξιά πλευρά)
(Dronik Maritime Consultants Ltd, 2009).

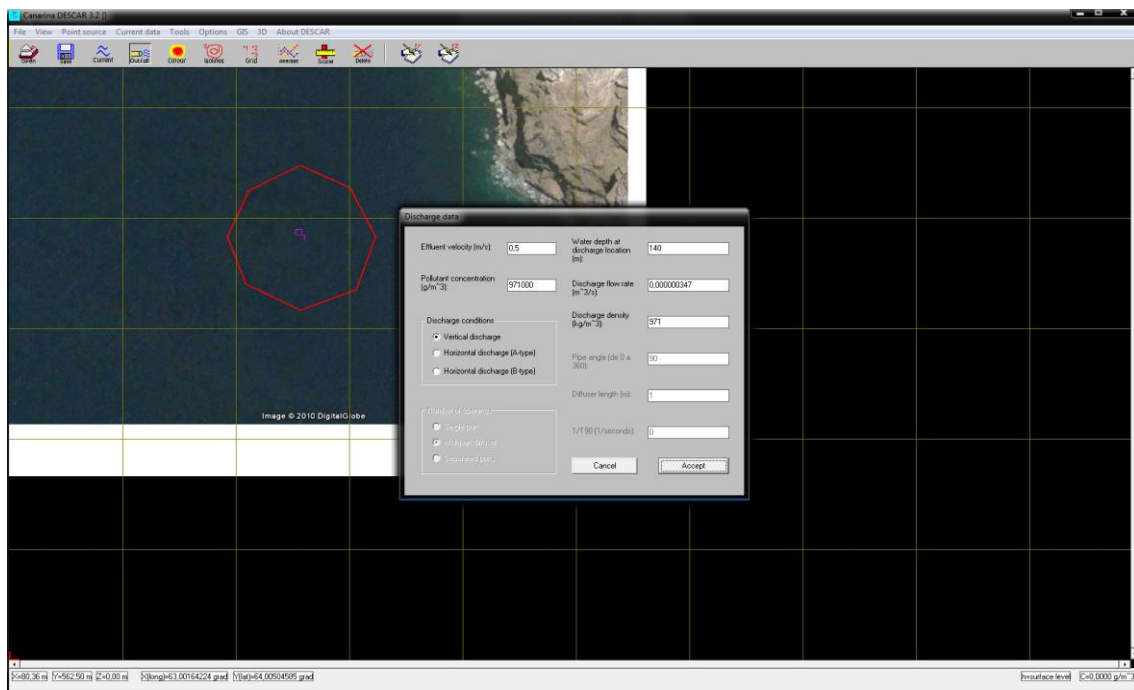
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

Μοντελοποίηση – Χρήση λογισμικού μοντέλου DESCAR 3.2

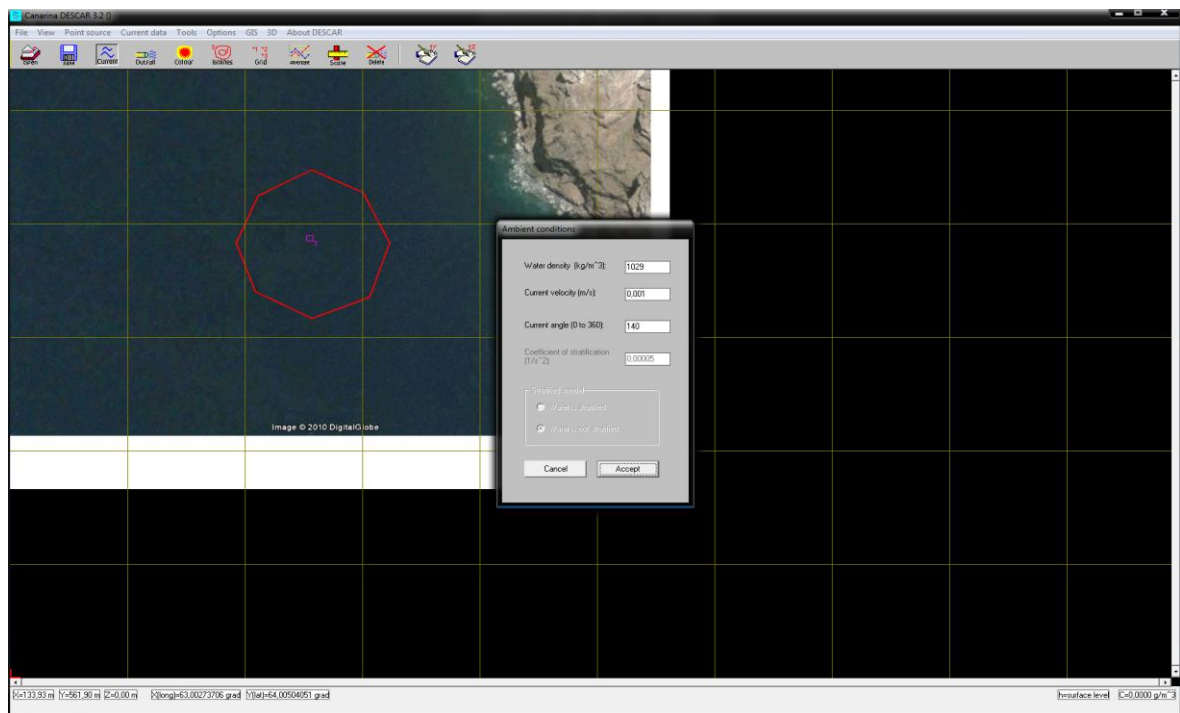
Σενάριο 1



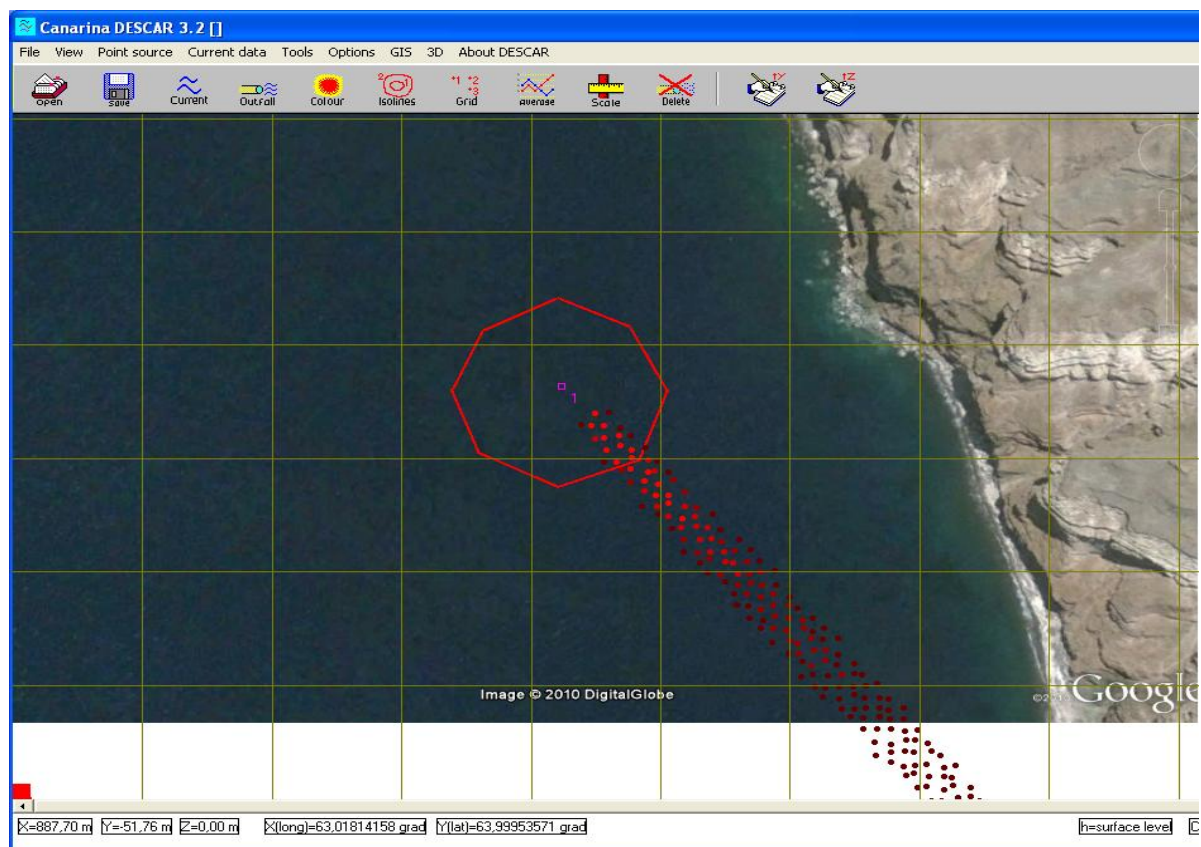
Εικόνα 6. Εισαγωγή χάρτη της περιοχής του ναυαγίου στο πρόγραμμα DESCAR 3.2.



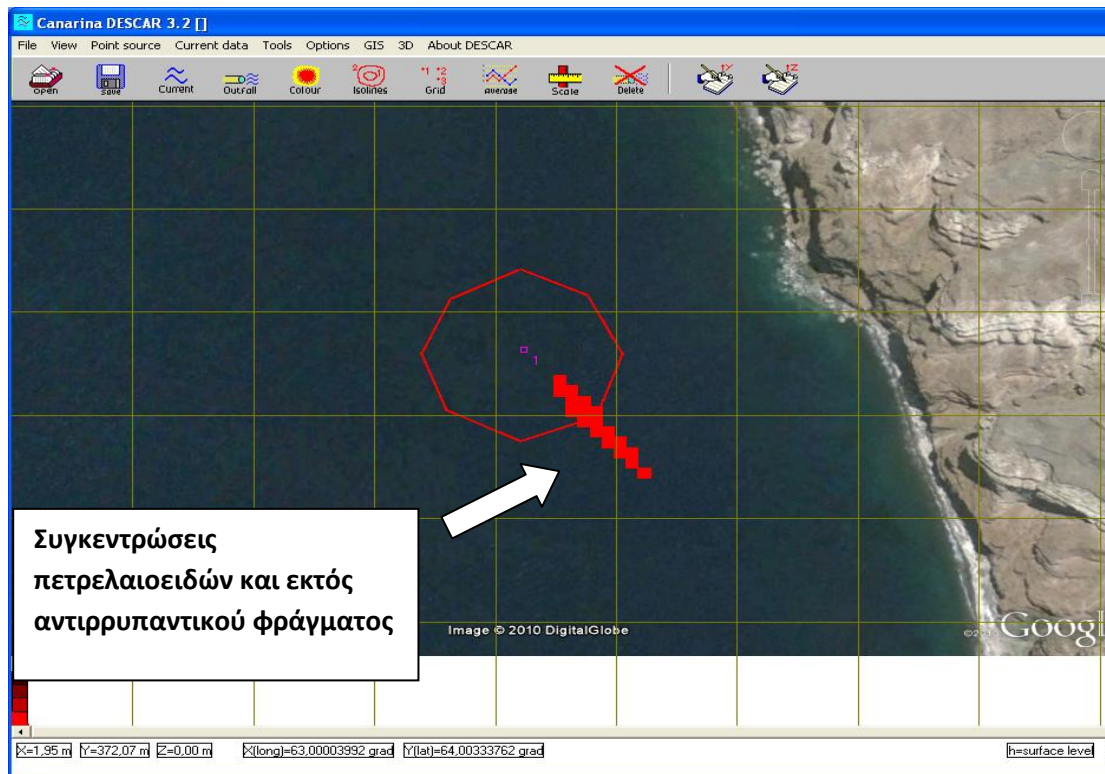
Εικόνα 7. Προσδιορισμός σημείου απελευθέρωσης και εισαγωγή δεδομένων ρύπου.



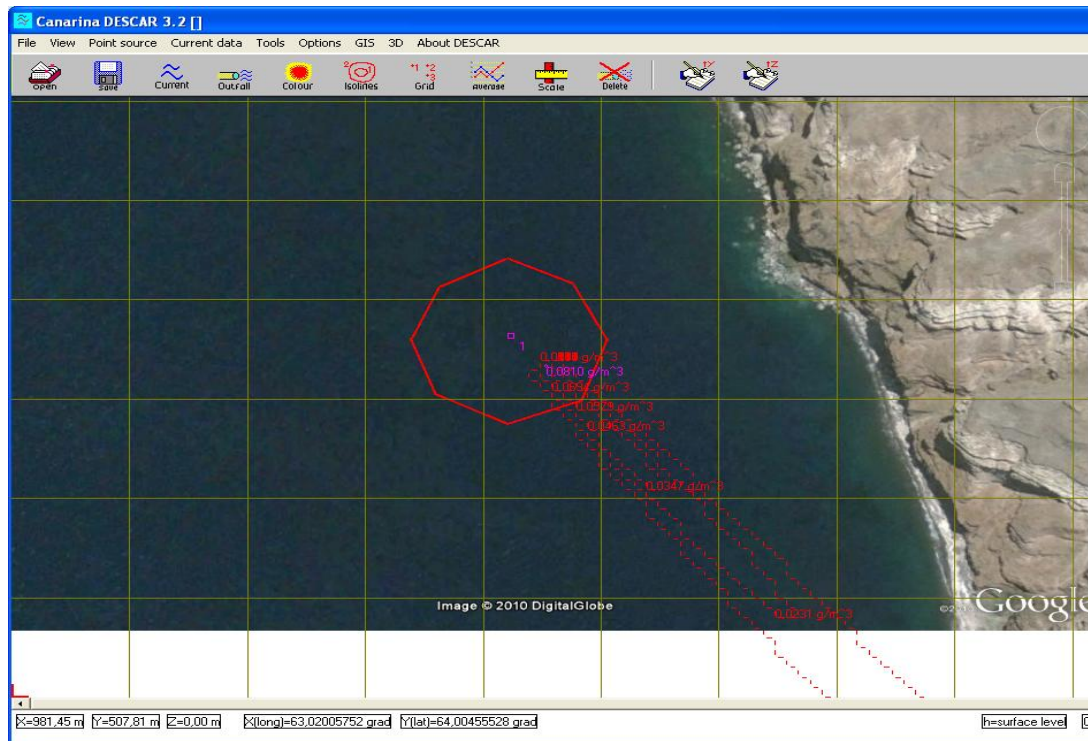
Εικόνα 8. Εισαγωγή υδρολογικών δεδομένων.



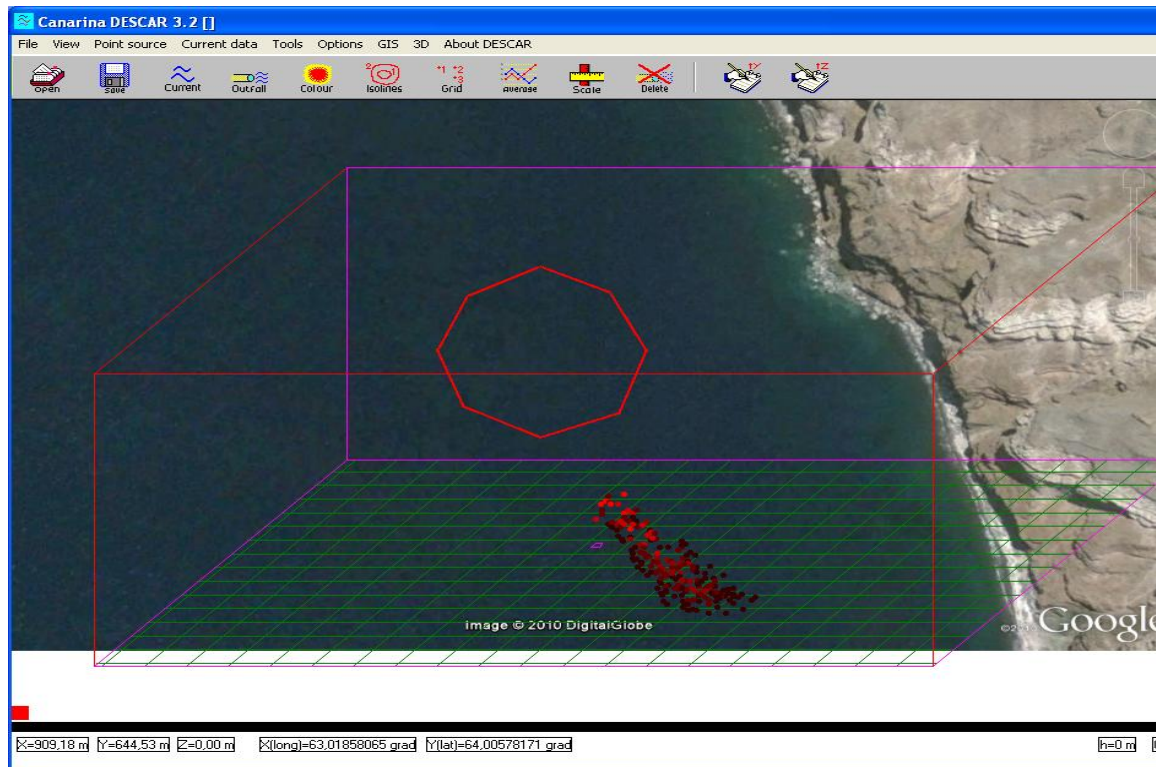
Εικόνα 9. Υπολογισμός συγκεντρώσεων πετρελαιοειδών στην επιφάνεια της θάλασσας με κουκκίδες, με κατεύθυνση νοτιοανατολική (140°).



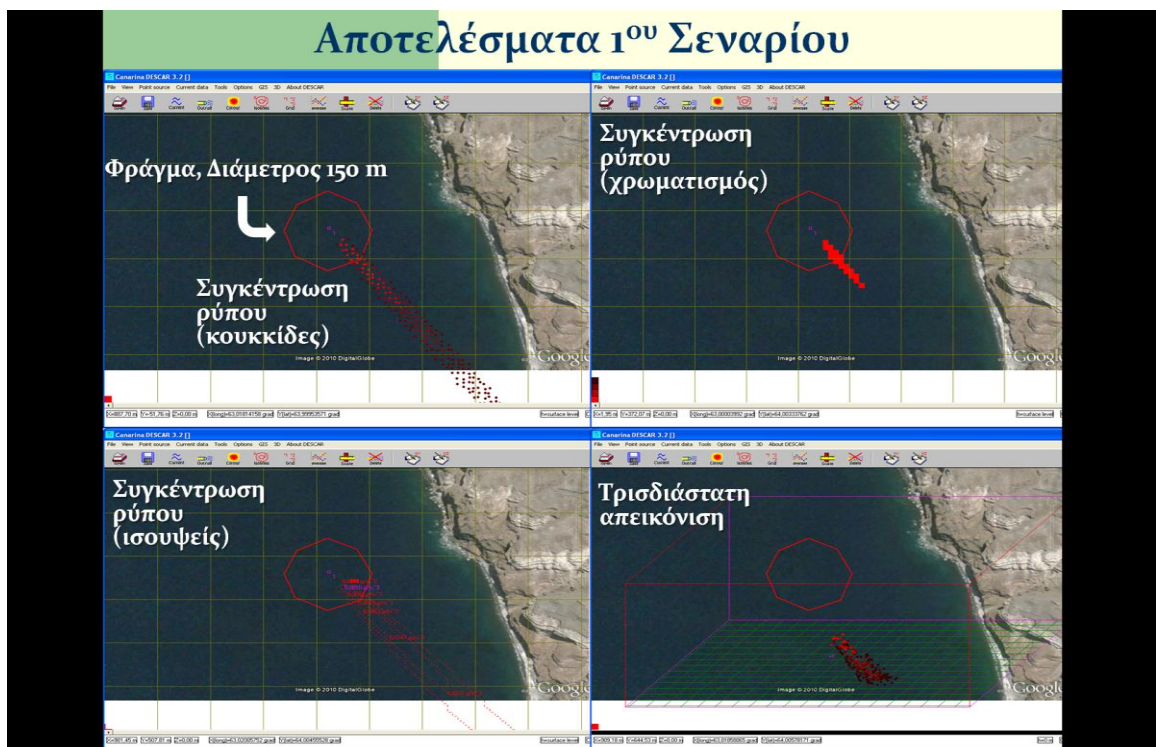
Εικόνα 10. Υπολογισμός συγκεντρώσεων πετρελαιοειδών στην επιφάνεια της θάλασσας με χρωματισμό, με κατεύθυνση νοτιοανατολική (140°).



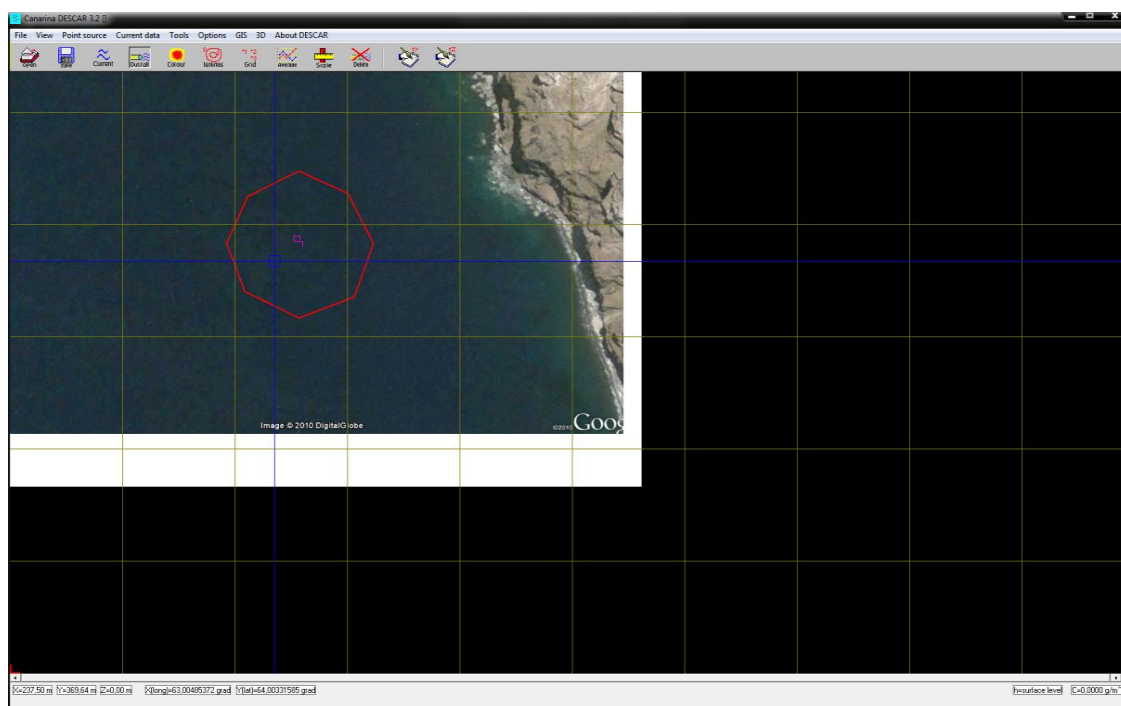
Εικόνα 11. Υπολογισμός συγκεντρώσεων πετρελαιοειδών στην επιφάνεια της θάλασσας με ισοϋψείς συγκεντρώσεων, με κατεύθυνση νοτιοανατολική (140°).



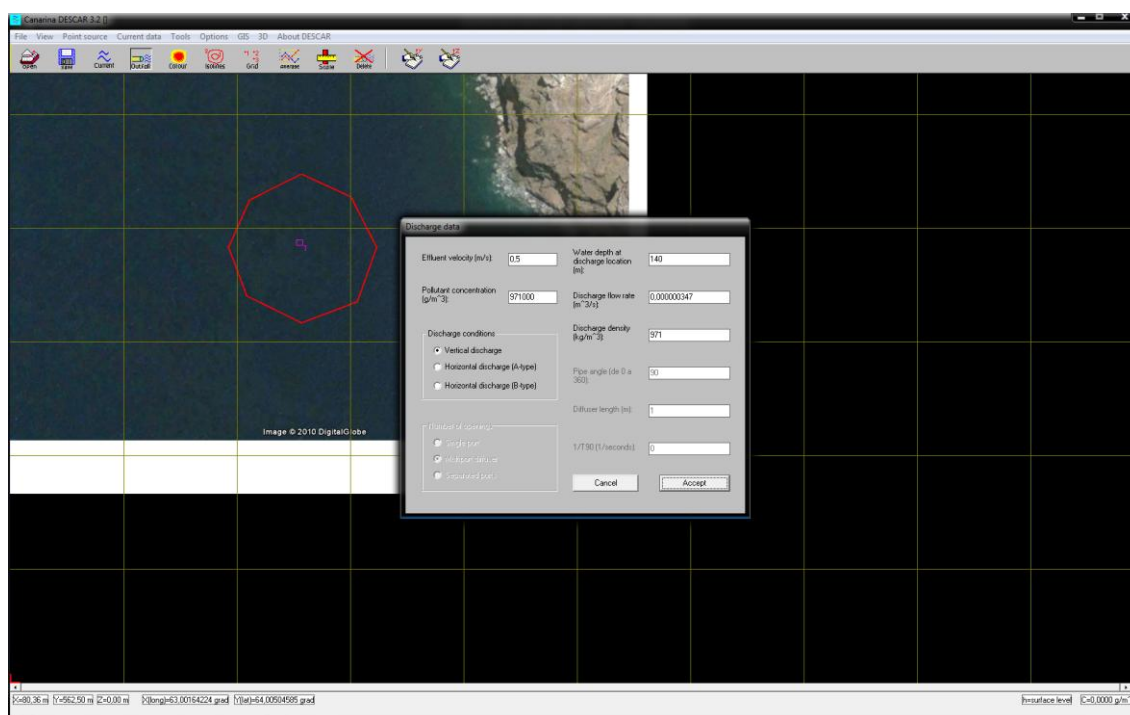
Εικόνα 12. Τρισδιάστατη απεικόνιση συμπεριφοράς πετρελαιοειδών με κατεύθυνση νοτιοανατολική (140°).



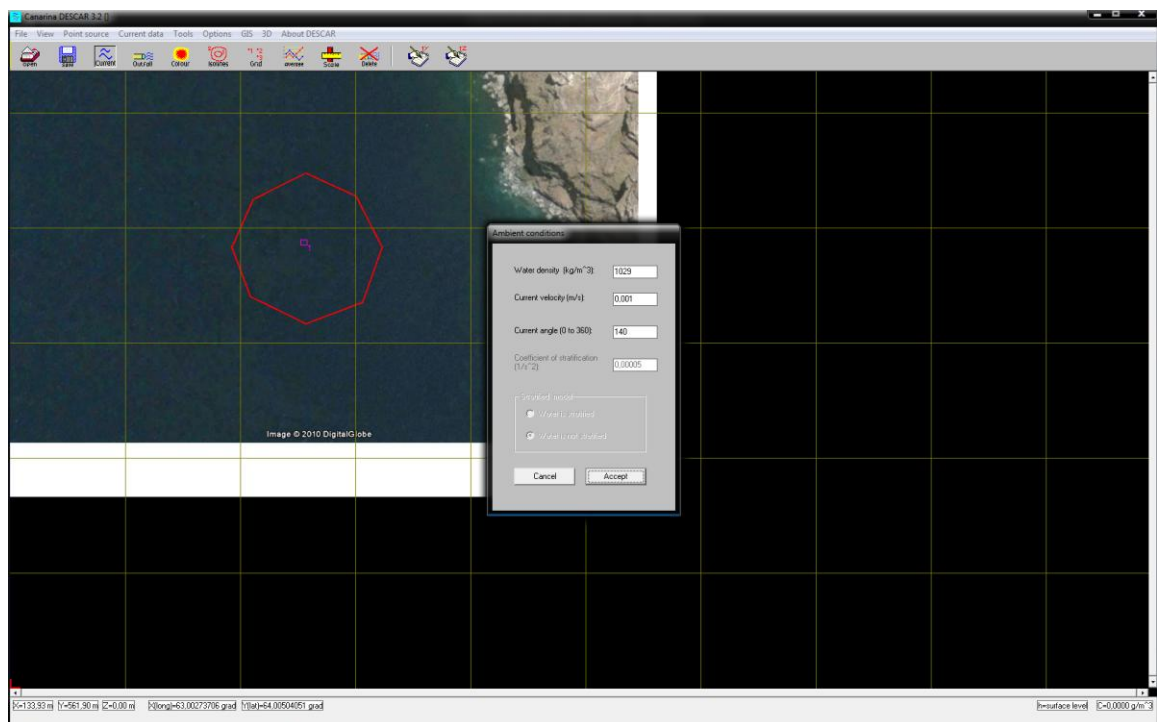
Εικόνα 13. Συνολική παρουσίαση αποτελεσμάτων πρώτου σεναρίου.

Σενάριο 2

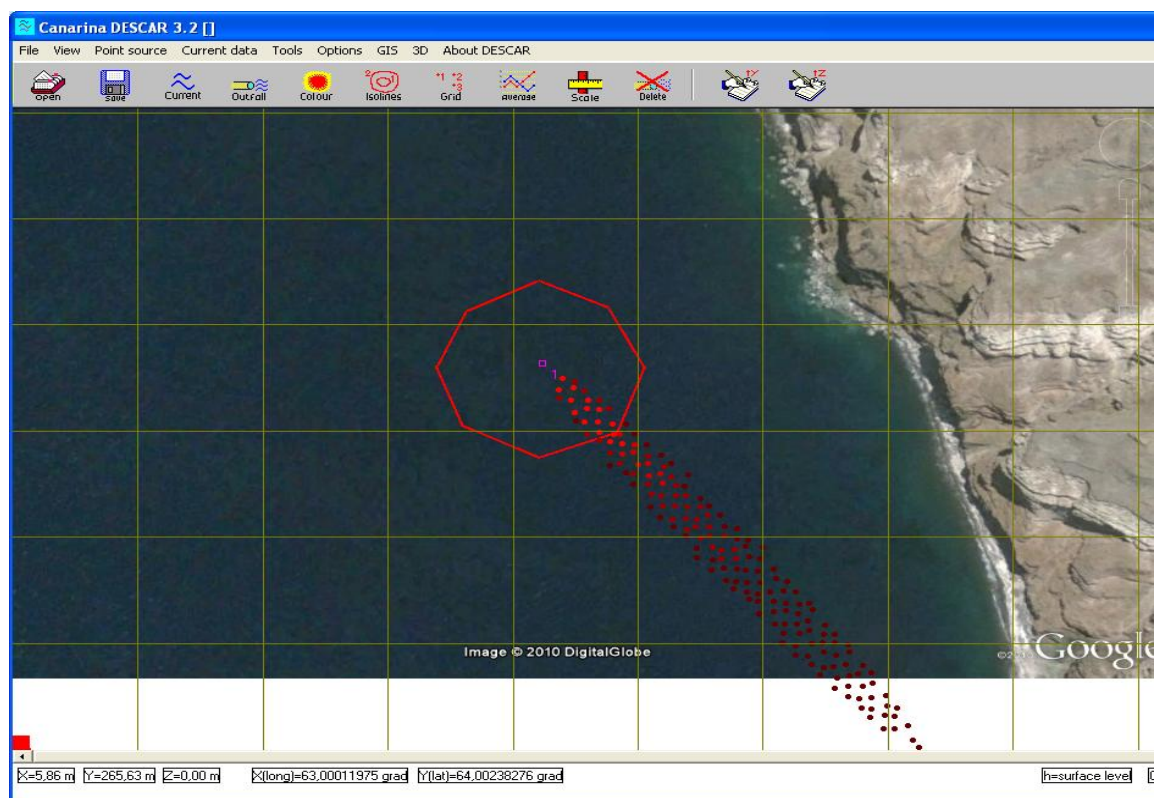
Εικόνα 14. Εισαγωγή χάρτη της περιοχής του ναυαγίου στο πρόγραμμα DESCAR 3.2.



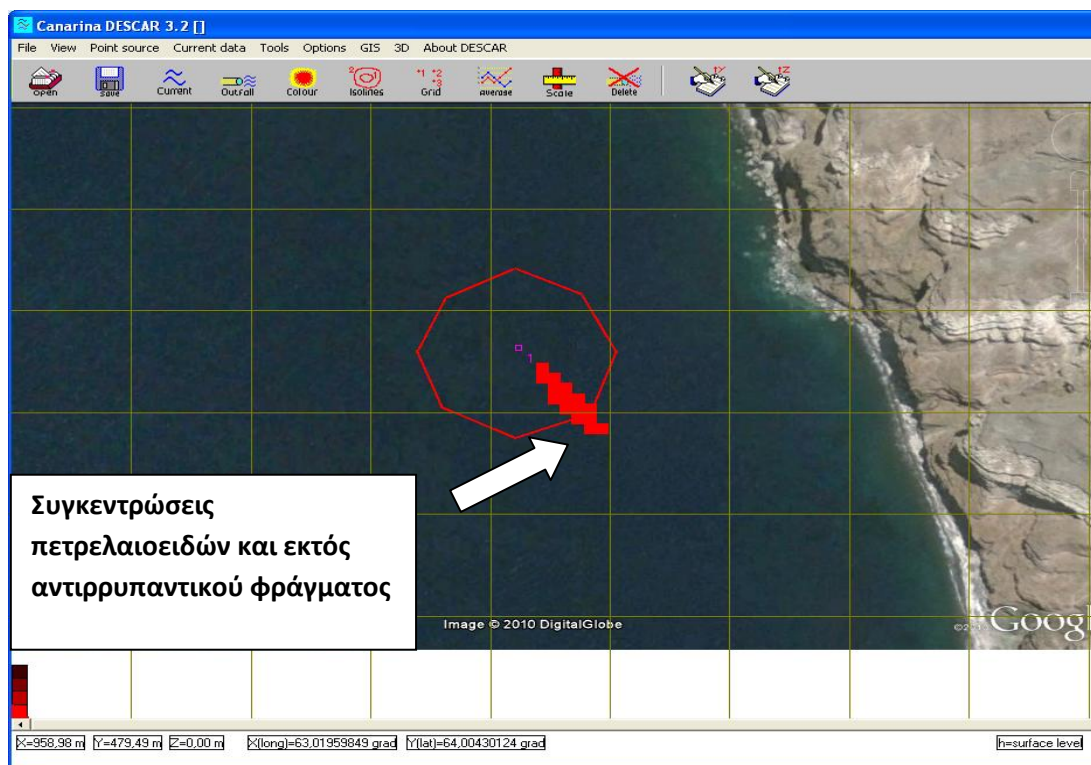
Εικόνα 15. Προσδιορισμός σημείου απελευθέρωσης και εισαγωγή δεδομένων ρύπου.



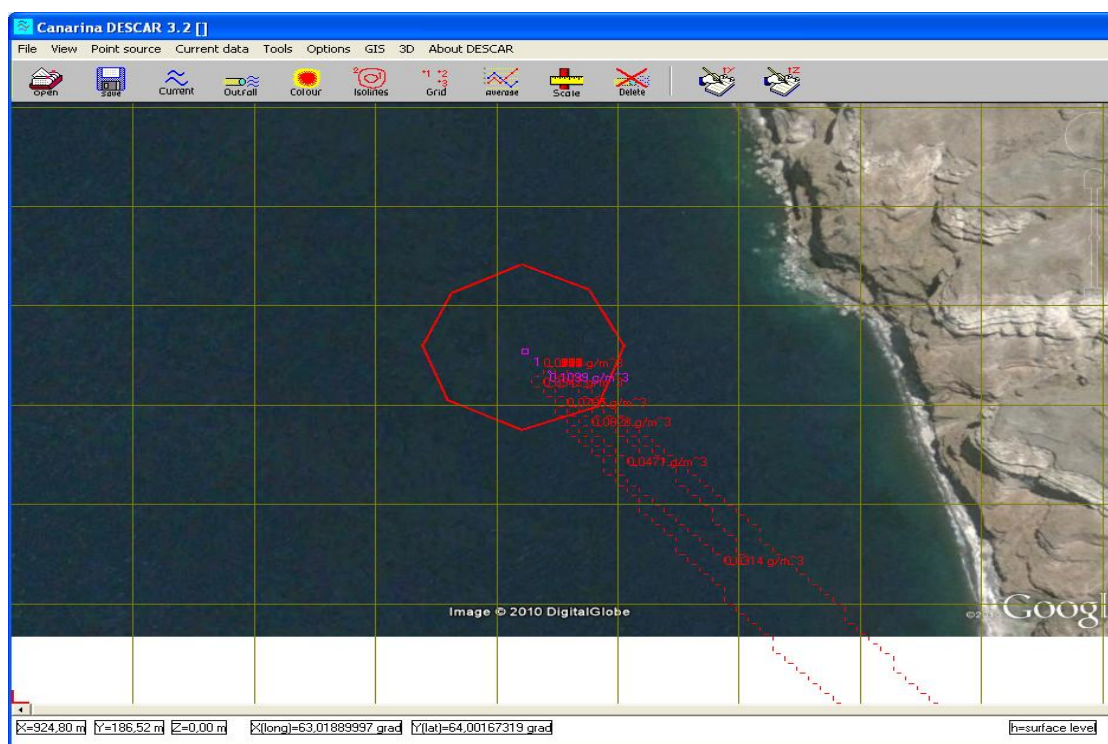
Εικόνα 16. Εισαγωγή υδρολογικών δεδομένων.



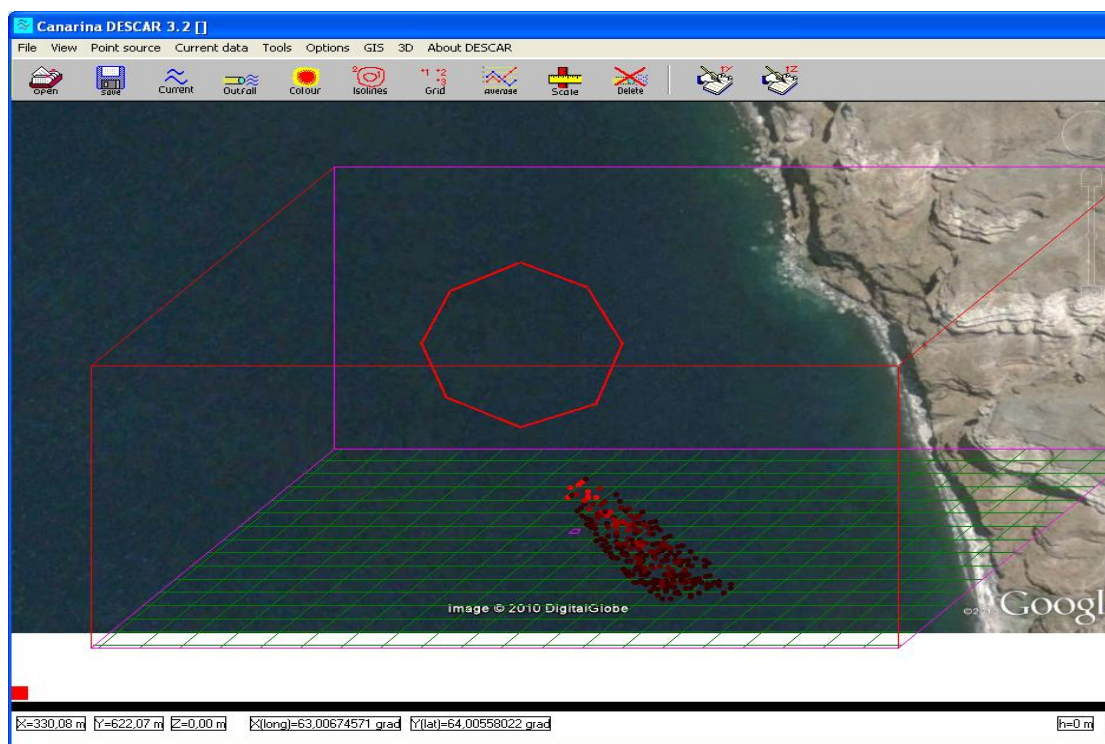
Εικόνα 17. Υπολογισμός συγκεντρώσεων πετρελαιοειδών στην επιφάνεια της θάλασσας με κουκκίδες, με κατεύθυνση νοτιοανατολική (140°).



Εικόνα 18. Υπολογισμός συγκεντρώσεων πετρελαιοειδών στην επιφάνεια της θάλασσας με χρωματισμό, με κατεύθυνση νοτιοανατολική (140°).



Εικόνα 19. Υπολογισμός συγκεντρώσεων πετρελαιοειδών στην επιφάνεια της θάλασσας με ισοϋψείς συγκεντρώσεων, με κατεύθυνση νοτιοανατολική (140°).



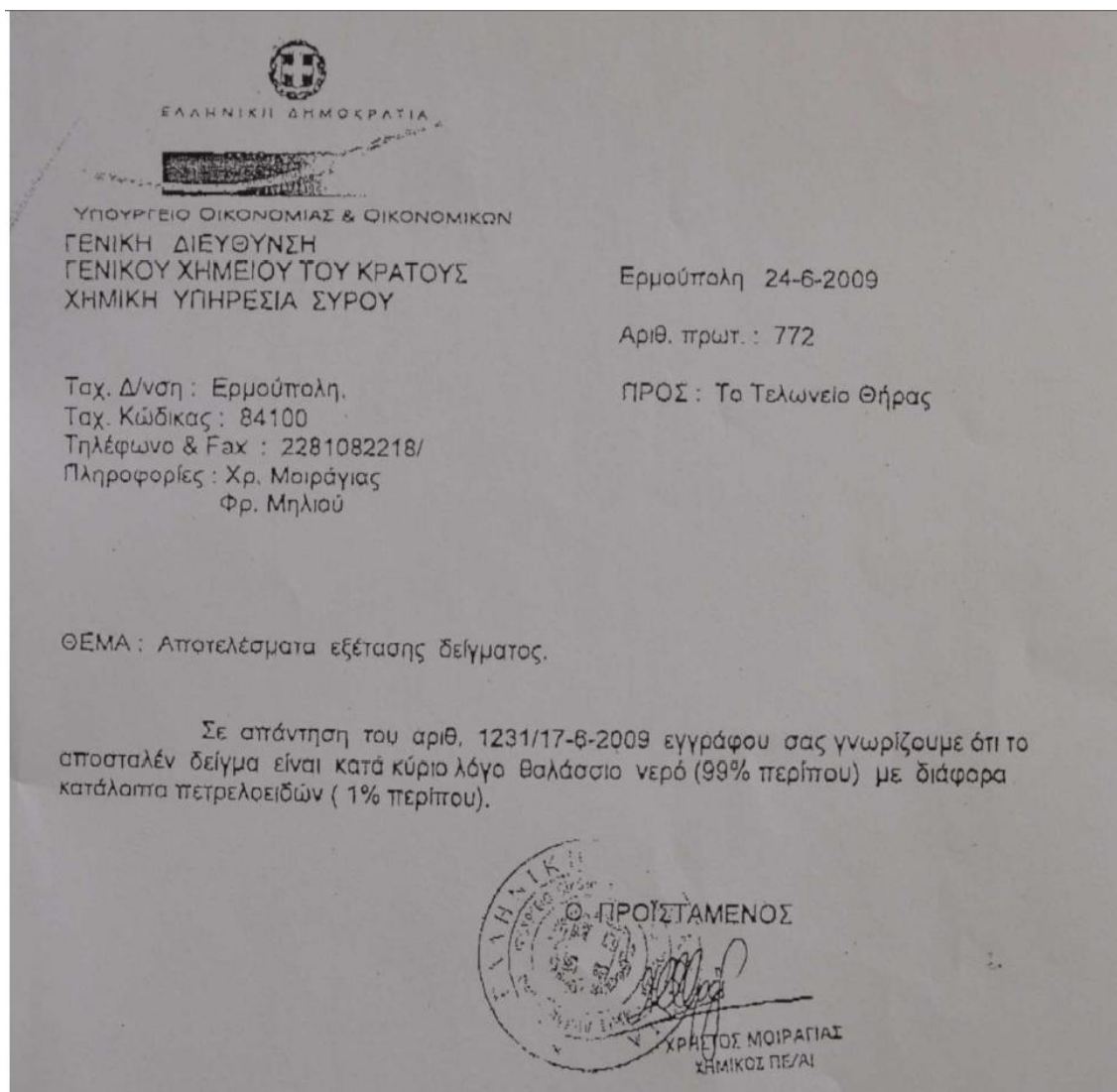
Εικόνα 20. Τρισδιάστατη απεικόνιση συμπεριφοράς πετρελαιοειδών με κατεύθυνση νοτιοανατολική (140°).



Εικόνα 21. Συνολική παρουσίαση αποτελεσμάτων δεύτερου σεναρίου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Αναλύσεις δειγμάτων απάντλησης καυσίμων (Μάιος 2009)



Εικόνα 22. Αποτελέσματα εξέτασης δείγματος της απάντλησης των πετρελαιοειδών τον Μάιο του 2009 από το ναυάγιο του Sea Diamond.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Άλλες περιπτώσεις πετρελαϊκής ρύπανσης

Π.4.1. Πετρελαιοκηλίδα «Prestige»

Η πετρελαιοκηλίδα του πετρελαιοφόρου πλοίου «Prestige» δημιουργήθηκε ύστερα από την βύθιση του το έτος 2002, στις ακτές της Γαλικίας, στην βόρεια Ισπανία. Η συγκεκριμένη πετρελαιοκηλίδα ρύπανε χιλιάδες χιλιόμετρα ακτογραμμής και περισσότερες από 1,000 παραλίες της Ισπανικής και Γαλλικής ακτής, προκαλώντας τεράστια ζημιά στην τοπική βιομηχανία αλιείας. Επίσης, αποτελεί την μεγαλύτερη οικολογική καταστροφή στην ιστορία της Ισπανίας (**Wikipedia**).

Στις 13 Νοεμβρίου του 2002, καθώς το πλοίο «Prestige» μετέφερε περίπου 77,033 τόνους δύο διαφορετικών τύπων πετρελαίου μαζούτ (heavy fuel oil), μία από τις δώδεκα δεξαμενές του εξερράγη κατά την διάρκεια καταιγίδας στα ανοικτά της Γαλικίας, στην βορειοδυτική Ισπανία. Οι πιθανότητες βύθισης του πλοίου άρχισαν να αυξάνονται, με τις κυβερνήσεις της Γαλλίας, Ισπανίας και Πορτογαλίας να αρνούνται κατηγορηματικά την μεταφορά του πλοίου στα λιμάνια τους. Η φθορά του πλοίου άρχισε να επιδεινώνεται γρήγορα λόγω καταιγίδας, με αναφορές να κάνουν λόγο για την διάτρηση ενός μέρους του πλοίου μήκους 40 ποδιών, το οποίο προκάλεσε απελευθέρωση σημαντικής ποσότητας πετρελαίου (**Wikipedia**).

Στις 19 Νοεμβρίου και ώρα 8:00 το απόγευμα, το πλοίο κόπηκε στα δύο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 23. Βυθίστηκε αμέσως, απελευθερώνοντας πάνω από 20 εκατομμύρια γαλόνια πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον της περιοχής. Το πετρελαιοφόρο πλοίο αναφέρεται ότι βρισκόταν σε απόσταση περίπου 250 χιλιομέτρων από την Ισπανική ακτή. Λίγο πριν τη βύθιση του πλοίου, μία πετρελαιοκηλίδα είχε ήδη φτάσει κοντά στην παραλία.



Εικόνα 23. Το πετρελαιοφόρο «Prestige» καθώς βυθίζεται ανοικτά της Ισπανίας
(www.mostinterestingfacts.com)

Ύστερα από τη βύθιση, η διαρροή μεγάλων ποσοτήτων πετρελαίου ήταν συνεχής. Ο ρυθμός απελευθέρωσης πετρελαίου ήταν περίπου ίσος με 125 τόνους την ημέρα, οι οποίοι μόλυναν το βυθό και τις ακτογραμμές των γύρω περιοχών, ιδιαίτερα κατά μήκος της Γαλικίας. Η πλήττουσα έκταση δεν αποτελεί μόνο σημαντική οικολογική περιοχή η οποία περιλαμβάνει κοραλλιογενείς υφάλους και πολλά είδη καρχαριών και πουλιών, αλλά συμβάλλει σημαντικά στην αλιεία της χώρας. Η τεράστια ρύπανση που προκλήθηκε, εξανάγκασε την κυβέρνηση της χώρας να αναστείλει την αλιεία τουλάχιστον για έξι μήνες.

Διαδικασίες καθαρισμού

Μερικούς μήνες μετά το ατύχημα του Prestige, χιλιάδες εθελοντές συνέβαλλαν στον καθαρισμό των μολυσμένων ακτών, όπως φαίνεται στην Εικόνα 24. Ο μαζικός αυτός καθαρισμός, ήταν επιτυχής, καθώς πολλά σημεία της ακτογραμμής επανήλθαν στην αρχική φυσική τους κατάσταση και εξουδετερώθηκαν από τα συσσωρευμένα πετρελαιοειδή.



Εικόνα 24. Διαδικασίες καθαρισμού στις ακτές της Γαλικίας
(thefullwiki.org & www.foei.org)

Παρόλα αυτά, πέντε χρόνια μετά τις διαδικασίες καθαρισμού, μία μελέτη έδειξε ότι οι συμμετέχοντες στον καθαρισμό οι οποίοι ήταν κυρίως εθελοντές, υπέφεραν από προβλήματα υγείας, όπως ασθένειες των πνευμόνων, καρδιαγγειακές και χρωμοσωμικές ασθένειες (**Nortecastilla, 2007**). Η μελέτη αυτή διεξήχθη ανάμεσα σε 800 άτομα από το προσωπικό του Ισπανικού Ναυτικού.

Ποσότητες πετρελαίου

Σύμφωνα με την κυβέρνηση της χώρας, η ποσότητα που χάθηκε ανερχόταν σε 17,000 τόνους πετρελαίου, ενώ οι υπόλοιποι 60,000 περίπου, πιθανόν να «πάγωσαν» λόγω μεγάλου βάθους (4,000 μέτρα) και χαμηλής θερμοκρασίας, παραμένοντας στις δεξαμενές του πλοίου. Το 2003, ανακοινώθηκε από την κυβέρνηση ότι το μισό της συνολικής ποσότητας πετρελαίου είχε χαθεί. Αργότερα, αυτός ο ισχυρισμός άλλαξε, και σύμφωνα με κάποιες πηγές η ποσότητα που είχε χαθεί ανερχόταν σε 63,000 τόνους (**Encyclopedia of Earth**).

Το έτος 2004, πραγματοποιήθηκε απάντληση των υπόλοιπων 13,000 τόνων πετρελαίου που είχε παραμείνει στις δεξαμενές του Prestige, με την βοήθεια σωλήνων αλουμινίου και τηλεχειριζόμενων οχημάτων (ROVs). Τελικά, συνολικά 20 εκατομμύρια γαλόνια πετρελαίου είχαν διαρρεύσει, ενώ σήμερα υποστηρίζεται ότι περισσότερο από 80% του συνολικού φορτίου (77,000 τόνοι πετρελαίου) είχε απελευθερωθεί στις βορειοδυτικές ακτές της Ισπανίας.

Ο τύπος του πετρελαίου του Prestige ήταν ο M-100 type heavy fuel oil, με πυκνότητα 993 kg/m^3 και κινηματικό ιξώδες ίσο με 100 cSt (15 °C). Ο συγκεκριμένος τύπος πετρελαίου περιείχε 22% αλειφατικούς υδρογονάνθρακες (aliphatic hydrocarbons), 50% πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAHs), και 28% ρητίνες και ασφαλτένια (resins & asphaltenes) (**Albaiges et. al., 2003**). Επίσης, ο τύπος αυτός επιδεικνύει χαμηλά ποσοστά εξάτμισης και διασποράς στην θάλασσα, ενώ τείνει να παρουσιάζει υψηλούς ιξώδους γαλακτώματα.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Όσο αφορά τις επιπτώσεις του ατυχήματος του Prestige, η περιβαλλοντική καταστροφή που έπληξε την Γαλικία θεωρείται η σοβαρότερη που έχει συμβεί στην χώρα της Ισπανίας. Στις Εικόνες 25 και 26 διακρίνεται η σοβαρή μόλυνση που δημιουργήθηκε στην περιοχή, πλήττοντας οργανισμούς όπως πουλιά και ψάρια.

Οι επιστήμονες προέβλεψαν ότι η θαλάσσια ζωή στην περιοχή της Γαλικίας πιθανόν να υποφέρει τα επόμενα δέκα χρόνια τουλάχιστον, εξαιτίας του τύπου πετρελαίου (heavy fuel oil, υψηλή περιεκτικότητα σε PAHs) που είχε διαρρεύσει. Αυτές οι τοξικές χημικές ενώσεις θα μπορούσαν να δηλητηριάσουν το πλαγκτόν, τα ψάρια και τα όστρακα, οδηγώντας σε καρκινογενείς επιδράσεις στα ψάρια και άλλους οργανισμούς της τροφικής αλυσίδας.



Εικόνες 25 & 26. Μολυσμένα πουλιά στις ακτές της Γαλικίας
(www.greenpeace.org).

Τον Μάρτιο του 2006, νέες μικρές πετρελαιοκηλίδες έκαναν την εμφάνισή τους στην θαλάσσια περιοχή κοντά στο ναυάγιο του Prestige. Το γεγονός αυτό, οδήγησε τους ερευνητές να διαπιστώσουν τον ακριβή τύπο του πετρελαίου που μετέφερε το πλοίο. Τον Δεκέμβριο του 2006, μία μελέτη έδειχνε ότι στο πλοίο παρέμεναν 16,000 έως 23,000 τόνοι πετρελαίου, και όχι 700 έως 1,300 όπως υποστήριζε η Ισπανική κυβέρνηση (**De Pablos J.L., 2006**). Επίσης, η συγκεκριμένη μελέτη υποστήριζε ότι η βιοαποικοδόμηση του εναπομείναντος πετρελαίου είχε αποτύχει, ενώ ότι η διάβρωση του σκελετού του πλοίου από βακτήρια θα προκαλούσε σύντομα μία ταχεία απελευθέρωση του υπόλοιπου πετρελαίου με καταστροφικές συνέπειες.

Σε μία πρόσφατη μελέτη, Ισπανοί επιστήμονες διεξήγαγαν βιοχημικά τεστ σε αποικίες γλάρων οι οποίοι είχαν αναπαραχθεί στις ακτές της Γαλικίας την χρονιά του ατυχήματος του Prestige (**Alonso-Alvarez C. et al., 2007**). Επιπροσθέτως, μέτρησαν συγκεντρώσεις των 16 σημαντικότερων PAHs στους ιστούς των πουλιών που είχαν πληγεί από την καταστροφή, και σε αυτών που δεν είχαν επηρεαστεί. Η δειγματοληψία έγινε 17 μήνες μετά το ατύχημα της πετρελαιοκηλίδας. Τα κύρια αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι:

- Τα δείγματα γλάρων που συλλέχθηκαν από τις πληγέντες αποικίες έδειξαν πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις PAHs από τους αντίστοιχους που ζούσαν σε καθαρές περιοχές. Τα επίπεδα των PAHs ήταν παρόμοια μεταξύ νέων και ενήλικων πουλιών.
- Τα βιοχημικά τεστ που έλαβαν χώρα στις εκτεθειμένες στο πετρέλαιο αποικίες έδειξαν βλάβες ζωτικών οργάνων (ήπαρ και νεφρά) ενήλικων πουλιών.

Αντιθέτως, η βλάβη σε νέους γλάρους ήταν πολύ μικρότερη. Οι σοβαρότερες συνέπειες φαίνεται να εμφανίζονται στους ενήλικους γλάρους εξαιτίας του γεγονότος ότι εκτέθηκαν για μήνες στην πετρελαιοκηλίδα.

- Οι υψηλές συγκεντρώσεις PAHs στους νέους γλάρους, παρόλο που δεν είχαν εκτεθεί στο πετρέλαιο, υποδεικνύουν ότι οι οργανικοί ρύποι του πετρελαίου (PAHs) έχουν ενσωματωθεί στην τροφική αλυσίδα.

Τα παραπάνω αποτελέσματα της έρευνας αποδεικνύουν μία καθυστερημένη μη θανατηφόρα επίπτωση στα θαλασσοπούλια της περιοχής, 17 μήνες μετά την διαρροή της πετρελαιοκηλίδας. Οι επιπτώσεις της πετρελαιοκηλίδας διαπιστώνονται κυρίως από οργανικές δυσλειτουργίες των οργανισμών που έχουν εκτεθεί στους PAHs, καθώς επηρεάστηκαν ζωτικά όργανα όπως το ήπαρ και τα νεφρά. Υπάρχει επίσης σαφής ένδειξη ότι η πετρελαιοκηλίδα επηρέασε την τροφική αλυσίδα, καθώς μετρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις PAHs σε μικρής ηλικίας οργανισμούς (γλάρους). Τέλος, μερικές μελέτες έχουν δείξει ότι η μακροχρόνια έκθεση μπορεί να έχει σοβαρότερες επιπτώσεις στους πληθυσμούς από την άμεση θνησιμότητα. Η αξιολόγηση των μακροχρόνιων μη θανατηφόρων επιδράσεων είναι επιτακτική, με σκοπό τον προσδιορισμό των πραγματικών επιπτώσεων της πετρελαϊκής μόλυνσης στο περιβάλλον.

Μελέτη η οποία πραγματοποιήθηκε σε εργαζόμενους και εθελοντές καθαρισμού των πολύ μολυσμένων περιοχών, έδειξε ότι πέντε μέρες μετά το ατύχημα η συγκεκριμένη ομάδα έπασχε από οσφυαλγία, πονοκεφάλους, ζάλη, αναπνευστικά προβλήματα και ερεθισμούς σε μάτια και δέρμα (**Solomon G., 2003**). Η παραπάνω μελέτη επίσης, εξέτασε την γενετική τοξικότητα σε τρεις ομάδες εθελοντών καθαρισμού παραλιών. Παρατηρήθηκαν βλάβες στο γενετικό υλικό DNA και των τριών ομάδων, ενώ το είδος της βλάβης φάνηκε ότι μπορεί να αντιμετωπιστεί από τον οργανισμό.

Μεγαλύτερες τοξικές επιδράσεις παρατηρήθηκαν σε εθελοντές οι οποίοι εργάστηκαν για περισσότερες από είκοσι μέρες σε ιδιαίτερα επιβαρυνμένες περιοχές, ερχόμενοι σε άμεση επαφή με το πετρέλαιο.

Αυτές οι μελέτες δείχνουν ότι οι εργαζόμενοι και οι κάτοικοι μπορούν να υποφέρουν με σοβαρά προβλήματα υγείας προκαλούμενα από πετρελαιοκηλίδες. Γενικά, τα κύρια συμπτώματα είναι οι έντονοι πονοκέφαλοι, οι ζαλάδες, τα εξανθήματα στο δέρμα, ερεθισμό των ματιών, του λαιμού και του δέρματος, και τέλος, αναπνευστικά προβλήματα, ενώ δεν αποκλείονται όπως αποδείχτηκε, οι γενετικές βλάβες (δυνητικά διορθώσιμες).

Π.4.2. Πετρελαιοκηλίδα «Exxon Valdez»

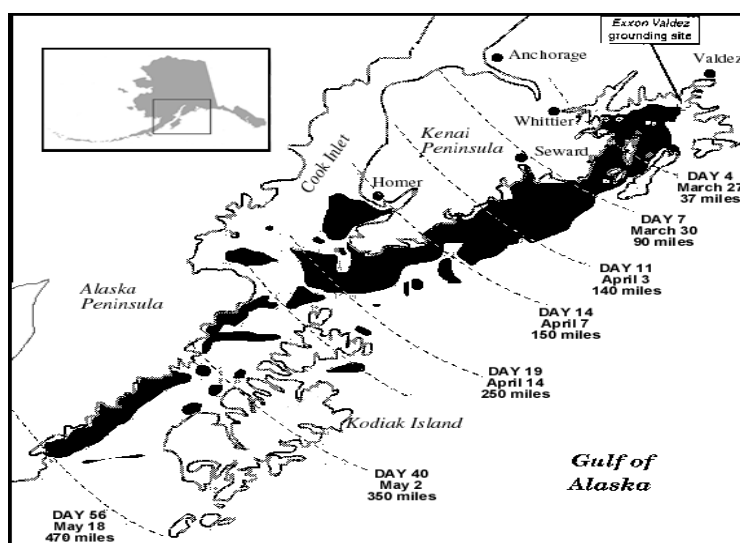
Η μεγαλύτερη πετρελαιοκηλίδα που δημιουργήθηκε ποτέ στα ύδατα των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής μέχρι το έτος 2010, ήταν αυτή που προκλήθηκε από το ναυτικό ατύχημα του Exxon Valdez, στην Αλάσκα (**Wikipedia**), όπως διακρίνεται στην Εικόνα 27. Στις 24 Μαρτίου του 1989, το πετρελαιοφόρο πλοίο με το αντίστοιχο όνομα, χτύπησε σε ύφαλο στο στενό του Πρίγκιπα Ουίλιαμ (Prince William Sound) απελευθερώνοντας 260,000 έως 750,000 βαρέλια (41,000 έως 119,000 m³ ή τόνοι) αργού πετρελαίου (**Bluemink E., 2010**).



Εικόνα 27. Το ατύχημα του «Exxon Valdez» στην Αλάσκα
(www.oilspillsolutions.org).

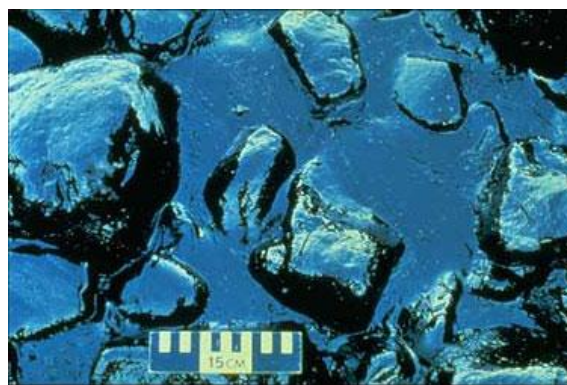
Θεωρείται μια από τις μεγαλύτερες οικολογικές καταστροφές που έχει προκαλέσει ο άνθρωπος και συγκαταλέγεται στην λίστα με τις μεγαλύτερες πετρελαιοκηλίδες στο θαλάσσιο περιβάλλον από άποψη όγκου (**Hazardous Materials Response and Assessment Division, 2008**). Τρεις μέρες μετά την βύθιση του πλοίου, οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν στην περιοχή ώθησαν μεγάλες ποσότητες πετρελαίου στις ακτές και παραλίες του νησιού Knight.

Η συγκεκριμένη περιοχή στην οποία προκλήθηκε το ατύχημα, είναι απομακρυσμένη και προσβάσιμη μόνο από ελικόπτερο, αεροπλάνο ή σκάφος, γεγονός που έκανε το έργο της αμερικάνικης κυβέρνησης και των εταιρειών καθαρισμού δυσκολότερο. Επίσης, η περιοχή της Αλάσκας αποτελεί φυσικό περιβάλλον για θαλάσσιους οργανισμούς όπως ο σολομός, η φώκια και διάφορα είδη πουλιών. Το πετρέλαιο διέρρευσε συγκεκριμένα στην περιοχή της παραλίας Prudhoe, καλύπτοντας 1,300 μίλια (2,100 χιλιόμετρα) ακτογραμμής (**History of the Spill, 2009**), και 11,000 τετραγωνικά μίλια (28,000 τετραγωνικά χιλιόμετρα) ωκεανού, όπως διακρίνεται στην Εικόνα 28 με μαύρο χρώμα.



Εικόνα 28. Η εξάπλωση του πετρελαίου στην περιοχή της Αλάσκας (**Encyclopedia of Earth**).

Στην Εικόνα 29 διακρίνεται συσσωρευμένο πετρέλαιο στα βράχια των ακτών της Αλάσκας.



Εικόνα 29. Πετρέλαιο προσκολλημένο σε βράχια των ακτών της Αλάσκας (**Wikipedia**)

Διαδικασίες καθαρισμού

Στις 24 Μαρτίου του 1989, έγιναν οι πρώτες προσπάθειες καθαρισμού των ακτών της Αλάσκας, κάνοντας εναέρια χρήση χημικών διασκορπιστικών, με την βοήθεια περίπου 100 αεροσκαφών. Πιο συγκεκριμένα, έγινε χρήση του διασκορπιστικού Corexit 9580, το οποίο αργότερα βρέθηκε τοξικό για τους εργάτες καθαρισμού και τους θαλάσσιους οργανισμούς (**Oil Spill Case Histories – NOAA, 1992**). Ο συγκεκριμένος τρόπος καθαρισμού ωστόσο, διακόπηκε πρόωρα, καθώς η κυματική δραστηριότητα στην συγκεκριμένη θαλάσσια περιοχή ήταν εξαιρετικά μικρή και δεν ευνοούσε τον διασκορπισμό του πετρελαίου.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν τρεις ελεγχόμενες εκρήξεις με σκοπό την καύση ποσοτήτων πετρελαίου. Η συγκεκριμένη μέθοδος ήταν αρκετά αποτελεσματική, καθώς 113,400 λίτρα πετρελαίου μειώθηκαν σε 1,134 λίτρα αφαιρούμενου υπολείμματος. Η συγκεκριμένη διαδικασία όμως δε συνεχίστηκε, λόγω δυσμενών καιρικών συνθηκών (**Oil Spill Case Histories – NOAA, 1992**). Αργότερα, έλαβε χώρα ο μηχανικός καθαρισμός του πετρελαίου με την χρήση πλωτών αντιρρυπαντικών φραγμάτων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 30. Λόγω της καθυστερημένης εφαρμογής του μηχανικού καθαρισμού, παχιά στρώματα πετρελαίου και φύκια προκάλεσαν προβλήματα στον εξοπλισμό (**Samuel K., et. al., 1989**).



Εικόνα 30. Εφαρμογή του μηχανικού καθαρισμού του πετρελαίου στις ακτές της Αλάσκας (**Wikipedia**).

Επίσης, περισσότεροι από 11,000 πολίτες της Αλάσκας, ανάμεσα τους και υπάλληλοι της ναυτιλιακής εταιρείας, συνέβαλαν στον καθαρισμό της περιοχής από τα πετρελαιοειδή και την αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος.

Η ακτογραμμή του στενού (Prince William Sound) αποτελείται από πολλούς βραχώδεις κολπίσκους, στους οποίους είχαν προσκολληθεί μεγάλες ποσότητες πετρελαίου. Έτσι, ο αποτελεσματικότερος τρόπος καθαρισμού τους, ήταν η χρήση ζεστού νερού υψηλής πίεσης όπως φαίνεται στην Εικόνα 31.



Εικόνα 31. Χρήση ζεστού νερό υψηλής πίεσης για τον καθαρισμό των μολυσμένων με πετρέλαιο ακτών της Αλάσκας (www.valdezlink.com).

Ποσότητες πετρελαίου

Σύμφωνα με επίσημες πηγές, το πετρελαιοφόρο «Exxon Valdez» μετέφερε περίπου 55 εκατομμύρια γαλόνια ($210,000 \text{ m}^3$ ή τόνοι) πετρελαίου, εκ των οποίων 11 έως 32 εκατομμύρια γαλόνια ($42,000$ έως $120,000 \text{ m}^3$ ή τόνοι) διέρρευσαν στο στενό του Πρίγκιπα Ουίλιαμ (Prince William Sound) (**Graham S., 2003**).

Η ποσότητα των 11 εκατομμυρίων γαλονιών ($42,000 \text{ m}^3$ ή τόνοι) αποτελούσε μια κοινώς αποδεκτή εκτίμηση του όγκου διαρροής, και έχει χρησιμοποιηθεί από την κυβέρνηση της Αλάσκας, την Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας, καθώς και από άλλες περιβαλλοντικές ομάδες όπως η Greenpeace (**Greenpeace-Hazardous Materials Response and Assessment Division, 1992**).

Παρόλα αυτά, ορισμένες ομάδες, όπως οι «Defenders of Wildlife», αμφισβητούν τις επίσημες εκτιμήσεις και υποστηρίζουν ότι η συνολική ποσότητα πετρελαίου που διέρρευσε είναι πολύ μεγαλύτερη, καθώς μερικές ποσότητες δεν δημοσιεύτηκαν (**Defenders of Wildlife, 2004**).

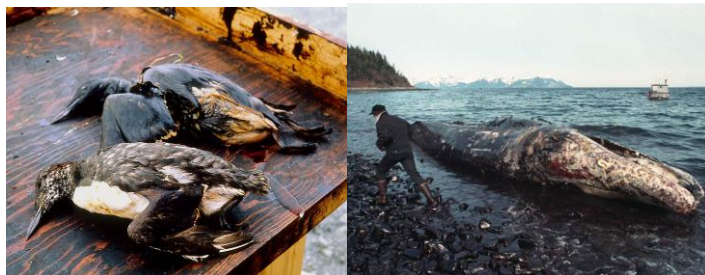
Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Έπειτα από τις διαδικασίες καθαρισμού των ακτών με την χρήση ζεστού νερού υψηλής πίεσης, διαπιστώθηκε ότι οι μικροβιακοί πληθυσμοί της ακτογραμμής είχαν καταστραφεί. Πολλοί από τους συγκεκριμένους οργανισμούς (π.χ πλαγκτόν) αποτελούν την βάση της παράκτιας τροφικής αλυσίδας, ενώ άλλοι (π.χ βακτήρια και άλγη), συμβάλλουν στην ταχύτερη βιοαποικοδόμηση του πετρελαίου.

Παρά τις εκτενείς προσπάθειες καθαρισμού, λιγότερο από το 10% του πετρελαίου είχε συλλεχθεί, ενώ μία μελέτη της Εθνικής Υπηρεσίας Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (NOAA) έδειξε ότι στις αρχές του 2007 η εναπομένουσα περιεχόμενη ποσότητα πετρελαίου στις αμμώδεις ακτές της περιοχής, ξεπερνούσε τις 26,000 γαλόνια (98 τόνοι) (**Holleman M., 2004 – MacAskill E., 2007**).

Τόσο οι μακροπρόθεσμες, όσο και οι βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις της πετρελαιοκηλίδας, έχουν μελετηθεί (**Jewett S.C., 2001**). Στις άμεσες επιπτώσεις περιλαμβάνονται οι θάνατοι οργανισμών, όπου αναφέρεται ότι σκοτώθηκαν 100,000 έως 250,000 θαλασσοπούλια, περίπου 2,800 θαλάσσιες και ποτάμιες ενυδρίδες, 300 φώκιες, 247 γυπαετοί, και τέλος, 22 φάλαινες, όπως διακρίνεται στις Εικόνες 32 και 33. Εκτός από τα παραπάνω, εκτιμάται ότι θανατώθηκαν δισεκατομμύρια σολομοί και αυγά ψαριών (**BBC News, 2010**).

Οι συνέπειες της πετρελαιοκηλίδας συνέχισαν να είναι αισθητές για πολλά χρόνια αργότερα. Η επίδραση της πετρελαιοκηλίδας στον σολομό και σε άλλους πληθυσμούς, επηρέασε στη συνέχεια τις φάλαινες που ζουν και αναπαράγονται στην ευρύτερη περιοχή της Αλάσκας, εξαφανίζοντάς τις για έναν χρόνο. Τα επόμενα χρόνια, εμφανίστηκε υψηλό ποσοστό θνησιμότητας σε πληθυσμούς πάπιας, πιθανώς διότι είχαν καταπιεί τροφή η οποία περιείχε πετρελαϊκά κατάλοιπα και ρυπογόνες ουσίες (**Australian Broadcasting Corporation, 2008**).



Εικόνες 32 & 33. Νεκροί θαλάσσιοι οργανισμοί στην θάλασσα της Αλάσκας
(**Wikipedia & www. wordpress.com**).

Μια δεκαετία αργότερα, το οικοσύστημα υποφέρει ακόμα. Σημαντική είναι η συνεχής μόλυνση των μυδιών, καθώς το πετρέλαιο αποτελεί μία συνεχής πηγή τοξικών υδρογονανθράκων. Για διάφορους άλλους οργανισμούς, όπως οι θαλάσσιες ενυδρίδες, οι ενυδρίδες ποταμού και μερικά είδη πάπιας, έχει αποδειχθεί η συνεχής έκθεσή τους σε υδρογονάνθρακες τα τελευταία χρόνια (**Miller A.P., 1999**).

Είκοσι κοινότητες της γύρω περιοχής επηρεάστηκαν από την πετρελαιοκηλίδα, η οποία προκάλεσε σοβαρές κοινωνικές και ψυχολογικές επιπτώσεις, όπως η κατάθλιψη και το μετά-τραυματικό στρες. Αυτές οι επιπτώσεις κάνουν την εμφάνισή τους ακόμα και σήμερα, σε διάφορες περιοχές όπως η Κόρδοβα. Όσο αφορά τους εργαζόμενους στις διαδικασίες καθαρισμού, υποστηρίζεται ότι εκτέθηκαν στο πετρέλαιο 12 φορές περισσότερο από το επιτρεπτό όριο.

Το 1989, πηγές κάνουν λόγο ότι περίπου 1,811 εργαζόμενοι κατέθεσαν αιτήσεις αποζημίωσης, κυρίως λόγω αναπνευστικών προβλημάτων που αντιμετώπιζαν, σύμφωνα με το Εθνικό Ινστιτούτο Επαγγελματικής Ασφάλειας και Υγείας (**Miller A.P., 1999**). Συγκεκριμένα, οι περισσότεροι από αυτούς είχαν τραυματιστεί κατά την διάρκεια του καθαρισμού, ενώ το 15% έπασχε από αναπνευστικά προβλήματα και το 2% από δερματίτιδα. Σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, δεν είναι διαθέσιμη καμία πληροφορία σχετικά με τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της διαρροής του Exxon Valdez στην υγεία των ανθρώπινων οργανισμών.

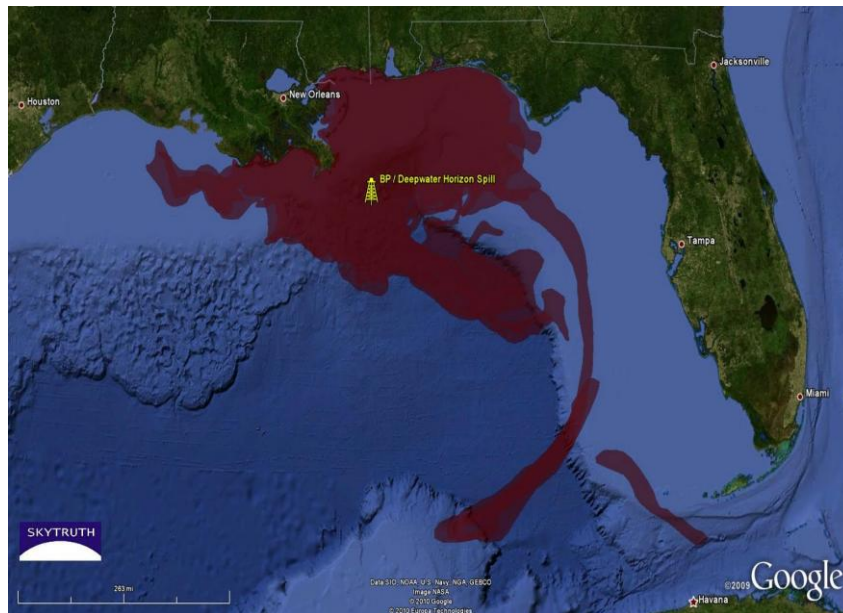
Π.4.3. Το ατύχημα στον Κόλπο του Μεξικού (*BP – Deepwater Horizon*)

Στις 20 Απριλίου του 2010 και ύστερα από έκρηξη που προκλήθηκε στην μονάδα εξόρυξης πετρελαίου (Εικόνα 34) της πετρελαϊκής εταιρείας BP (British Petrols), δημιουργήθηκε η μεγαλύτερη πετρελαιοκηλίδα στο θαλάσσιο περιβάλλον στην ιστορία των ναυτικών ατυχημάτων (**Encyclopedia of Earth**). Η ακριβής τοποθεσία του ατυχήματος βρίσκεται στον Κόλπο του Μεξικού, κοντά στο δέλτα του ποταμού Μισισσιππή (Εικόνα 35).



Εικόνα 34. Η μονάδα εξόρυξης πετρελαίου *Deepwater Horizon* στον Κόλπο του Μεξικού (**Wikipedia**).

Η πετρελαιοκηλίδα του Κόλπου του Μεξικού (ή αλλιώς πετρελαιοκηλίδα *Deepwater Horizon*, πετρελαιοκηλίδα BP), έρρεε συνεχώς για τρεις μήνες, μέχρι ώσπου ειδικοί κατάφεραν να κλείσουν την πηγή σε βάθος περίπου 4,000 μέτρων, στις 15 Ιουλίου (**Wikipedia**). Η εκτιμώμενη ποσότητα που απελευθερώθηκε ανέρχεται σε περίπου 5 εκατομμύρια βαρέλια ($780 \times 10^3 \text{ m}^3$) ή 206 εκατομμύρια γαλόνια αργού πετρελαίου, με ρυθμό απελευθέρωσης πριν το κλείσιμο του φρεατίου, 53,000 βαρέλια την ημέρα. Τέλος, ο συγκεκριμένος ρυθμός απελευθέρωσης θεωρείται μεγαλύτερος αρχικά (62,000 βαρέλια ή $9,900 \text{ m}^3$ την ημέρα), ενώ μειωνόταν με την πάροδο του χρόνου (**Campbell R. et al., 2010**).



Εικόνα 35. Η εξάπλωση του πετρελαίου μετά το ατύχημα στον Κόλπο του Μεξικού (Encyclopedia of Earth).

Η πετρελαιοκηλίδα συνεχίζει ακόμα και σήμερα να προκαλεί καταστροφικές συνέπειες στο θαλάσσιο και παράκτιο οικοσύστημα της περιοχής, επηρεάζοντας την τουριστική και αλιευτική δραστηριότητα του Κόλπου (Laura T., 2010). Στα τέλη του Νοεμβρίου 2010, περίπου 4,200 τετραγωνικά μίλια (11.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα) αποκλείστηκαν από αλιευτικές δραστηριότητες, καθώς βρέθηκαν πισσώδη δείγματα πετρελαίου σε δίχτυα αλιείας ψαριών και γαρίδας (Burch J., 2010-NOAA).

Στα τέλη του Νοεμβρίου, περίπου 510 χιλιόμετρα ακτογραμμών της πόλης Λουιζιάνα είχαν πληγεί από πετρέλαιο. Στις αρχές του 2011, ειδικοί σε θέματα πετρελαιοκηλίδων, ανέφεραν ότι πισσώδη σφαιρίδια πετρελαίου συνεχίζουν να εμφανίζονται στις ακτές, προκαλώντας το θάνατο σε φυτικούς οργανισμούς όπως φύκη και χορτάρια, ενώ υποστήριζαν ότι το πετρέλαιο έχει εξαπλωθεί σε ανοικτά βαθιά νερά και σε αμώδεις παράκτιες περιοχές (Beinecke F., 2011).

Επιπλέοντα αγκυροβολημένα φράγματα (Εικόνα 36), οδοφράγματα γεμάτα με άμμο κατά μήκος των ακτών, και τέλος χημικά διασκορπιστικά, χρησιμοποιήθηκαν άμεσα έτσι ώστε χιλιάδες μίλια παραλιών, υγροτόπων και ποτάμιων περιοχών να προστατευτούν όσο το δυνατόν καλύτερα από το πετρέλαιο. Οι επιστήμονες υποστήριζαν ότι υφίστανται τεράστια υποθαλάσσια πλούμια πετρελαίου, τα οποία δεν είναι ορατά από την επιφάνεια της θάλασσας (Juston G., 2010).



Εικόνα 36. Αντιρρυπαντικά φράγματα προστατεύουν τις ακτές από τα πετρελαιοειδή σε νησιά του Κόλπου του Μεξικού (**Wikipedia**).

Διαρροή μεγάλων ποσοτήτων πετρελαίου

Σύμφωνα με την τεχνική ομάδα ρυθμού διαρροής (**Flow Rate Technical Group**), η συνολική ποσότητα της διαρροής υπολογίζεται σε 4.9 εκατομμύρια βαρέλια (205.8 εκατομμύρια γαλόνια) πετρελαίου, υπερβαίνοντας σε όγκο την πετρελαιοκηλίδα του ατυχήματος του Exxon Valdez, στην Αλάσκα το 1989.

Η υπεύθυνη πετρελαϊκή εταιρεία BP εκτιμάει ότι ο χειρότερος δυνατός ρυθμός απελευθέρωσης άγγιζε τα 162,000 βαρέλια ή 25,800 m³ την ημέρα (**Michelle G., 2010**). Αμέσως μετά την έκρηξη στην πλατφόρμα, η εν λόγω εταιρεία και οι Λιμενικές Αρχές των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής δεν υπολόγισαν το ποσοστό διαρροής από την βυθισμένη εξέδρα ή το φρεάτιο (**Bruce N., 2010**).

Οι αρχικές εκτιμήσεις των αρχών και της εταιρείας πραγματοποιήθηκαν αργότερα, βασισμένες σε μετρήσεις τηλεχειριζόμενων μηχανημάτων. Σύμφωνα με αυτές τις εκτιμήσεις, ο ρυθμός διαρροής ήταν περίπου 1,000 βαρέλια την ημέρα (160 m³/d) (**CBC News**). Στις 29 Απριλίου, οι επίσημες εκτιμήσεις αυξήθηκαν από 1,000 σε 5,000 βαρέλια την ημέρα (160 έως 790 m³/d) (**Clifford K. et. al., 2010**), στις 27 Μαΐου από 12,000 σε 19,000 βαρέλια την ημέρα (1,900 έως 3,000 m³/d) (**Jonathan W. Et. al., 2010**), στις 10 Ιουνίου από 30,000 σε 25,000 βαρέλια την ημέρα (4,000 έως 4800 m³/d) (**CNN Wire Staff, 2010**), και τέλος, στις 15 Ιουνίου από 35,000 έως 60,000 βαρέλια την ημέρα (5,600 έως 9,500 m³/d) (**Ray H., 2010**).

Οι τελευταίες εκτιμήσεις αναφέρουν ότι προτού κλείσει το φρεάτιο στις 15 Ιουλίου, ο ρυθμός απελευθέρωσης του πετρελαίου ήταν 53,000 βαρέλια ή 8,400 m³ την ημέρα. Πιστεύεται ότι ο καθημερινός ρυθμός διαρροής μειωνόταν με το χρόνο, ξεκινώντας από 62,000 βαρέλια (9,900 m³) την ημέρα, σαν αρχικός όγκος απελευθέρωσης.

Τρόποι και μέτρα αντιμετώπισης

Για να αντιμετωπιστεί όσο το δυνατόν γρηγορότερα και αποτελεσματικότερα η τεράστια ρύπανση που προκάλεσε η πετρελαιοκηλίδα του Κόλπου, η αμερικάνικη κυβέρνηση ίδρυσε μία ενιαία διοίκηση συντονισμού, αποτελούμενη από την υπεύθυνη εταιρεία BP και άλλες ομοσπονδιακές υπηρεσίες όπως η Υπηρεσία Προστασία Περιβάλλοντος (EPA), την Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (NOAA), τις Λιμενικές Αρχές κτλ. Στον συντονισμό της ενιαίας διοίκησης για την αντιμετώπιση της διαρροής, χρησιμοποιήθηκαν:

- 6,300 σκάφη
- Περισσότερα από 6.7 εκατομμύρια πόδια μήκους φραγμάτων
- Συλλέχθηκαν περισσότερα από 25 εκατομμύρια γαλόνια μίγματος νερού-πετρελαίου
- Περισσότερα από 1,345 εκατομμύρια γαλόνια χημικών διασκορπιστικών
- Συλλέχθηκαν περισσότερα από 13.5 εκατομμύρια γαλόνια πετρελαίου
- Ανταποκρίθηκαν περισσότεροι από 37,000 εθελοντές καθαρισμού

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Οι αρνητικές επιπτώσεις του πετρελαίου στα φυσικά οικοσυστήματα είναι αναμφισβήτητες. Το πετρέλαιο προκαλεί βλάβες στους οργανισμούς μέσω της σωματικής επαφής, της κατάποσης, της εισπνοής και της απορρόφησης. Το πετρέλαιο που επιπλέει μπορεί να μολύνει τους πλαγκτικούς οργανισμούς, όπως τα φύκη, τα άλγη, τα αυγά ψαριών και τις προνύμφες των ασπόνδυλων. Οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στα χαμηλότερα τροφικά επίπεδα είναι δύσκολο να εκτιμηθούν. Παρόλα αυτά, θα μπορούσαν να δημιουργηθούν μακροχρόνιοι οικολογικοί κίνδυνοι στον Κόλπο του Μεξικού, βασισμένοι στις μεταβολικές δυσλειτουργίες των βενθικών οργανισμών οι οποίοι θα μπορούσαν να επηρεαστούν από την επικάλυψη του πυθμένα με σημαντικές ποσότητες πετρελαίου. Πτηνά θα μπορούσαν να εκτεθούν στο πετρέλαιο, καθώς επιπλέουν στο νερό αναζητώντας την τροφή τους. Οι θαλάσσιες χελώνες επίσης, μολύνονται με πετρέλαιο καθώς κολυμπούν, όπως φαίνεται στην Εικόνα 37.



Εικόνα 37. Θαλάσσια χελώνα καλυμμένη με πετρέλαιο στην θαλάσσια περιοχή του Κόλπου (Encyclopedia of Earth).

Το πετρέλαιο έχει την δυνατότητα να παραμένει στο θαλάσσιο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα και να παρουσιάζει μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στα ψάρια και τους θαλάσσιους οργανισμούς γενικότερα. Οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις του σε πουλιά και θαλάσσια θηλαστικά δεν έχουν μελετηθεί σε μεγάλο βαθμό, παρόλα αυτά το πετρέλαιο έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί βλάβες στο ανοσοποιητικό σύστημα, δερματικό ερεθισμό και αλλαγές στην συμπεριφορά (Monosson E., 2010).

Η τοποθεσία της πετρελαιοκηλίδας της BP βρίσκεται στην ζώνη των ωκεανών, γνωστή και ως Βαθυπελαγική ζώνη, με μεγάλα βάθη πολύ χαμηλών θερμοκρασιών και πιέσεις 160 ατμοσφαιρών. Σε τέτοια βάθη, είναι σχεδόν μηδαμινή η έλευση του ηλιακού φωτός με αποτέλεσμα να απουσιάζει η πρωτογενής παραγωγή. Λόγω της μεγάλης κυκλοφορίας του νερού σε αυτές τις ζώνες, εκτιμάται ότι το αργό πετρέλαιο θα μεταναστεύσει κάθετα και θα επηρεάσει όλα τα βάθη των υδάτων στον Κόλπο του Μεξικού, συμπεριλαμβανομένων και των πιο ρηχών νερών, όπου ουσιαστικά επικρατεί μεγαλύτερη βιοποικιλότητα και βιολογική παραγωγικότητα.

Εκτεταμένες επιπτώσεις στην άγρια πανίδα παρατηρήθηκαν στις 16 Μαΐου, όπου δύο αποικίες καφέ πελεκάνων σε παραλία της περιοχής είχαν σημάδια από πετρέλαιο στο σώμα τους, όπως φαίνεται στην Εικόνα 38. Την πρώτη εβδομάδα του Ιουνίου, τα ποσοστά θνησιμότητας και τραυματισμών για τα πτηνά, τις θαλάσσιες χελώνες και τα δελφίνια είχαν αυξηθεί απότομα σε όλη την ακτή της Λουιζιάνα.

Οι πιθανές επιπτώσεις του αργού πετρελαίου και της διασποράς χημικών στην ανοικτή νερά του Κόλπου του Μεξικού είναι σε μεγάλο βαθμό άγνωστες και εξαιρετικά δύσκολο να εκτιμηθούν.

Τέλος, οι βιολόγοι υποστηρίζουν ότι τα περισσότερα ζώα πέθαναν εξαιτίας του πετρελαίου, αλλά τα πτώματα τους είναι δύσκολο να βρεθούν, καθώς χάνονται στον ανοικτό ωκεανό ή τρώγονται από άλλους οργανισμούς.



Εικόνα 38. Πελεκάνοι μολυσμένοι από πετρέλαιο στο Εθνικό Καταφύγιο Άγριας Ζωής της πόλης Λουιζιάνα (**Encyclopedia of Earth**).

Η διαρροή πετρελαίου στον κόλπο του Μεξικού αποτελεί άμεση απειλή για την ανθρώπινη υγεία λόγω της εισπνοής ή της δερματικής επαφής με τις χημικές ουσίες πετρελαίου και των διασκορπιστικών, και έμμεση απειλή για τους θαλάσσιους και παράκτιους οργανισμούς.

Τα κύρια συστατικά του πετρελαίου είναι οι αλειφατικοί και αρωματικοί υδρογονάνθρακες, ενώσεις χαμηλού μοριακού βάρους, όπως το βενζόλιο, το τολουόλιο και το ξυλόλιο. Είναι πτητικές οργανικές ενώσεις, οι οποίες εξατμίζονται γρήγορα αφότου το πετρέλαιο φθάσει στην επιφάνεια της θάλασσας. Αυτές οι ενώσεις προκαλούν συνήθως ερεθισμούς στο αναπνευστικό σύστημα. Το βενζόλιο είναι γνωστό για την πρόκληση λευχαιμίας στους ανθρώπους, ενώ το τολουόλιο είναι αναγνωρισμένο ως τερατογενές σε υψηλές συγκεντρώσεις. Χημικές ουσίες υψηλού μοριακού βάρους όπως η ναφθαλίνη, εξατμίζονται με πιο αργούς ρυθμούς. Η ναφθαλίνη αναγνωρίζεται από το Εθνικό Πρόγραμμα Τοξικολογίας ως "πιθανώς αναμενόμενη να προκαλέσει καρκίνο στους ανθρώπους".

Το πετρέλαιο επίσης, μπορεί να απελευθερώσει θειούχο αέριο το οποίο περιέχει μικρές ποσότητες βαρέων μετάλλων, καθώς επίσης και αμετάβλητους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAHs). Το θειούχο αέριο είναι νευροτοξικό και έχει συνδεθεί με οξείες και χρόνιες επιπτώσεις. Τα PAHs είναι μεταλλαξιογόνες και πιθανών καρκινογόνες χημικές ουσίες (**Solomon G.M. et. al., 2010**).

Η διαρροή πετρελαίου στον Κόλπο του Μεξικού είναι μοναδική λόγω της τεράστιας χρήσης διαλυτικών ουσιών με σκοπό την γρηγορότερη διάσπαση της πετρελαιοκηλίδας. Μέχρι τα τέλη του Ιουλίου 2010, περισσότερα από 1.8 εκατομμύριο γαλόνια χημικών διασκορπιστικών είχαν χρησιμοποιηθεί στον Κόλπο του Μεξικού. Τα διαλυτικά πετρελαίου περιέχουν απορρυπαντικά, απολυμαντικά και αποστάγματα πετρελαίου όπως η 2-βουτοξυεθανόλη, η γλυκόλη και τα άλατα υδρόθειου, τα οποία προκαλούν ερεθισμούς.

Οξείες επιπτώσεις του πετρελαίου και των χημικών διαλυτικών στην υγεία

Τους πρώτους μήνες της διαρροής στην πόλη της Λουιζιάνα, περισσότερα από 300 άτομα, τα τρία τέταρτα των οποίων ήταν εργαζόμενοι καθαρισμού, χρειάστηκαν ιατρική φροντίδα για συμπτώματα όπως οι πονοκέφαλοι, ο ίλιγγος, η ναυτία, ο εμετός, ο βήχας και ο θωρακικός πόνος. Αυτά τα συμπτώματα είναι χαρακτηριστικά της οξείας έκθεσης στους υδρογονάνθρακες, αλλά είναι δύσκολο να διακριθούν κλινικά τα τοξικά συμπτώματα από άλλη κοινή ασθένεια (**Solomon G.M. et. al., 2010**). Η δερματική επαφή με το πετρέλαιο και τις διαλυτικές ουσίες μπορεί να προκαλέσει ερεθισμούς και μολύνσεις στο δέρμα.

Πιθανοί μακροπρόθεσμοι κίνδυνοι υγείας

Βραχυπρόθεσμα, οι πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες θα μολύνουν τα ψάρια και τα οστρακόδερμα, σύμφωνα με τους επιστήμονες. Αν οι θαλάσσιοι οργανισμοί μπορέσουν να απομακρύνουν τους PAHs από το οικοσύστημά τους, τότε αυτές οι χημικές ουσίες συσσωρεύονται για χρόνια στα ασπόνδυλα. Ο Κόλπος του Μεξικού αποτελεί μια εξαιρετικά σημαντική περιοχή αλιευτικής δραστηριότητας, παρέχοντας στις Ηνωμένες Πολιτείες μεγάλες ποσότητες ψαριών και κυρίως οστρακοειδών. Τα ποσοστά Καδμίου, Υδραργύρου, Μολύβδου και άλλων βαρέων μετάλλων που υπάρχουν στο πετρέλαιο, μπορούν να συσσωρευτούν με την πάροδο του χρόνου στους ιστούς των ψαριών, αυξάνοντας ενδεχομένως τους μελλοντικούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία που μπορεί να προκληθούν από την κατανάλωση ψαριών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

11.1. Ελληνική βιβλιογραφία

1. Αυλωνίτης Σ.Α. «Εισαγωγή στην τεχνολογία νερού και αφαλάτωσης», (2006).
2. Βασιλάκος Α., «Οικονομική αποτίμηση της θαλάσσιας ρύπανσης με εφαρμογή της μεθόδου υποθετικής αξιολόγησης σε ηπειρωτική περιοχή», (2009).
3. Βασσάλου Ε., «Μελέτη βιοσυσσώρευσης ορμονικών διαταρακτών στο δίθυρο *Mytilus Galloprovincialis*», (2007).
4. Βουτυράκης Μ., «Πετρελαϊκή ρύπανση των θαλασσών», (2005).
5. Γιδαράκος Ε., «Επικίνδυνα απόβλητα: Διαχείριση & Επεξεργασία», (2006).
6. Γκέκας Β., Φραντζεσκάκη Ν., Κατσιβέλα Ε., «Τεχνολογίες Επεξεργασίας Τοξικών και Επικινδύνων Αποβλήτων», (2002).
7. Γραμματική Γ., «Αποικοδόμηση Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs) με χρήση υπερήχων και προσδιορισμός αυτών με μικροεκχύλιση στερεάς φάσης (SPME) και (GSMS) σε υδατικά διαλύματα/λύματα», (2003).
8. Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.), «Μελέτη των επιπτώσεων της ρύπανσης που προκλήθηκε από το ατύχημα του Sea Diamond στον όρμο Αθηνιός της νήσου Θήρας», Τελικές εκθέσεις 1^{ου}, 2^{ου} και 3^{ου} έτους, (2010).
9. Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, «Εκτίμηση της κατάστασης μετά την Επιχείρηση Απάντλησης των Πετρελαιοειδών από το Ναυάγιο του Sea Diamond», (2009).
10. Ζέρβα Π., «Η οικονομική διάσταση της θαλάσσιας ρύπανσης από τα ναυτικά ατυχήματα», (2007).
11. Καλδέλλης Κ., Κονδύλη Α., «ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗ», (2005).
12. Καλογεράκης Ν., «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Πετρελαιοκηλίδων», (2007).
13. Κολλάρου Β., «Έλεγχος ποιότητας & διαχείριση περιβάλλοντος», (2009).
14. Κίτσος Α., «Τεχνική LPME-GS/MS για τον προσδιορισμό Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (PAHs) σε δείγματα νερού», (2003).
15. Νομικός Γ., «Ποιοτικός και ποσοτικός χαρακτηρισμός των επικινδύνων και τοξικών ουσιών από το ναυάγιο του Sea Diamond – Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και επικινδυνότητα – Μία προκαταρκτική εξέταση», (2009).
16. Παπαστάθη Κ., «Πετρέλαιο: δύλιση και προϊόντα», (2009).
17. Πολυτεχνείο Κρήτης, «Ποιοτικός και ποσοτικός χαρακτηρισμός επικινδύνων και τοξικών ουσιών από το ναυάγιο του Sea Diamond», 1^ο παραδοτέο της μελέτης

του Εργαστηρίου Διαχείρισης Τοξικών και Επικινδύνων Αποβλήτων «Ποιοτικός και ποσοτικός χαρακτηρισμός επικινδύνων και τοξικών ουσιών από το ναυάγιο του Sea Diamond-Περιβαλλοντικές επιπτώσεις (παρούσες και μελλοντικές)», Χανιά, Φεβρουάριος (2010).

18. Σαχινίδης Σ., «Φαινόμενα ρύπανσης στο θαλάσσιο περιβάλλον. Επιπτώσεις στις βιοκοινωνίες», (2010).
19. Σκούλος Μ., «Χημεία Περιβάλλοντος», (2009).
20. Σταυρίδης Ν. Γ., «Πετρελαϊκή ρύπανση από ατυχήματα δ/ξ στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο: Κανονισμοί – Στατιστική διερεύνηση – Υποθέσεις εργασίας», (2007).
21. Τριανταφύλλου Γ., Βεργέτης Μ., «Πετρελαιοκηλίδες», (2004).
22. Φυτιανός Κ., «Ρύπανση θαλασσών», University Studio Press (2007).
23. Greenpeace Greece, «Οι επιπτώσεις της ρύπανσης από πετρελαιοειδή», Αύγουστος 2006.

11.2. Διεθνής βιβλιογραφία

1. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), U.S. Department of Health and Human Services, September (1997).
2. Agency of Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), «Toxicological profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons», (1995).
3. Berg C., «The Exxon Valdez Spill:10 Years Later», (1999).
4. Brian D., «THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF MARINE OIL SPILLS- Effects, recovery and compensation», (1998).
5. Clark R.B., “Marine Pollution”, Fifth Edition, Oxford University Press, New York (2002).
6. Canarina Algoritmos Numericos, S.L. (Canarina AN), DESCAR 3.2.
7. D’Adamo, Pelosi, Trotta and Sansone, “Bioaccumulation and biomagnification of polycyclic aromatic hydrocarbons in aquatic organisms”, Marine Chemistry (56), 45-49 (1997).
8. Doong R., Chang S., Sun Y., «Solid-phase microextraction for determining the distribution of sixteen US Environmental Protection Agency polycyclic aromatic hydrocarbons in water samples», (2000).

9. Environmental Protection Engineering S.A., «Cruise ship *Sea Diamond* Green Passport», March 2008.
10. Erich R. Gundlach, Paul D. Boehm, Michel Marchand, Ronald M. Atlas, David M. Ward and Douglas A. Wolfe, “The Fate of Amoco Cadiz Oil”, (1983).
11. Hatzianestis I., Hantzi A., Sklivagou E., Rigas F., «Distribution and origin of aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in Saronikos gulf sediments», (2003).
12. James A. Fall, Rita Miraglia, William Simeone, Charles J. Utermohle, and Robert J. Wolfe, «Long-Term Consequences of the *Exxon Valdez* Oil Spill for Coastal Communities of Southcentral Alaska», (2001).
13. International Tanker Owners Pollution Federation, (ITOPF), «Fate of Marine Oil Spills», (2010).
14. Kamal M., El-Deeb Z., Emara H.I., « Polycyclic aromatic hydrocarbons and aromatic plasticiser materials in the seawater of Alexandria coastal area», (2005).
15. Knutzen J., «Effects on marine organisms from polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and other constituents of waste water from aluminium smelters with examples from Norway», (1995).
16. Kostopoulou M., Mulona A., Nikolaou A., Lofrano G., Meric S., Belgiorno V., «Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in the harbor sediments of Mytilene, Greece», (2007).
17. Kornilios S., Drakopoulos P.G., Dounas C., «Pelagic Tar, Dissolved/dispersed Petroleum Hydrocarbons and Plastic Distribution in the Cretan Sea, Greece», (1998).
18. Lunel T. & Davies L., «Response to Bunker Fuel Oil: the Options», (2009).
19. Mamaloukas-Frangoulis V., Michael L. O’Brien, «The Oil Spill Response to the SEA DIAMOND Incident», ITOPF Ltd., London, UK (2009).
20. Manoli E., Samara C., «Polycyclic aromatic hydrocarbons in natural water: sources, occurrence and analysis», (1999).
21. Michel J., «Assessment and recovery of submerged oil: current state analysis», (2006).
22. Michel J., «Potentially Polluting Wrecks in Marine Waters», (2005).
23. Mille Gilbert, Asia Laurence, Guiliano Michel, Malleret Laure, Doumenq Pierre, “Hydrocarbons in coastal sediments from the Mediterranean sea (Gulf of Fos area, France)”, Marine Pollution Bulletin (54), 566–575 (2007).

24. Monfils R., «The Global Risk of Marine Pollution from WWII Shipwrecks: Examples from the Seven Seas», (2004).
25. Muniz, Danulat et al., “Assessment of contamination by heavy metals and petroleum hydrocarbons in sediments of Montevideo Harbour (Uruguay)”, Environmental International (29), 1019-1028 (2004).
26. Neff M.J., «Fundamentals of Aquatic Toxicology», (1985).
27. Neff M.J., «Bioaccumulation in marine organisms», (2002).
28. Nikolaou A., Kostopoulou M., Lofrano G., Meric S., «Determination of PAHs in marine sediments: analytical methods and environmental concerns», (2009).
29. Nikolaou A., Kostopoulou M., Lofrano G., Meric S., Petsas A., Vagi M., «Levels and toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons in marine sediments», (2009).
30. Nittis K., Zervakis V., Perivoliotis L., Papadopoulos A., Chronis G., «Operational Monitoring and Forecasting in the Aegean Sea: System Limitations and Forecasting Skill Evaluation», (2001).
31. O’Brien M., ITOPF Technical Team Manager, «SEA DIAMOND 3 Years on... Dealing with continual leakage from sunken wrecks», (2010).
32. Papadopolou and Samara, «Polycyclic aromatic hydrocarbons contamination and Lumistox® solvent extract toxicity of marine sediments in the north Aegean Sea, Greece», (2002).
33. Poulos S.E., Drakopoulos P.G., «Current activity in the Thermaikos gulf continental margin, in relation to modern sedimentation processes», (2004).
34. Phull B. “Marine Corrosion” in Richardson T.J.A., Cottis B., Lindsay R., Lyon S., Scantlebury D., Scott H., Graham M. (2009).
35. Rikkarainen A.L., Lemponen P., «Petroleum Hydrocarbons concentrations in Baltic Sea subsurface water», (2005).
36. RISC Technical Guide – Chapter 8, «Total Petroleum Hydrocarbons», (2006).
37. Rymmel M., «Sunken and submerged oils – behavior and response”, (2009).
38. Shriadah M.M., «Levels and distribution of petroleum hydrocarbons in the coastal waters and sediments of the United Arab Emirates in the Arabian Gulf and the Gulf of Oman», (1997).
39. Sklivagou E., Varnavas S. P., Hatzianestis I., Kaniass G., “Assessment of Aliphatic and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Trace Elements in Coastal Sediments of the Saronikos Gulf, Greece (Eastern Mediterranean)”, Marine Georesources & Geotechnology (2008).

40. Stepan Boitsof, Bjorn-Einar Grosvik, Sonnich Meier, Henning Steen, Jarle Klungsoyr, «Acute oil spills and monitoring of the marine environment», (2010).
41. Swedish Coast Guard Headquarters, «Oil Sampling at Sea», July 2002.
42. Taylor Brian, “Bioaccumulation and biomagnification”, Bio Factsheet, number 14, January 1998.
43. Tsapakis M., Dakanali E., Stephanou E.G., Karakassis I., «PAHs and n-alkanes in Mediterranean coastal marine sediments: aquaculture as a significant point source», (2009).
44. Triantafyllaki S., Dassenakis M., Psaroudakis N., «Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in seawater by high performance liquid chromatography with photo diode array and fluorescence detection», (2005).
45. United States Environmental Protection Agency, «Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) », January 2008.
46. Zaikova Elena, Hawley Alyse, Walsh David A., Hallam Steven J., «Seawater Sampling and Collection», Department of Microbiology and Immunology, University of British Columbia – UBC (2009).

11.3. Διαδίκτυο

- www.scopus.com
- www.sciencedirect.com
- www.wikipedia.com
- www.epa.com
- www.google.com
- www.chem.uoa.gr
- www.econews.com
- www.scopus.com
- www.econews.com
- www.incidentnews.com
- www.greenlivingtips.com
- www.offshore-environment.com
- www.waterencyclopedia.com
- www.ukmarinesac.org
- www.encyclopediaofearth.com