



ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Διπλωματική Εργασία



Τίτλος:

«Μελέτη αποδοχής/αποστροφής ρίσκου στη διαδικασία λήψης απόφασης για τα προτεινόμενα μέτρα περιορισμού του ρίσκου (RCOs) στο Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO)»

Εκπονητής: Τσουμπελής Ανδρέας

Επιβλέπων: Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π Νικόλαος Π. Βεντικός

Ευχαριστίες

Από τη θέση αυτή θα ήθελα απευθύνω τις ευχαριστίες μου προς:

- τον κ. Νικόλαο Π. Βεντίκο, Επίκουρο καθηγητή του Τμήματος Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. για την ανάθεση και την επίβλεψη της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Τον ευχαριστώ για τη συνεργασία που είχαμε, για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου, για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε ώστε να μπορέσει να ολοκληρωθεί η παρούσα εργασία καθώς και για τις πολύ ενδιαφέρουσες και ευχάριστες συζητήσεις που είχαμε.
- τους καθηγητές της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών για τις γνώσεις που μου προσέφεραν.
- και ιδιαιτέρως προς τους γονείς Τάσο και Γωγώ Τσουμπελή για την αμέριστη υποστήριξή τους και όσα μου έχουν προσφέρει μέχρι τώρα.

Περίληψη

Εξαιτίας της εκτεταμένης χρήσης του πετρελαίου και των προϊόντων του, η παρουσία ρυπαντικών ενώσεων όπως είναι οι συνολικοί πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες και οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ), είναι ένα σύνηθες πλέον φαινόμενο το οποίο εγκυμονεί κινδύνους για τη δημόσια υγεία, λόγω τοξικότητας. Οι πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες και οι ΠΑΥ εμφανίζονται στο περιβάλλον μετά από ατυχήματα και διαρροές κατά τη μεταφορά ή την αποθήκευση καυσίμων και άλλων προϊόντων αργού πετρελαίου. Οι υδρογονάνθρακες εξαιτίας της λιποφιλικής τους τάσης δεσμεύονται στο έδαφος, όπου μπορούν να παραμείνουν ή να εκπλυθούν ρυπαίνοντας τους υδροφόρους ορίζοντες. Για το λόγο αυτό έχει αναπτυχθεί πλήθος μεθόδων για την εξυγίανση ρυπασμένων εδαφών.

Τα πλοία και οι δραστηριότητές τους αποτελούν μία από τις βασικότερες αιτίες πρόκλησης πετρελαιοκηλίδων στον θαλάσσιο χώρο. Η ανάγκη για τη μελέτη του κόστους των πετρελαιοκηλίδων είναι δεδομένη και απασχολεί όλους τους αρμόδιους φορείς. Το κόστος τους υπολογίζεται συναρτήσει ποικίλων παραγόντων, από τους οποίους οι σημαντικότεροι είναι: η ποσότητα πετρελαίου που έχει διαρρεύσει, η τοποθεσία του περιστατικού ρύπανσης, το είδος του ατυχήματος, η επιρροή που έχει στο περιβάλλον και την οικονομία καθώς και το είδος του πετρελαιοειδούς. Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) στην προσπάθειά του να περιορίσει το ρίσκο κατά τη θαλάσσια διακίνηση πετρελαίου προτείνει ένα σύνολο μέτρων περιορισμού του εν λόγω ρίσκου (Risk Control Options-RCOs).

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η διερεύνηση της διάθεσης αποδοχής ή αποστροφής προς το ρίσκο, ανάλογα με επιλεγμένα μέτρα περιορισμού ρίσκου (Risk Control Options) που προτείνει ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO), μέσω των Formal Safety Assessment (FSA) για τα tanker. Συγκεκριμένα, γίνεται προσπάθεια χαρακτηρισμού της διάθεσης του IMO ως προς το ρίσκο μέσω του αντίστοιχου μοντέλου των Cha και Ellingwood για την πυρηνική βιομηχανία. Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε, αντλήθηκε από το διεθνές ταμείο αποζημίωσης για πετρελαϊκή ρύπανση και αποτελείται από ένα σύνολο περίπου 100 περιστατικών παγκοσμίως για το διάστημα 1979 έως 2013.

Λέξεις κλειδιά : Πετρελαιοκηλίδες , Ρύπανση , Κόστος Καθαρισμού , Ναυτικά ατυχήματα, FSA , IMO

Summary

The presence of pollutants like total petroleum hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbons in soil is a result of the extended use of petroleum and its products. Petroleum hydrocarbon releases to the environment can cause safety hazards, ecological harm and adverse human health effects due to the toxicity of these compounds. Petroleum hydrocarbons and PAHs can enter the environment as a result of accidents during the transport or storage of fossil fuels and other petroleum products. On account of their high lipophilicity, hydrocarbons are absorbed to soil where they can remain or contaminate underground water by leaching. For this reason, several methods have been developed for the remediation of polluted soils.

The ships and their activities are one of the main causes of oil spills in the marine area. The need to study the cost of these is given and its interest is shared by all stakeholders. The cost of oil spills depends on various factors, the most important of which are: the quantity of the oil spilt, the location of a pollution incident, the type of accident, the impact on the environment and on the economy and the type of oil. The International Maritime Organization (IMO) in his effort to minimize the risk in the maritime oil trade suggests a number of Risk Control Options (RCOs).

The purpose of this study is to investigate if the IMO is risk averse or risk accept depending on the risk control options that are suggested in its Formal Safety Assessment (FSA) for tankers. Specifically, this project is an attempt to characterize the attitude of IMO toward risk through the model used by Cha and Ellingwood in the industry of nuclear plants. The database that has been used, includes data of about 100 pollution incidents that occurred worldwide during the period from 1979 to 2013, through information from the International Oil Pollution Compensation Fund.

Keywords : Oil Spills , Pollution , Cleaning Cost , Marine accidents , FSA, IMO

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	2
Περίληψη.....	3
Abstract.....	4
Εισαγωγή.....	7
Κεφάλαιο 1^ο : Βιβλιογραφική Επισκόπηση.....	9
1.1 Το συνολικό κόστος μιας πετρελαιοκηλίδας.....	9
1.2 Το ρίσκο και οι συμπεριφορές ως προς το κίνδυνο.....	16
Κεφάλαιο 2ο : Ο Κλάδος των Πετρελαίου και οι πηγές εισόδου του στο θαλάσσιο περιβάλλον.....	20
2.1 Εισαγωγή στην έννοια του Πετρελαίου και στα προϊόντα διύλισης του.....	20
2.1.1 Προϊόντα διύλισης του πετρελαίου.....	22
2.1.2 Πετρελαιοειδή στο περιβάλλον.....	23
2.1.3 Εξάπλωση της πετρελαιοκηλίδας.....	24
2.1.4 Πρόβλεψη διασποράς πετρελαιοκηλίδας.....	27
2.1.5 Το φαινόμενο της πετρελαϊκής ρύπανσης.....	27
2.2. Θαλάσσιες μεταφορές.....	30
2.2.1 Πετρελαιοκηλίδες από απόρριψης πλοίων.....	33
2.2.2 Οπισθσκέδαση και πετρελαιοκηλίδες.....	35
2.3 Τα φυσικά φαινόμενα που μοιάζουν με πετρελαιοκηλίδες.....	38
2.4 Το νομοθετικό πλαίσιο.....	40
2.4.1 Ελληνική νομοθεσία.....	40
2.4.2 Διεθνής νομοθεσία για τη θαλάσσια διακίνηση πετρελαίου.....	43
Κεφάλαιο 3^ο : Παρουσίαση των Επίσημων Αξιολογήσεων Ασφαλείας και της Βάσης Δεδομένων.....	47
3.1 Επίσημες αξιολογήσεις για την Ασφάλεια.....	47
3.2 Βάση Δεδομένων.....	53
3.3 Σημαντικά περιστατικά ρύπανσης που περιλαμβάνονται στη βάση δεδομένων...	58
Κεφάλαιο 4^ο : Παρουσίαση και Εφαρμογή του Μοντέλου Εκτίμησης της Διάθεσης ως προς το ρίσκο.....	62
4.1 Παρουσίαση μοντέλου από το άρθρο των Cha και Ellingwood.....	62
4.2 Εφαρμογή του μοντέλου για τα ποσά που έχει καταβάλει ο ΙΟΡΡΕ.....	66
4.3 Εφαρμογή του μοντέλου για τα αναμενόμενα συνολικά κόστη βάσει της μη γραμμικής εξίσωσης που προτείνει ο ΙΜΟ.....	75

4.4 Παρουσίαση αντίστοιχων αποτελεσμάτων από το άρθρο των Cha και Ellingwood για την πυρηνική βιομηχανία.....	81
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Κεφάλαιο 5^ο : Συμπεράσματα – Προτάσεις για μελλοντική εργασία

5.1 Συμπεράσματα	83
------------------------	----

5.2 Προτάσεις για μελλοντική εργασία.....	85
-------------------------------------------	----

Βιβλιογραφία	86
---------------------------	----

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Μελέτης Πλοίου και Θαλάσσιων Μεταφορών υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή του Ε.Μ.Π. κ. Νικολάου Π. Βεντίκου, κατά το χρονικό διάστημα Φεβρουάριος 2014 – Δεκέμβριος 2016.

Ο βασικός στόχος της εν λόγω μελέτης είναι η διερεύνηση της διάθεσης του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (ΙΜΟ) ως προς το ρίσκο και πιο συγκεκριμένα αν χαρακτηρίζεται από αποστροφή ή αποδοχή. Η ιδέα για την υλοποίηση της συγκεκριμένης εργασίας αντλήθηκε από αντίστοιχες προσπάθειες χαρακτηρισμού της διάθεσης ως προς το ρίσκο ανάλογων Οργανισμών σε άλλους βιομηχανικούς κλάδους. Ειδικότερα, αφορμή αποτέλεσε η μελέτη των E. Cha και B. Ellingwood για το ρόλο της αποστροφής ρίσκου κατά τη λήψη αποφάσεων που αφορούν την ασφάλεια των πυρηνικών εργοστασίων¹.

Αυτό που επιδιώχθηκε ήταν η εφαρμογή της παραπάνω μελέτης στον ναυτιλιακό κλάδο και ιδιαίτερα στη διακίνηση πετρελαίου μέσω πλοίων τύπου tanker. Με δεδομένη την επιλογή του αντικειμένου προς μελέτη πρώτο στάδιο αποτελούσε η εξεύρεση της κατάλληλης βάσης δεδομένων στην οποία θα εφαρμοζόταν η μεθοδολογία που αναλύεται παρακάτω. Ως πηγή για τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκε το διεθνές ταμείο αποζημίωσης για περιστατικά ρύπανσης από κηλίδες (IOPCF), το οποίο έχει συμμετάσχει συνολικά σε 146 τέτοια περιστατικά, που έλαβαν χώρα σε κράτη μέλη του.

Στη συνέχεια, βάσει των επίσημων αξιολογήσεων ασφάλειας (FSA) που έχει εκδώσει ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός επιλέχθηκαν τα μέτρα περιορισμού του ρίσκου για τα οποία μελετήθηκε το είδος της διάθεσης ως προς το ρίσκο. Η μελέτη εκτός από τις τιμές για το συνολικό κόστος που αναφέρονται στο IOPCF, έγινε επιπλέον και για τις τιμές που υπολογίστηκαν βάσει του τύπου που αναφέρεται στις ανανεωμένες οδηγίες που έχει εκδώσει ο ΙΜΟ για το εκτιμώμενο συνολικό κόστος.

Την εισαγωγή ακολουθεί η βιβλιογραφική επισκόπηση, στην οποία παρουσιάζονται οι πηγές από τις οποίες αντλήθηκαν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με θέμα της διπλωματικής εργασίας. Επίσης, πραγματοποιείται μια πρώτη επαφή με τις έννοιες του ολικού κόστους των κηλίδων, της αποστροφής και αποδοχής προς το ρίσκο.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αρχικά γίνεται μια γενική περιγραφή του κλάδου εμπορίας πετρελαιοειδών, μια εισαγωγή στα προϊόντα του πετρελαίου και στον τρόπο που εξαπλώνονται στο περιβάλλον καθώς και μια παρουσίαση των πηγών εισόδου του πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ισχύουσα νομοθεσία στην Ελλάδα αλλά και σε διεθνές επίπεδο.

¹ E.J. Cha, B.R. Ellingwood, "The role of risk aversion in nuclear plant safety decisions"

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται εκτενέστερη αναφορά στη βάση δεδομένων και παρουσίαση του διεθνούς ταμείου αποζημίωσης για περιστατικά ρύπανσης από κηλίδες (IOPCF), του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) και των επίσημων αξιολογήσεων του ασφαλείας (FSA),

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται το μοντέλο εκτίμησης της διάθεσης ως προς το ρίσκο, από το άρθρο των Cha και Ellingwood, πραγματοποιείται η εφαρμογή του στη βάση δεδομένων και παρουσιάζονται η διαδικασία που ακολουθήθηκε καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα παραπάνω αποτελέσματα.

Τέλος, ακολουθεί το σύνολο της βιβλιογραφίας όλων των πηγών που χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Κεφάλαιο 1^ο :

Βιβλιογραφική Επισκόπηση

1.1 Το συνολικό κόστος μιας πετρελαιοκηλίδας

Το συνολικό κόστος μια πετρελαιοκηλίδας ως έννοια έχει αποτελέσει αντικείμενο εκτεταμένης μελέτης λόγω της πολυπλοκότητας στον υπολογισμό του. Υπάρχει πλήθος σύνθετων παραγόντων που το διαμορφώνουν και μεταβάλλεται ανάλογα με το βαθμό και τον τρόπο που επηρεάζει το περιβάλλον και τους ανθρώπους γύρω του. Κάθε περιστατικό πετρελαϊκής ρύπανσης είναι μοναδικό και αντιμετωπίζεται με ποικίλους τρόπους λόγω των ξεχωριστών χαρακτηριστικών του αλλά και των συνθηκών κάτω από τις οποίες συμβαίνει.

Το συνολικό κόστος ως ποσό, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Ναυτιλιακής Ασφάλειας περιλαμβάνει το κόστος καθαρισμού και αποκατάστασης του περιβάλλοντος (Cleanup Cost), το οποίο αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του και επιβαρύνει κατά κύριο λόγο την αυτοδιοίκηση της περιοχής στην οποία έλαβε χώρα το περιστατικό. Επιπρόσθετα στο συνολικό κόστος συνυπολογίζονται, σε μικρότερο βαθμό, τα έσοδα λόγω μείωσης του τουρισμού και της αλιείας καθώς και οι υλικές ζημιές που πιθανόν να έχουν προκληθεί.

Μια από τις σημαντικότερες μελέτες για τους βασικότερους παράγοντες που διαμορφώνουν το συνολικό κόστος έχει πραγματοποιηθεί από την D.S Etkin, η οποία έχει εκδώσει πληθώρα άρθρων σχετικά με το συνολικό κόστος και τον τρόπο υπολογισμού του. Σύμφωνα με την Etkin οι παράγοντες που επηρεάζουν το συνολικό κόστος είναι οι εξής²:

1. Η τοποθεσία και η χρονική στιγμή κατά την οποία συνέβη το περιστατικό

Όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται στη μελέτη της, οι περισσότεροι ειδικοί συγκλίνουν στο ότι ο βασικότερος παράγοντας που καθορίζει το κόστος καθαρισμού και κατ' επέκταση το συνολικό κόστος είναι η τοποθεσία. Ακόμα και για ένα πολύ μικρό περιστατικό διαρροής σε «ακατάλληλη» περιοχή ή χρονική στιγμή, για παράδειγμα κοντά σε ιχθυοκαλλιέργειες ή κοντά σε ακτή κατά την τουριστική περίοδο, τα κόστη που θα προκύψουν θα είναι πολύ μεγάλα. Στην παραπάνω κατηγορία ανήκουν όλα τα περιστατικά που συμβαίνουν στα λιμάνια. Αντιθέτως ένα συμβάν κηλίδας μεγάλου όγκου μακριά από την ακτή σε περιοχή με έντονους, πιθανότητα θα διαλυθεί μόνο του έχοντας έτσι πολύ μικρότερα κόστη καθαρισμού. Η παραπάνω διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι οι οικονομικές συνέπειες που επιφέρουν οι πετρελαιοκηλίδες στις ακτές καθώς και οι απαιτήσεις καθαρισμού τους είναι πολύ υψηλότερες. Επίσης σε μια απομακρυσμένη περιοχή

² Etkin D.S., "Cleanup Costs for Oil Spills in Ports"

όπου θα χρειαστεί να έρθει ο εξοπλισμός από μακριά το κόστος είναι σημαντικά μεγαλύτερο. Σημαντική παράμετρο σχετικά με τον παράγοντα τοποθεσία αποτελεί και τοπική αντίληψη στο μέρος που συνέβη το περιστατικό. Όπως παρουσιάζεται και σε ανάλογη μελέτη της Etkin³, το κόστος ανά τόνο σε διαρροές διαφέρει σημαντικά από σε κάθε κράτος. Για παράδειγμα, στις Ηνωμένες Πολιτείες οι αποζημιώσεις είναι αισθητά μεγαλύτερες από ότι σε αντίστοιχα περιστατικά σε άλλα κράτη.

2. Το μέγεθος της κηλίδας

Όπως είναι αναμενόμενο το μέγεθος της κηλίδας επηρεάζει σημαντικά το συνολικό κόστος δεδομένου, ότι όσο μεγαλύτερη είναι τόσο περισσότερη ποσότητα πετρελαίου πρέπει να απομακρυνθεί, άρα τόσο περισσότερο χρονοβόρα και ακριβή είναι η διαδικασία καθαρισμού της.

Αυτό που θα μπορούσε να προκαλέσει εντύπωση είναι πως ανά μονάδα τόνου το κόστος καθαρισμού είναι πολύ μεγαλύτερο για μικρές διαρροές σε σχέση με τις μεγαλύτερες διαρροές. Ωστόσο, εξήγηση της παραπάνω παρατήρησης αποτελεί το γεγονός πως μια μικρή κηλίδα απαιτεί το ίδιο ποσοστό επίβλεψης και προσωπικού με μια πολλαπλάσια σε όγκο.

Το ανθρώπινο δυναμικό και ο μηχανικός εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί είναι συγκεκριμένος ακόμα και για μικρές κηλίδες.

3. Οι καιρικές συνθήκες κατά τις εργασίες καθαρισμού

Οι έντονες καιρικές συνθήκες, όπως κακοκαιρία και ισχυροί άνεμοι μπορούν να δυσκολέψουν το έργο του προσωπικού και των μηχανημάτων. Επίσης μπορούν να συμβάλουν στην ταχύτερη εξάπλωση της κηλίδας. Όλα τα παραπάνω είναι λόγοι αύξησης του κόστους καθαρισμού. Αντιθέτως σε περιοχές όπου οι καιρικές συνθήκες ευνοούν το έργο του προσωπικού, η διαδικασία καθαρισμού χρειάζεται λιγότερο χρόνο και κατά συνέπεια απαιτεί μικρότερο κόστος.

4. Οι αποφάσεις των αρμοδίων φορέων

Η ταχύτητα στη λήψη αποφάσεων και η έγκαιρη κινητοποίηση μπορούν να παίξουν σημαντικό στη διαμόρφωση του κόστους καθαρισμού και κατ' επέκταση στο συνολικό. Η άμεση αντίδραση θα συμβάλει στον περιορισμό της εξάπλωσης της κηλίδας. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρει και ο Y. Yamada⁴ σε μελέτη του

³ Etkin D.S., " Worldwide Analysis of Marine Oil Spill Cleanup Cost Factors"

⁴ Yamada Y., "The Cost of Oil Spill from Tankers in Relation to Weight of Spilled Oil"

σχετικά με το κόστος καθαρισμού, η απομάκρυνση του πετρελαίου, που διέρρευσε πριν φτάσει στην ακτή έχει πολύ σημαντικές επιδράσεις στη μείωση του κόστους.

5. Το είδος του ατυχήματος

Το είδος ατυχήματος μπορεί να ποικίλει με βασικότερες αίτιες του την προσάραξη, τη σύγκρουση, την επαφή με άλλο επιπλέον αντικείμενο, τη βύθιση, την αποκόλληση μέρους του πλοίου, τη φωτιά, την κακή διαχείριση του φορτίου κ.α.

Η σημασία της παραπάνω μεταβλητής έχει τονιστεί σε αρκετές μελέτες. Χαρακτηριστικά επισημαίνεται το άρθρο των Νικόλαου Π. Βεντίκου, Χαρίλαου Ψαραύτη και Χρήστου Κοντόβα με τίτλο “ An empirical analysis of IOPCF oil spill cost data” καθώς και το άρθρο του Υ. Yamada που αναφέρθηκε προηγουμένως.

Στη στατιστική ανάλυση που επιχειρεί ο Yamada γίνεται σαφές πως τις πιο συχνές κατηγορίες ατυχημάτων αποτελούν η προσάραξη και η σύγκρουση, με τις περιπτώσεις διαρροής πετρελαίου (είτε εσκεμμένως είτε λόγω κακού χειρισμού του φορτίου) να ακολουθούν. Τελευταίες είναι οι περιπτώσεις βύθισης.

Το είδος του ατυχήματος επηρεάζει αρκετούς ακόμα παράγοντες. Πρώτο και βασικότερο, το παράγοντας της απόστασης από την ακτή. Ένα ατύχημα προσάραξης θα συνήθως έχει διαφορετική απόσταση από την ακτή από ότι ένα ατύχημα που συμβαίνει εντός λιμένα. Ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει είναι το μέγεθος της κηλίδας. Όπως είναι λογικό, ένα ατύχημα βύθισης θα προκαλέσει κηλίδα μεγαλύτερης τάξης μεγέθους από ότι ένα ατύχημα από κακό χειρισμό του φορτίου εντός του λιμένα.

6. Το είδος του πετρελαιοειδούς που προκαλεί την κηλίδα

Το είδος του πετρελαιοειδούς είναι ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας. Βαριά προϊόντα πετρελαίου με μεγάλο ιξώδες τείνουν να έχουν μεγαλύτερο εύρος μόλυνσης. Η σύνθεση και οι φυσικές ιδιότητες του πετρελαίου επηρεάζουν το βαθμό με τον οποίο εξατμίζεται και διαλύεται και καθορίζουν την ευκολία με την οποία καθαρίζεται. Τα ελαφρύτερα κράματα καθαρίζονται και εξατμίζονται πολύ πιο εύκολα εκτός από τις περιπτώσεις στις οποίες σχηματίζουν γαλακτώματα με το νερό. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι για τα περισσότερα ατυχήματα δεν υπάρχουν επαρκείς πληροφορίες σχετικά το είδος του πετρελαίου που διέρρευσε.

Εκτός από τους παραπάνω λόγους που αναφέρονται στο άρθρο της Etkin, σημαντικό ρόλο στην αύξηση του κόστους μπορεί να προκαλεί ο αντίκτυπος που θα έχει το ατύχημα στην τοπική και ενδεχομένως στη διεθνή οικονομία. Η αλιεία, οι περιουσίες ιδιωτών και ο τουρισμός επηρεάζονται αρνητικά από ένα τέτοιο

περιστατικό. Μπορεί να επηρεαστεί άσχημα και η τοπική γεωργία ή βιομηχανία αλλά σε μικρότερο βαθμό.⁵

Το κοινωνικό και οικονομικό κόστος που αναλογεί στην αλιεία πηγάει ιδίως από τρεις πρωταρχικούς της τομείς: το ψάρεμα στα ανοιχτά της θάλασσας, το ψάρεμα οστρακοειδών και την καλλιέργεια στρειδιών από τα οποία προκύπτουν τα μαργαριτάρια. Το κόστος που ανακύπτει από την τελευταία κατηγορία περικλείει ποικίλες συνιστάμενες. Οι συνιστάμενες αυτές είναι: η αξία των στρειδιών που αλλοιώθηκαν από την πετρελαιοκηλίδα, το κόστος μεταφοράς των στρειδιών που δεν έχουν μολυνθεί σε υγιές περιβάλλον, το επιπρόσθετο κόστος καθαρισμού στις περιοχές αναπαραγωγής τους από τους ειδικούς (η απομάκρυνση των πετρελαιοειδών από την κάθε ηγεσία δεν είναι αρκετή) και η αξία των στρειδιών που θα είχαν παραχθεί εφόσον δεν είχε συμβεί το ατύχημα. Το ψάρεμα των οστρακοειδών συνιστά ένα πολύ μεγάλο τμήμα του εισοδήματος των ψαράδων.⁶

Η αξία ορισμένων οστρακοειδών, όπως ο αστακός, είναι αρκετά μεγάλη, όπως και η ζήτηση τους από εστιατόρια και ιδιώτες αγοραστές. Οι ψαράδες μπορούν να τα συντηρήσουν σε ειδικούς αποθηκευτικούς χώρους, για να τα πουλάνε όλο τη χρονιά, αποκτώντας επομένως μια σταθερή και σημαντική πηγή εισοδήματος για εκείνους.⁷ Στην περίπτωση της ύπαρξης μιας πετρελαιοκηλίδας στην περιοχή, το εισόδημα από το ψάρεμα οστρακοειδών γνωρίζει κατακόρυφη πτώση αφού η ζήτηση και η εύρεσή τους είναι μικρή εξαιτίας της ρύπανσης και αρκετά δυσχερής αντίστοιχα. Ανάλογη είναι η κατάσταση που κυριαρχεί και στο ψάρεμα στα ανοιχτά της θάλασσας. Ο αριθμός των ψαριών που πιάνονται στα δίχτυα από τους τοπικούς ψαράδες είναι αισθητά μειωμένος και, παράλληλα, με την ποιότητά τους να κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα εξαιτίας της ρύπανσης.⁸

Άρα, η μειωμένη αξία των ψαριών και το μικρό βάρος της συνολικής ψαριάς, όσον αφορά προγενέστερα χρονικά διαστήματα, σε συνάρτηση με τα καύσιμα που καταναλώθηκαν από τις ψαρόβαρκες (με βάση την ιπποδύναμή τους και τις αποστάσεις

⁵ Information Services (2010). "Data & Statistics: Accidental Marine oil Spillages Since 1970". International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF). Retrieved 18 May 2010.

⁶ M.Shahriari, A.Frost, "Oil spill cleanup cost – Developing a mathematical model for marine environment", Gothenburg, Sweden

⁷ Irwin R.J., Environmental contaminants encyclopedia total petroleum hydrocarbons (TPH) Entry, National park service water resources divisions, Water Operations Branch, 1201 Oakridge Drive, Suite 250 Fort Collins, Colorado 80525, 1997

⁸ Etkin D.S. (2000), "Worldwide Analysis of Marine Oil Spill Cleanup Cost Factors", Presented at: Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar (June 2000).

που διάνυσαν), συγκροτούν τις ζημιές που υπόκειται η αλιεία στα ανοιχτά της θάλασσας κοντά στην περιοχή της κηλίδας.⁹

Με βάση έρευνες των Υπουργείων Γεωργίας διαφόρων κρατών, εμφανίζονται περιορισμένες ως και σημαντικές αρκετές φορές ζημιές και στη συγκομιδή, η οποία προέρχεται από καλλιεργήσιμες εκτάσεις που βρίσκονται πλησίον της τοποθεσίας της κηλίδας.¹⁰

Αυτό, οφείλεται στο ότι μεταφέρονται δια των μορίων νερού που είναι στην ατμόσφαιρα και σωματίδια πετρελαιοειδών από την περιοχή της ρύπανσης. Ο αέρας, η υγρασία και η πάχνη (που παρατηρείται συνήθως κατά τις πρωινές ώρες) επιταχύνουν το φαινόμενο της ρύπανσης των γειτονικών γεωργικών προϊόντων που καλλιεργούνται. Συνήθως τη ρύπανση αυτή τη συναντάμε πολύ στα πράσινα φύλλα των λαχανικών. Επιπροσθέτως παρατηρείται καταστροφή της συγκομιδής εξαιτίας διαρκούς μετακίνησης μηχανημάτων και εξοπλισμού στον τόπο της κηλίδας.

Για λόγους προστασίας της υγείας του ανθρώπου, τα μολυσμένα αυτά προϊόντα καταστρέφονται και σύμφωνα με το μέγεθος από την καταστροφή αυτή, καθορίζεται και το ανάλογο κόστος. Το επόμενο θέμα που καλούμαστε να εξετάσουμε, είναι η επίδραση της πετρελαιοκηλίδας στον τουρισμό και ευρύτερα στην τουριστική βιομηχανία. Όταν λέμε τουριστική βιομηχανία, εννοούμε τις ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις, τους χώρους φιλοξενίας, τους τόπους διαμονής (όπως χώροι κατασκηνώσεων) και όλες τις εγκαταστάσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται από τους τουρίστες αλλά και από τον εγχώριο πληθυσμό στα πλαίσια διακοπών, διασκέδασης και ψυχαγωγίας. Πρώτιστο ζήτημα που θα εξετάσουμε είναι η μείωση της τουριστικής κίνησης και της ποιότητάς της, στην περιοχή, εξαιτίας της κακής δημοσιότητας που δίχως αμφιβολία έχει ένα τέτοιο περιστατικό. Με βάση έρευνες, η αξιολόγηση του κόστους της τουριστικής κίνησης, ανακλύπει αφενός από τους τουρίστες που είχαν σχεδιάσει να επισκεφτούν την περιοχή που επλήγη και εν τέλει δεν το έκαναν και αφετέρου από τους τουρίστες αυτούς που επισκέφτηκαν την περιοχή αλλά περιόρισαν τις δραστηριότητές τους. Η εκτίμηση της μείωσης του αριθμού των τουριστών που δεν επισκέφτηκαν την περιοχή είναι ένα πολύ δυσχερές θέμα αφού τα στοιχεία που μπορούν να συγκεντρωθούν είναι είτε ημιτελείς, είτε ανεπαρκείς στις περισσότερες περιπτώσεις. Σε αυτό δεν βοηθά επίσης και το ότι η μείωση των τουριστών μπορεί να μην οφείλεται μόνο στην πετρελαιοκηλίδα, με πιθανότητα η εκτίμηση που γίνεται να μην είναι αρκετά ακριβής.¹¹

⁹ Wang, Z., M. Fingas, and D.S. Page. 1999. Oil spill identification. *Journal of Chromatography A*. 843

¹⁰ . Ko, S. H., and Lebeault J. M., Effect of a mixed culture on co-oxidation during the degradation of saturated hydrocarbon mixture., *J. Appl. Microbiol.*, 87, 72 -79, 1999

¹¹ Baehr A., and Corapcioglu Y., A Compositional Multi-Phase Model for Ground Water Contamination by Petroleum Products - II. Numerical Solution., *Water Resour. Res.* 23, 201-243, 1987

Η τουριστική βιομηχανία επηρεάζεται άμεσα από τον αριθμό και την ποιότητα της τουριστικής προέλευσης, αφού αμείβεται για την παροχή κάθε μορφής υπηρεσιών προς το αγοραστικό κοινό, το οποίο είναι, κατά την πλειοψηφία του, τουρίστες. Όταν λέμε παροχή υπηρεσιών, εννοούμε την παροχή χώρου διαμονής, σίτισης, διασκέδασης και τοπικής μεταφοράς των τουριστών ιδίως με αντάλλαγμα οικονομικά οφέλη. Επομένως η μείωση της ζήτησης επιφέρει και μη αξιοποίηση των υπηρεσιών που μπορούν να προσφερθούν, το οποίο μεταφράζεται σε οικονομικό κόστος.¹²

Επιπροσθέτως, εξαιτίας της γενικής υπολειτουργίας και μειωμένης κίνησης, σημειώνεται συχνά και αύξηση της ανεργίας στη συγκεκριμένη περιοχή επηρεάζοντας άσχημα το κλίμα της οικονομίας. Στο αρνητικό κλίμα προστίθεται το γεγονός ότι και αρκετοί ντόπιοι επαγγελματίες υποχρεώνονται να αλλάξουν ορισμένα είδη παροχής υπηρεσιών ως προς την ψυχαγωγία των τουριστών (όπως ενοικιάσεις καταδυτικού εξοπλισμού, θαλάσσια σπορ), αφού η ζήτηση είναι ελάχιστη εξαιτίας της πετρελαϊκής μόλυνσης. Επιπροσθέτως, σύμφωνα με τις νομικές διατάξεις της κάθε κράτους, είναι απαραίτητη και η επιβολή αποζημιώσεων σε κοινωνικές ομάδες, οι οποίες επλήγησαν από τις κακές επιπτώσεις της πετρελαιοκηλίδας. Οι ομάδες αυτές απαρτίζονται από τους επαγγελματίες που υπέστησαν μεγάλες ζημιές εξαιτίας της ρύπανσης (τοπικοί ψαράδες, αγρότες, ιδιοκτήτες ξενοδοχειακών μονάδων, εστιατορίων κ.ά) και από τους ντόπιους κάτοικους εξαιτίας της ζημιάς της ιδιωτικής τους περιουσίας (όπως σκαφών) από το πετρέλαιο και πιθανών και της υγείας τους.¹³

Ακόμη, μια εμφάνιση κηλίδας σε μεγάλα λιμάνια μπορεί να έχει σοβαρή επίπτωση στην οικονομία της χώρας αφού πιθανόν να πρέπει να κλείσει η εμπορική λειτουργία του λιμανιού για όσο χρονικό διάστημα κριθεί απαραίτητο. Ένα τέτοιο λιμάνι παραδείγματος χάριν είναι το San Francisco Bay. Νέες έρευνες έδειξαν πως η εμφάνιση ακόμη και μιας μικρής κηλίδας πετρελαίου της τάξεως 25.000 U.S gallons HFO (όπου ισούνται με 100 τόνους HFO σχεδόν), μπορεί κατά 97- 100% να αποφέρει ζημιές σε όλους τους μεγάλους κοινωνικούς και οικονομικούς τομείς όπως στις διάφορες εγκαταστάσεις του λιμανιού, στους ψαράδες (π.χ αποβάθρες, εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού), στα πάρκα που είναι πάνω στις ακτές, όπως αυτό του Mt. Tamalpais State Park Sausalito, στα καράβια και στα σκάφη που είναι στο λιμάνι. Εάν η κηλίδα είναι πολύ πιο μεγάλη, της τάξεως των 3.000.000 U.S gallons Crude oil (όπου ισούνται με 11.000 tons περίπου) υφίσταται μεγάλο ενδεχόμενο να εξαπλωθεί και σε άλλα λιμάνια και ακτές που είναι σε ακτίνα 50-60 χιλιομέτρων. Το εκτιμώμενο κοινωνικό

¹² NOAA (2008). Introduction to Environmental Sensitivity Index maps. NOAA Technical Manual. Seattle: Hazardous Response and Assessment Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 56p.

¹³ Weisman W., Analysis of Petroleum Hydrocarbons in environmental media, Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group Series, Vol. 1, Amherst Scientific Press Amherst, MA, 1998

και οικονομικό κόστος κυμαίνεται από \$20 εκατομμύρια έως \$195 εκατομμύρια U.S dollars σύμφωνα με το μέγεθος του oil spill και το είδος του πετρελαιοειδούς.¹⁴

Το πιο μεγάλο άμεσα κοινωνικό και οικονομικό κόστος για την περιοχή του San Francisco Bay προέρχεται από όλους αυτούς τους κλάδους που είναι συνδεδεμένοι με τον τουρισμό. Τα ποσά που θα ξοδεύονταν από τους τουρίστες σε συνδυασμό με την αυξημένη κίνηση της αγοράς από παροχές υπηρεσιών που θα τους παρέχονταν από τους ντόπιους εκτιμώνται σε \$27 εκατομμύρια U.S dollars καθημερινά. Άλλος ένας ενδεχόμενος τερματισμός των εργασιών του λιμανιού ανέρχεται σε \$3 εκατομμύρια U.S dollars καθημερινώς. Οι οικονομικές επιρροές που υπόκεινται το εμπόριο ψαρέματος, οι ζημιές σε σκάφη και σε εξοπλισμό είναι μέσα σε ένα εύρος των \$1 εκατομμυρίου έως \$21 εκατομμυρίων U.S dollars, σύμφωνα με το μέγεθος των επιπτώσεων.¹⁵

Από την άλλη μεριά του νομίσματος, οι συνέπειες μιας πετρελαιοκηλίδας ως προς την τουριστική βιομηχανία, περιέργως, δεν είναι όλες αρνητικές. Από την ώρα που λαμβάνει χώρα το αυτό το γεγονός όπως και για πολλούς μήνες μετά παρουσιάζεται αξιοσημείωτη προσέλευση πληθυσμού στην πληγείσα περιοχή. Αυτό οφείλεται στους εκατοντάδες ανθρώπους περιβαλλοντικών φορέων, δεκάδες ερευνητές, εκατοντάδες (αν όχι χιλιάδες ίσως) εργατικό δυναμικό για τον καθαρισμό της κηλίδας που φθάνουν στην περιοχή. Τη διαβίωση όλων αυτών των χιλιάδων ανθρώπων καλείται να φροντίσει η τουριστική βιομηχανία, σημειώνοντας ανέλπιστα κέρδη και περιορίζοντας, ταυτόχρονα, το μέγεθος της οικονομικής ζημιάς που υπέστη.¹⁶

Με βάση την ποσότητα και το είδος του πετρελαίου που διέρρευσε στη θάλασσα, μπορούμε να ορίσουμε το κόστος του «χαμένου» φορτίου. Ειδικότερα, ανάλογα με την τιμή που έχει το πετρέλαιο στην παγκόσμια αγορά τη χρονική στιγμή που γίνεται το ατύχημα και γνωρίζοντας, παράλληλα, την ποσότητα που διέφυγε στη θάλασσα, εκτιμάμε τη χρηματική αξία του πετρελαίου που χάθηκε. Το εύρος του κόστους της αξίας αυτής ξεκινά από μερικές δεκάδες χιλιάδες ευρώ, μπορεί να ανέλθει στα €3 εκατομμύρια, ή και να τα υπερβεί, σε κάποιες σπάνιες περιστάσεις όπου η ποσότητα του πετρελαίου που εισέρρευσε στη θάλασσα είναι αφύσικα μεγάλη (της τάξης των 100.000 τόνων και άνω).¹⁷

¹⁴ ITOPI, (2002), Technical Information Paper: "FATE OF MARINE OIL SPILLS".

¹⁵ Gustafson, J.B, Tell J.G., Orem D., Selection of Representative TPH Fractions Based on Fate and Transport Considerations, Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group, Vol. 3, Amherst Scientific Press, Amherst, MA.,1997

¹⁶ Panetta, L. E. (Chair) (2003). America's living oceans: charting a course for sea change [Electronic Version, CD] Pew Oceans Commission.

¹⁷ Tramier, B. (1987). A field guide to coastal oil spill control and clean-up techniques, Concawe report no 9/81.

1.2 Το ρίσκο και οι συμπεριφορές ως προς το κίνδυνο

Η έννοια του ρίσκου χαρακτηρίζεται από τις δυνητικές απώλειες¹⁸. Η ποσοτικοποίησή του, πραγματοποιείται μέσα από την αξιολόγηση των αντίστοιχων πιθανοτήτων και των συνεπειών των πιθανών σεναρίων κινδύνου. Στις περισσότερες περιπτώσεις το ρίσκο υπολογίζεται από την αναμενόμενη τιμή μια συνέπειας και κατά τη διαδικασία λήψης απόφασης συγκρίνεται με διαφορετικά επικίνδυνα γεγονότα. Σε μια ανάλυση κόστους-οφέλους στον κλασικό κύκλο ζωής, οι συνέπειες καταστροφικών γεγονότων εκφράζονται σε όρους χρηματικών μονάδων και το αναμενόμενο κόστος της καταστροφής χρησιμοποιείται για να εκφράσει το βαθμό σοβαρότητας του ρίσκου. Ωστόσο, μια απλή εκτίμηση της χρηματικής αξίας μια συνέπειας δεν αποκαλύπτει πως αντιλαμβάνεται το ρίσκο ο υπεύθυνος για τη λήψη μιας απόφασης. Τα τελευταία χρόνια πραγματοποιήθηκε μια συστηματική προσπάθεια σύνδεσης της συμπεριφορικής προσέγγισης προς στο ρίσκο με τη διαδικασία λήψης αποφάσεων από τις οικονομικές και κοινωνικές επιστήμες. Η παραπάνω προσπάθεια οδήγησε σε ένα πλήθος θεωριών με πιο πρόσφατη την Αθροιστική Θεωρία Προοπτικής (Cumulative Prospect Theory).

Η Αθροιστική Θεωρία Προοπτικής ουσιαστικά πρόκειται για μια εξέλιξη της Θεωρίας Προοπτικής που παρουσίασαν το 1979 οι ψυχολόγοι Kahneman D. και Tversky A. στο περιοδικό *Econometrica* στο άρθρο τους με τίτλο “Prospect Theory: An analysis of decision under risk”. Το συγκεκριμένο άρθρο είναι ένα από τα διασημότερα άρθρα στην ιστορία της οικονομικής επιστήμης. Ήταν τόσο σημαντική η αλλαγή που επέφερε στη μέχρι τότε θεώρηση για τις αποφάσεις υπό συνθήκες κινδύνου που στον Kahneman απονεμήθηκε το Νόμπελ Οικονομικών. Σύμφωνα με τη θεωρία προοπτικής: “τα άτομα τείνουν να υιοθετούν συντηρητικές πρακτικές αποφυγής ρίσκου όταν χειρίζονται καταστάσεις κερδοφορίας ενώ αντιθέτως σε περιπτώσεις απωλειών τείνουν να επιζητούν το ρίσκο”.

Επιπροσθέτως, όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται στο εν λόγω άρθρο, τα άτομα έχουν την τάση να αξιολογούν τα αποτελέσματα σε σχέση με τις αποκλίσεις από ένα σημείο αναφοράς παρά σε σχέση με το πραγματικό επίπεδο ευημερίας. Ουσιαστικά, μέσα από την παραπάνω φράση, τονίζεται πως τα άτομα αποδίδουν μια δική τους, αυθαίρετη και συναισθηματική, αξία στην διαδικασία του κερδίζω και του χάνω και δεν εστιάζουν ιδιαίτερα στο πόσα τελικά θα έχουν μετά το κέρδος ή την απώλεια.

Για να καταλήξουν στα παραπάνω συμπεράσματα οι δύο ερευνητές προχώρησαν σε μια σειρά από πειράματα με υποθετικές επιλογές και παρακάτω παρουσιάζονται μερικά από τα ευρήματά τους, στα οποία χρησιμοποιούνται για πρώτη φορά οι έννοιες της αποστροφής (risk aversion) και αποδοχής (risk acceptance):

¹⁸

Kaplan S. Garrick BJ. On the quantitative definition of risk.

- Οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται τα κέρδη με διαφορετικό τρόπο από τις ζημιές. Συγκεκριμένα δίνουν μεγαλύτερη σημασία στις δυνητικές απώλειες παρά στα συγκρινόμενα με αυτές κέρδη και εν γένει αποστρέφονται τον κίνδυνο σε καταστάσεις κερδοφορίας ενώ τον αποδέχονται όταν αφορά ζημιές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το πείραμά τους κατά το οποίο το 80% των ανθρώπων που συμμετείχαν προτίμησαν βέβαιο κέρδος 3.000\$ σε σχέση με την πιθανότητα 80% για κέρδη 4.000\$ και 20% για μηδενικά κέρδη. Αντιθέτως, το 92% των συμμετεχόντων, προτίμησαν 80% απώλειες 4.000\$ και 20% μηδενικών απωλειών έναντι βεβαίας απώλειας 3.000\$.
- Από τις έρευνες τους κατέληξαν στο συμπέρασμα πως τα άτομα αξιολογούν με μεγαλύτερο βάρος (overweight) αποτελέσματα τα οποία είναι βέβαια σε σύγκριση με απλώς πιθανά, φαινόμενο που ονομάστηκε certainty effect. Επιπρόσθετα, τείνουν να δίνουν περισσότερο βάρος σε ενδεχόμενα με μικρές πιθανότητες και λιγότερο σε ενδεχόμενα με μεγαλύτερες πιθανότητες. Για παράδειγμα, δραματικά γεγονότα που έρχονται εύκολα στο μυαλό, όπως εικόνες στην τηλεόραση με καταστροφές, θεωρούνται πιο πιθανά απ' όσο είναι στην πραγματικότητα.

Για να μπορέσουν να αναπαραστήσουν γραφικά τα παραπάνω ευρήματα αλλά και για να υπολογίσουν τη συνολική αξία ενός ενδεχομένου, οι Tversky και Kahneman χρησιμοποίησαν την παρακάτω μαθηματική εξίσωση:

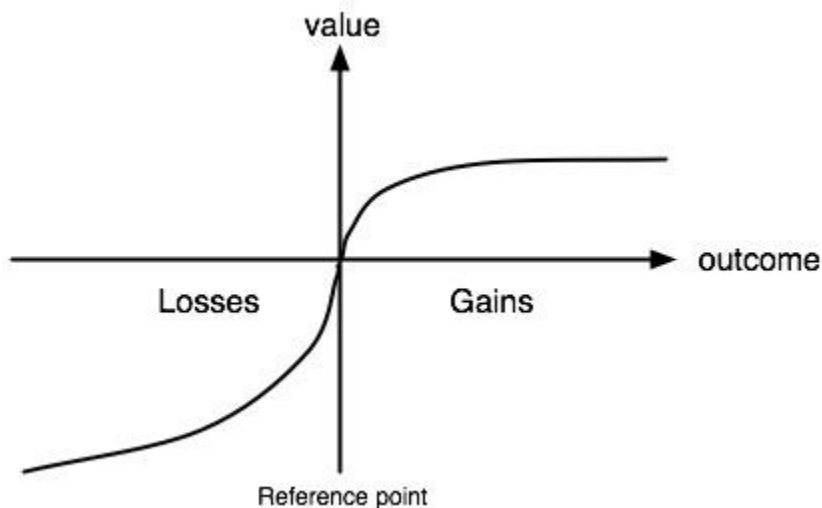
$$V = \sum w(pi) * v(xi)$$

όπου $w(0)=0$ και $w(1)=1$

και p είναι η πιθανότητα του ενδεχομένου x , $w(p)$ είναι η συνάρτηση βάρους (weighting function) και $v(x)$ είναι η συνάρτηση αξίας (value function).

Η γραφική αναπαράσταση της συνάρτησης αξίας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Σχήμα 1



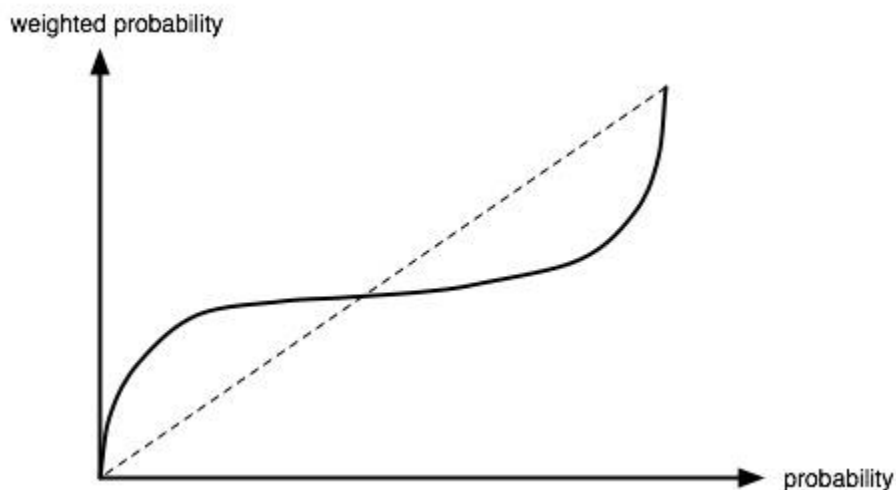
Πηγή:https://en.wikipedia.org/wiki/Cumulative_prospect_theory#/media/File:Valuefun.jpg

Από το Σχήμα 1 προκύπτουν τρία σημαντικά χαρακτηριστικά για συνάρτηση αξίας:

- 1) Μεταβάλλεται αν μεταβληθεί το σημείο αναφοράς.
- 2) Είναι κοίλη για κέρδη και κυρτή για απώλειες αντανakλώντας κατά αυτό τον τρόπο την αποστροφή ως προς τον κίνδυνο (risk aversion) στο τεταρτημόριο των κερδών και την αποδοχή του κινδύνου (risk acceptance) στο τεταρτημόριο των απωλειών.
- 3) Παρουσιάζει πιο απότομη κλίση στο τεταρτημόριο των απωλειών απ' ότι σε εκείνο για τα κέρδη, με αναλογία μάλιστα, όπως έχουν υπολογίσει οι Tversky και Kahneman, δύο προς ένα.

Αντίστοιχα, η γραφική αναπαράσταση για τη συνάρτηση βάρους παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα.

Σχήμα 1



Πηγή:https://en.wikipedia.org/wiki/Cumulative_prospect_theory#/media/File:Weightingfun.jpg

Από το Σχήμα 2 παρατηρούνται τα εξής χαρακτηριστικά για τη συνάρτηση βάρους:

- 1) Λόγω του γεγονότος ότι οι συμπεριφορές είναι εξαιρετικά απρόβλεπτες υπό συνθήκες πολύ μικρών ή πολύ μεγάλων πιθανοτήτων, η διακύμανση παρουσιάζεται ασταθής και σημαντικά μεταβαλλόμενη στις περιοχές κοντά στις τιμές μηδέν και ένα.
- 2) Για πολύ σπάνια περιστατικά με ολέθριες συνέπειες όμως, οι αντίστοιχες πιθανότητες παρουσιάζονται υπερτιμημένες (over-weighted) εν αντιθέσει με τα πιο συχνά αλλά λιγότερα σοβαρά περιστατικά, των οποίων οι πιθανότητες παρουσιάζονται υποτιμημένες (under-weighted).

Η διαφορά της Αθροιστικής Θεωρίας Προοπτικής με την αρχική θεωρία έγκειται στο γεγονός πως αντί για μια συνάρτηση βάρους, στην προκειμένη περίπτωση εισάγονται δύο. Μία για τις πιθανότητες που σχετίζονται με τις απώλειες και μια για τα κέρδη. Αντίστοιχα, ο υπολογισμός την συνολικής αξίας ενός ενδεχομένου δίνεται από την εξίσωση:

$$V = \sum_{i=1}^k w^-(p_i) * v(x_i) + \sum_{i=k+1}^n w^+(p_i) * v(x_i)$$

όπου w^- και w^+ είναι οι συναρτήσεις βάρους για τις απώλειες και για τα κέρδη αντιστοίχως.

Κεφάλαιο 2^ο :

Ο Κλάδος των Πετρελαίου και οι πηγές εισόδου του στο θαλάσσιο περιβάλλον

2.1 Εισαγωγή στην έννοια του Πετρελαίου και στα προϊόντα διύλισης του

Τα διάφορα προϊόντα του πετρελαίου παρέχουν περισσότερο από το 60% της συνολικής ενέργειας στον πλανήτη, χρησιμοποιούνται για την κίνηση των μέσων μεταφοράς, για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και για θέρμανση. Επίσης προϊόντα του πετρελαίου χρησιμοποιούνται ως λιπαντικά, διαλύτες, αδιάβροχα υλικά και αποτελούν τις πρώτες ύλες για την παραγωγή πλαστικών και άλλων ειδών προϊόντων τα οποία ονομάζονται γενικά πετροχημικά προϊόντα. Δεν θα ήταν υπερβολή λοιπόν να αναφερθεί ότι ο δυτικός τρόπος ζωής στηρίζεται στο πετρέλαιο και τα προϊόντα του.¹⁹

Το αργό πετρέλαιο, το αρχικό υλικό για όλα τα πετρελαιοειδή είναι ένα σκουρόχρωμο καφέ ή μαύρο εύφλεκτο υγρό και βρίσκεται σε φυσικές δεξαμενές κάτω από την επιφάνεια της γης. Αν και δεν έχει περιγραφεί πλήρως ο τρόπος δημιουργίας του αργού πετρελαίου στη φύση, εν τούτοις σε γενικές γραμμές γίνεται αναφορά ότι αυτό προέρχεται από θαλάσσια ζώα ή φυτά τα οποία εγκλωβίστηκαν κάτω από την επιφάνεια της γης σε συνθήκες εξαιρετικά υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Το αργό πετρέλαιο περιέχει κυριολεκτικά χιλιάδες ενώσεις που αποτελούνται από²⁰ :

1. Υδρογονάνθρακες (ενώσεις που περιέχουν μόνο άνθρακα και υδρογόνο)

Είναι το κυριότερο συστατικό του αργού πετρελαίου αλλά και των πετρελαιοειδών που προκύπτουν από τη διύλιση του. Οι υδρογονάνθρακες που απαντώνται στο πετρέλαιο είναι:

A) Αλκάνια (Παραφίνες)

i) *n*-αλκάνια

ii) Διακλαδισμένα αλκάνια

¹⁹ Matar, S and Hatch L. F.: Chemistry of petrochemical processes, 2nd Edition Houston, TX: Gulf Publishing Company, 2000

²⁰ King, R.W., Petroleum: Its Composition, Analysis and Processing in Occupational Medicine, edited by N.K.Weaver, Hanley & Belfes, Philadelphia, PA. 1988

iii) Κυκλοαλκάνια

B) Αρωματικές ενώσεις

i) Μονοαρωματικές ενώσεις

ii) Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ)

2. Ετεροκυκλικές ενώσεις

Στο μίγμα του πετρελαίου υπάρχουν σε μικρότερες συγκεντρώσεις και διάφορες κυκλικές ενώσεις, αρωματικές και μη που περιέχουν ετεροάτομα. Οι κυριότερες από αυτές είναι:

- Ενώσεις που περιέχουν θείο
- Ενώσεις που περιέχουν άζωτο
- Ενώσεις που περιέχουν οξυγόνο

3. Οργανομεταλλικές ενώσεις και ανόργανα άλατα

Στο αργό πετρέλαιο υπάρχουν σε μικροποσότητες και διάφορα μέταλλα, τα κυριότερα από τα οποία είναι²¹ : νάτριο, ασβέστιο, σίδηρος, μαγνήσιο, βανάδιο, νικέλιο. Τα μέταλλα αυτά μπορεί να εμφανίζονται υπό μορφή ανόργανων αλάτων όπως το χλωριούχο νάτριο ή μαγνήσιο, ή ως οργανομεταλλικές ενώσεις όπως είναι το νικέλιο και το βανάδιο στις πορφυρίνες. Το μαγνήσιο και το ασβέστιο μπορεί να αντιδράσουν με οργανικά οξέα και να σχηματίσουν άλατα ή σάπωνες. Τα προϊόντα αυτά δρουν ως γαλακτωματοποιητές, αλλά η παρουσία τους είναι ανεπιθύμητη. Παρόλο που οι συγκεντρώσεις των μετάλλων στο αργό πετρέλαιο είναι εξαιρετικά χαμηλές, εντούτοις η απομάκρυνση τους είναι απαραίτητη, αφού τα περισσότερα από αυτά μπορούν να δηλητηριάσουν διάφορους καταλύτες ή να σχηματίσουν διαβρωτικά προϊόντα κατά τη διύλιση του πετρελαίου.

Ωστόσο τα ποσοστά κάθε συστατικού του αργού πετρελαίου στο μίγμα του διαφέρουν πάρα πολύ ανάλογα με την περιοχή από την οποία προέρχεται . Το αργό πετρέλαιο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας ως καύσιμο εξαιτίας της πολύπλοκης σύστασης του, αλλά και της παρουσίας διάφορων προσμίξεων. Για το λόγο αυτό υφίσταται διαδικασίες διύλισης κατά τις οποίες το αρχικό μίγμα διαχωρίζεται σε απλούστερα κλάσματα με βάση το σημείο ζέσεως των ενώσεων που περιέχονται, τα οποία στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα, λιπαντικά και πρώτες ύλες στη βιομηχανία πετροχημικών προϊόντων. Κατά τη διάρκεια των διεργασιών διύλισης του πετρελαίου τα προϊόντα του εμπλουτίζονται με υδρογονάνθρακες, ενώ μειώνεται η περιεκτικότητά τους σε άλλες ενώσεις, όπως είναι τα ανόργανα συστατικά και οι οργανομεταλλικές ενώσεις.

²¹ King, R.W., Petroleum: Its Composition, Analysis and Processing in Occupational Medicine, edited by N.K.Weaver, Hanley & Belfes, Philadelphia, PA. 1988

2.1.1 Προϊόντα διύλισης του πετρελαίου

Τα προϊόντα του πετρελαίου αποτελούν είτε κλάσματα που προκύπτουν από τη διύλιση είτε μίγματα των κλασμάτων διύλισης από συνεχώς τροφοδοτούμενες ροές επεξεργασίας και είναι πολύπλοκα μίγματα εκατοντάδων ενώσεων τα οποία περιέχουν από χαμηλού μοριακού βάρους, πτητικούς, ευθείας ανθρακικής αλυσίδας έως μεγάλου μοριακού βάρους μη-πτητικούς, μεγάλης ανθρακικής αλυσίδας διακλαδισμένους υδρογονάνθρακες. Η ακριβής σύσταση των πετρελαιοειδών εξαρτάται από :

- α) την πηγή του αργού πετρελαίου και
- β) τις διαδικασίες διύλισης που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή τους.

Κατά τις διαδικασίες διύλισης το αργό πετρέλαιο διαχωρίζεται σε κλάσματα τα οποία έχουν παρόμοια σημεία ζέσεως. Στη συνέχεια τα κλάσματα αυτά τροποποιούνται με χρήση μεθόδων διάσπασης, συμπύκνωσης, πολυμερισμού και αλκυλίωσης προκειμένου να μετατραπούν σε εμπορικά προϊόντα.²² Η σύσταση του κάθε προϊόντος μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το διυλιστήριο, την εποχή του χρόνου, τους τροποποιητές ή τα ενισχυτικά που έχουν προστεθεί καθώς και άλλους παράγοντες. Εξαιτίας της ευρύτατης χρήσης των πετρελαιοειδών στην κοινωνία μας, υπάρχει η ανάγκη συγκεκριμένων προδιαγραφών του κάθε προϊόντος ανάλογα με τη χρήση του. Μάλιστα όσο πιο εξειδικευμένη είναι η χρήση, τόσο πιο λεπτομερής είναι και η λίστα προδιαγραφών για το συγκεκριμένο προϊόν.²³

Οι διαδικασίες διύλισης έχουν λοιπόν ως στόχο την παραγωγή προϊόντων που πληρούν κάποιες συγκεκριμένες προδιαγραφές, οι οποίες είναι μια λίστα απαιτήσεων καθώς και τα αποδεκτά τους όρια στα οποία θα πρέπει να ανταποκρίνεται το πετρελαιοειδές για τη συγκεκριμένη χρήση. Οι προδιαγραφές των προϊόντων του πετρελαίου έχουν ως γνώμονα την απόδοση και προέρχονται από δοκιμές που διαβεβαιώνουν πως το προϊόν που τις πληρεί μπορεί να ανταπεξέλθει στη συγκεκριμένη χρήση. Οι προδιαγραφές είναι πιθανόν να αλλάξουν κατά περιόδους με βάση νομοθετικές πιέσεις, απαιτήσεις των κατασκευαστών κινητήρων, καθώς και λόγω ευαισθησίας σε περιβαλλοντικά θέματα.²⁴

²² Baehr A., and Corapcioglu Y., A Compositional Multi-Phase Model for Ground Water Contamination by Petroleum Products - II. Numerical Solution., Water Resour. Res. 23, 201-243, 1987

²³ King, R.W., Petroleum: Its Composition, Analysis and Processing in Occupational Medicine, edited by N.K.Weaver, Hanley & Belfes, Philadelphia, PA. 1988

²⁴ Matar, S and Hatch L. F.: Chemistry of petrochemical processes, 2nd Edition Houston, TX: Gulf Publishing Company, 2000

2.1.2 Πετρελαιοειδή στο περιβάλλον

Το κυριότερο συστατικό του πετρελαίου και των προϊόντων που προέρχονται από αυτό, είναι όπως έχουμε αναφέρει οι υδρογονάνθρακες. Το ποσοστό των υδρογονανθράκων ποικίλει ανάλογα με το πετρελαιοειδές και μπορεί να φτάσει έως 98%. Για αυτό το λόγο στη συνέχεια κάθε αναφορά σε ρύπανση από πετρελαιοειδή θα εννοεί ρύπανση από πετρελαϊκούς υδρογονάνθρακες.

Οι υδρογονάνθρακες μπορούν να βρεθούν στο περιβάλλον από διάφορες πηγές. Σε αντίθεση με άλλες κατηγορίες ρυπαντικών ενώσεων όπως είναι για παράδειγμα τα εντομοκτόνα οι πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες δε χρησιμοποιούνται για κάποιο σκοπό στα εδάφη και η οποιαδήποτε ρύπανση από αυτούς είναι στην ουσία αποτέλεσμα ατυχήματος ή λανθασμένης χρήσης. Υψηλά ποσοστά υδρογονανθράκων μπορούν να βρεθούν σε:

α) Σταθμούς αποθήκευσης και πώλησης υγρών καυσίμων

Οι υδρογονάνθρακες που εμφανίζονται σε εδάφη κοντά σε σταθμούς αποθήκευσης και πώλησης υγρών καυσίμων που είτε έχουν σταματήσει να χρησιμοποιούνται, είτε συνεχίζουν να λειτουργούν είναι κυρίως χαμηλού μοριακού βάρους και προέρχονται από διαρροές βενζίνης και πετρελαίου κίνησης-θέρμανσης.

β) Σημεία ανεφοδιασμού ή λίπανσης

Τέτοια σημεία είναι για παράδειγμα τα αεροδρόμια στα σημεία ανεφοδιασμού των αεροπλάνων, όπου συναντώνται συνήθως χαμηλού και μέσου μοριακού βάρους υδρογονάνθρακες, καθώς και οι σιδηροδρομικοί σταθμοί στους οποίους εμφανίζονται υδρογονάνθρακες υψηλότερου μοριακού βάρους

γ) Ατυχήματα κατά τη μεταφορά καυσίμων

Η ρύπανση που οφείλεται σε ατυχήματα κατά τη μεταφορά καυσίμων επιβαρύνει το περιβάλλον με υδρογονάνθρακες χαμηλού μοριακού βάρους (ατύχημα κατά τη μεταφορά βενζίνης) ή μέσου μοριακού βάρους (ατύχημα κατά τη μεταφορά πετρελαίου).

δ) Διαρροές σε αγωγούς καυσίμων ή ατυχήματα κατά την μεταφορά αργού πετρελαίου

Η δεύτερη περίπτωση συνήθως επιβαρύνει το θαλάσσιο οικοσύστημα, ενώ η πρώτη τα εδάφη, με υδρογονάνθρακες όλων των μοριακών βαρών ιδιαίτερα όμως των μεγαλύτερου μοριακού βάρους ενώσεων.

ε) Σημεία αποθήκευσης αργού πετρελαίου και διυλιστήρια

Στα εδάφη σε περιοχές διυλιστηρίων συναντάται ρύπανση από υδρογονάνθρακες κυρίως των υψηλότερου μοριακού βάρους ενώσεων.

στ) Φυσικές πηγές

Αν και οι υδρογονάνθρακες στο έδαφος είναι κατά κύριο λόγο ανθρωπογενούς προέλευσης, εντούτοις υπάρχουν και περιπτώσεις κατά τις οποίες η ρύπανση του εδάφους με υδρογονάνθρακες προέρχεται από φυσικές πηγές. Τέτοιες περιπτώσεις είναι οι διαρροές από τις φυσικές δεξαμενές πετρελαίου, καθώς και η αποσύνθεση οργανικού υλικού. Επίσης υπάρχουν ενδείξεις για την ικανότητα κάποιων ανώτερων φυτών να συνθέτουν υδρογονάνθρακες, οι οποίοι μπορούν στη συνέχεια να μετακινηθούν προς το έδαφος. Η ρύπανση από αυτές τις πηγές αποτελείται από υψηλότερου μοριακού βάρους υδρογονάνθρακες, ωστόσο ιδιαίτερα οι δυο τελευταίες πηγές είναι δευτερεύουσας σημασίας και δε μπορούν στην ουσία να προκαλέσουν σημαντική ρύπανση του εδάφους.

Ο όρος PHC (Petroleum Hydrocarbons) χρησιμοποιείται στις ενώσεις που περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο και προέρχονται από το αργό πετρέλαιο. Ο όρος TPH (Total Petroleum Hydrocarbons) αναφέρεται στην ποσότητα υδρογονανθράκων που μπορεί να μετρηθεί σε ένα περιβαλλοντικό δείγμα με μία συγκεκριμένη μέθοδο ανάλυσης. Έτσι ενώ ο όρος PHC αναφέρεται σε ένα απόλυτο και μη καθορισμένο μέγεθος, ο όρος TPH παραπέμπει σε πραγματικά αποτελέσματα που προέρχονται από δειγματοληψία και ανάλυση. Για το λόγο αυτό όταν αναφέρεται ρύπανση από πετρελαιοειδή στο περιβάλλον και δεν ενδιαφέρει η παρουσία συγκεκριμένων ενώσεων στο δείγμα, χρησιμοποιείται ο όρος TPH προκειμένου να προσδιορισθεί το ποσοστό ρύπανσης από το μίγμα του εκάστοτε πετρελαιοειδούς.

Επισημαίνεται ότι ο όρος TPH αναφέρεται στη συνολική ποσότητα μιγμάτων υδρογονανθράκων σε ένα περιβαλλοντικό δείγμα, τα οποία αποτελούνται από μεγάλο αριθμό ενώσεων με διαφορετικές ιδιότητες μεταξύ τους.²⁵

2.1.3 Εξάπλωση της πετρελαιοκηλίδας

Η πρόβλεψη της πιθανής πορείας μιας πετρελαιοκηλίδας είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση της. Οι κυριότερες δυνάμεις που καθορίζουν πόσο γρήγορα θα απλωθεί το πετρέλαιο και προς ποια κατεύθυνση είναι δύο²⁶:

²⁵ American Petroleum Institute, Transport and Fate of Non-BTEX Petroleum Chemicals in Soils, and Groundwater, Health and Sciences Department, API Publication Number 4593, Washington, DC., 1994

²⁶ Panetta, L. E. (Chair) (2003). America's living oceans: charting a course for sea change [Electronic Version, CD] Pew Oceans Commission.

1. Η εξάπλωση του πετρελαίου.

Η εξάπλωση του πετρελαίου είναι μια από τις πιο σημαντικές διεργασίες που πραγματοποιούνται κατά τα πρώτα στάδια της πετρελαιορύπανσης. Στα πρώτα στάδια το πετρέλαιο εξαπλώνεται ως συνεχή και συνεκτική μάζα και ο ρυθμός εξάπλωσης εξαρτάται από το ιξώδες του. Πετρελαιοειδή υψηλού ιξώδους εξαπλώνονται αργά. Αυτά που χύνονται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες του σημείου ροής τους δεν εξαπλώνονται καθόλου. Η ταχύτητα της εξάπλωσης είναι πολύ υψηλή κατά τα πρώτα λεπτά της διαρροής του πετρελαίου και ελαττώνεται στην συνέχεια όσο το πάχος της κηλίδας γίνεται μικρότερο.

2. Οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν

Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την κίνηση της κηλίδας είναι ο άνεμος και το κάθε είδους ρεύματα περιλαμβανομένης και της παλίρροιας. Έτσι μια κηλίδα πετρελαίου θα κινηθεί σε μια συνισταμένη των διευθύνσεων του ρεύματος και του ανέμου. Άλλοι παράγοντες που επιδρούν είναι ο κυματισμός και η θερμοκρασία.

3. Γήρανση μιας πετρελαιοκηλίδας

Με τον όρο γήρανση ονομάζονται οι φυσικοχημικές αλλαγές τις οποίες υφίσταται η πετρελαιοκηλίδα και συμβαίνουν ταυτόχρονα. Η σπουδαιότητα, ωστόσο, τους είναι μεταβλητή.

4. Εξάτμιση

Ο ρυθμός και η ένταση της εξάτμισης προσδιορίζονται κυρίως από την πτητικότητα του πετρελαίου. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό του χαμηλού σημείου ζεύξεως των προϊόντων τόσο πιο έντονη είναι η εξάτμιση. Ταραγμένη θάλασσα, υψηλές ταχύτητες ανέμων και υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν το ρυθμό της εξάτμισης.

5. Διάχυση (Διασκορπισμός)

Κύματα και περιδινήσεις στην επιφάνεια της θάλασσας δρουν επί της κηλίδας και παράγουν σταγονίδια διαφόρων διαμέτρων ανάλογα με την διαθέσιμη ενέργεια. Μερικά σταγονίδια αιωρούνται ενώ οι μεγαλύτερες σταγόνες αναδύονται στην επιφάνεια κάπου πίσω από την κύρια μάζα της κηλίδας και είτε συσσωρεύονται με άλλες κηλίδες για να σχηματίσουν ξανά τμήμα της κηλίδας είτε διαχέονται σε πολύ λεπτό στρώμα. Ο ρυθμός διάχυσης εξαρτάται σημαντικά από την φύση του πετρελαίου και την κατάσταση της θάλασσας. Το πάχος της κηλίδας το οποίο εξαρτάται από την ποσότητα της ρύπανσης και το βαθμό εξάπλωσης, είναι ένας επίσης σημαντικός παράγοντας του ρυθμού διασκορπισμού καθότι μικρότερες σταγόνες δημιουργούνται από λεπτές κηλίδες.

6. Γαλακτωματοποίηση

Μερικά πετρελαιοειδή τείνουν να απορροφούν νερό και σχηματίζουν γαλακτώματα αυξάνοντας τον όγκο του ρυπαντή τρεις ή τέσσερις φορές. Τέτοια γαλακτώματα έχουν συνήθως το ρυθμό διασκορπισμού του ρυπαντή. Αυτός είναι ο κύριος λόγος για την εμμονή των ελαφρών και μέσων αργών πετρελαίων στην επιφάνεια της θάλασσας. Σε μέτριες ως άγριες θάλασσες τα περισσότερα πετρελαιοειδή σχηματίζουν γαλακτώματα. Απορρόφηση νερού συνήθως έχει σαν αποτέλεσμα την αλλαγή χρώματος από μαύρο σε καφέ, πορτοκαλί ή κίτρινο.

7. Διάλυση

Το πετρέλαιο είναι γενικά από ελάχιστα διαλυτό έως αδιάλυτο στο νερό. Μόνο ορισμένα ελαφρά κλάσματα παρουσιάζουν κάποια διαλυτότητα αλλά αυτά τείνουν να εξατμίζονται με πολύ ταχύτερους ρυθμούς.

8. Οξείδωση

Συνήθως η οξείδωση τείνει να δημιουργήσει ανθεκτικά συσσωματώματα πετρελαίου όπως είναι οι γνωστές μας πίσσες που αποτελούνται από έναν οξειδωμένο φλοιό σε στερεή ή ημιστερεή κατάσταση και ένα λιγότερο γηρασμένο εσωτερικό πυρήνα σε παχύρρευστη συνήθως μορφή.

9. Ιζηματοποίηση

Η βύθιση και καταβύθιση πετρελαιοειδών είναι σχετικά σπάνια γιατί το ειδικό βάρος του πετρελαίου δύσκολα πλησιάζει εκείνο του θαλασσινού νερού. Εντούτοις, σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρείται το φαινόμενο της βύθισης. Την καταβύθιση πετρελαίου μπορεί να προκαλέσει η ενσωμάτωση σε αυτό σωματιδίων ιζημάτων από το βυθό που αυξάνουν το ειδικό του βάρος. Σε κάθε περίπτωση η βύθιση πετρελαίου δυσκολεύει ή καθιστά αδύνατη την περισυλλογή του.

10. Διασπορά

Τουλάχιστον 90 είδη από θαλάσσιους μικροοργανισμούς και μύκητες είναι ικανά να βιοαποικοδομήσουν μερικά συστατικά του πετρελαίου. Την ικανότητα αυτή την έχουν και μερικά φύκι. Οι οργανισμοί αυτοί βρίσκονται κυρίως σε θαλάσσιες περιοχές όπου υπάρχει ρύπανση από πετρέλαιο. Η αποτελεσματικότητα των βακτηριδίων αυτών εξαρτάται από έναν αριθμό περιβαλλοντικών παραμέτρων. Από μερικά πειράματα συμπεραίνουμε ότι η βιοαποικοδόμηση είναι πολύ μικρή σε μικρές θερμοκρασίες. Η ποσότητα των οργανικών ουσιών στο θαλασσινό νερό, των θρεπτικών συστατικών των αιωρούμενων σωματιδίων και του διαλυμένου οξυγόνου παίζουν σημαντικό ρόλο στην βιοαποικοδόμηση. Οι ταχύτητες βιολογικής οξείδωσης στα βαθιά νερά των ωκεανών είναι πολύ μικρές, λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας της ανεπάρκειας οξυγόνου και της έλλειψης φωτός. Η μικροβιακή αποικοδόμηση των υδρογονανθράκων πετρελαίου είναι γρηγορότερη, όταν το πετρέλαιο είναι διασκορπισμένο με την μορφή σταγονιδίων στην υδάτινη μάζα παρά όταν επιπλέει στην επιφάνεια.

11. Καταβύθιση

Τα πισσώδη σφαιρίδια συχνά αποτελούν ζωή για ορισμένους θαλάσσιους οργανισμούς. Τα ασβεστούχα τμήματα των οργανισμών αυτών μπορούν να αυξήσουν το ειδικό βάρος των σφαιριδίων, τόσο ώστε να γίνει μεγαλύτερο από αυτό του θαλασσινού νερού, με αποτέλεσμα να καταβυθίζονται. Όταν χρησιμοποιούνται χημικά απορρυπαντικά για την καταπολέμηση της πετρελαιοκηλίδας τότε το πετρέλαιο εισχωρεί σε μεγάλο βαθμό ανάμεσα στους κόκκους των ιζημάτων. Εισχωρώντας βαθιά στο ίζημα, το πετρέλαιο παραμένει σταθερό εφ' όσον δεν έρχεται σε επαφή με το επιφανειακό στρώμα που περιέχει οξυγόνο. Τελικά παραμένει εκεί για εκατομμύρια χρόνια με τη μορφή απολιθωμάτων²⁷

²⁷

Panetta, L. E. (Chair) (2003). America's living oceans: charting a course for sea change

2.1.4 Πρόβλεψη διασποράς πετρελαιοκηλίδας

Ο σχεδιασμός επιχειρησιακών σχεδίων δράσης επιβάλλεται να περιλαμβάνει την εκτίμηση του μεγέθους της πετρελαιοκηλίδας. Αυτό επιτυγχάνεται τόσο με χρήση εναέριων και επίγειων μέσων παρατήρησης όσο και χρήση μαθηματικών μοντέλων προσομοίωσης για την πρόβλεψη περαιτέρω διασποράς. Αναλόγως των καιρικών συνθηκών η χρήση ελικοπτέρων είναι η πιο αποδοτική μέθοδος εντοπισμού και εκτίμησης του μεγέθους μιας πετρελαιοκηλίδας. Οι ιδιότητες αυτού του τύπου των ιπτάμενων μέσων επιτρέπει την επανάληψη των παρατηρήσεων στις κρίσιμες περιοχές. Τα πλωτά μέσα (πλοία και βάρκες) δεν προσφέρουν ικανοποιητική παρατήρηση, αλλά είναι οικονομικά στη χρήση και συνίστανται σε ορισμένες περιπτώσεις.

Το πετρέλαιο στο νερό εξαπλώνεται υπό την επίδραση της επιφανειακής τάσης και άλλων παραγόντων. Η εκτίμηση εξάπλωσης πετρελαιοκηλίδας του J.A.Fay προβλέπει ότι το πετρέλαιο, χωρίς την επίδραση εξωτερικών παραγόντων, απλώνεται στο νερό σε κύκλο και καλύπτει μια μέγιστη επιφάνεια A_{max} σύμφωνα με την εξίσωση:

$$A_{max} = \pi \times (R_{max})^2 = 10^4 \times (V)^{0.75} \text{ (m}^2\text{)}$$

V είναι ο όγκος του πετρελαίου που χύθηκε σε κυβικά μέτρα. Το μέσο πάχος του πετρελαϊκού φίλμ μετά τη μέγιστη εξάπλωση δίνεται από τον τύπο:

$$h = V/A$$

Η προσέγγιση αυτή έχει δώσει καλούς συσχετισμούς με αποτελέσματα δοκιμών. Η συμπεριφορά της πετρελαιοκηλίδας στο νερό, σε σχέση με την έκταση της εξάπλωσής της, μπορεί να προβλεφθεί με τη σωστή εφαρμογή ηλεκτρονικών μοντέλων πρόβλεψης.

2.1.5 Το φαινόμενο της πετρελαϊκής ρύπανσης

Η πετρελαϊκή ρύπανση στη θάλασσα προϋπήρχε της χρήσεως των πετρελαϊκών προϊόντων από τους ανθρώπους. Το πετρέλαιο, δηλαδή, εισερχόταν στο θαλάσσιο περιβάλλον από φυσικές υποβρύχιες αναβλύσεις, από τη φυσική αποδόμηση των φυτικών και ζωικών ειδών καθώς και από την κατακρήμνιση των ατμοσφαιρικών υδρογονανθράκων. Η βιολογική αποδόμηση της μεγαλύτερης ποσότητας αυτών των εισροών από τα θαλάσσια βακτήρια ελαχιστοποιούσε τις επιπτώσεις στο περιβάλλον. Ωστόσο, η χρήση και η αυξανόμενη ζήτηση του πετρελαίου τις τελευταίες δεκαετίες επέφερε ριζικές αλλαγές. Η παραγωγή του πετρελαίου αυξήθηκε απότομα και ταυτόχρονα αυξήθηκε δραματικά η εισαγωγή του στο θαλάσσιο οικοσύστημα.²⁸

http://www.allcountries.org/usensus/390_oil_spills_in_u_s_water.html

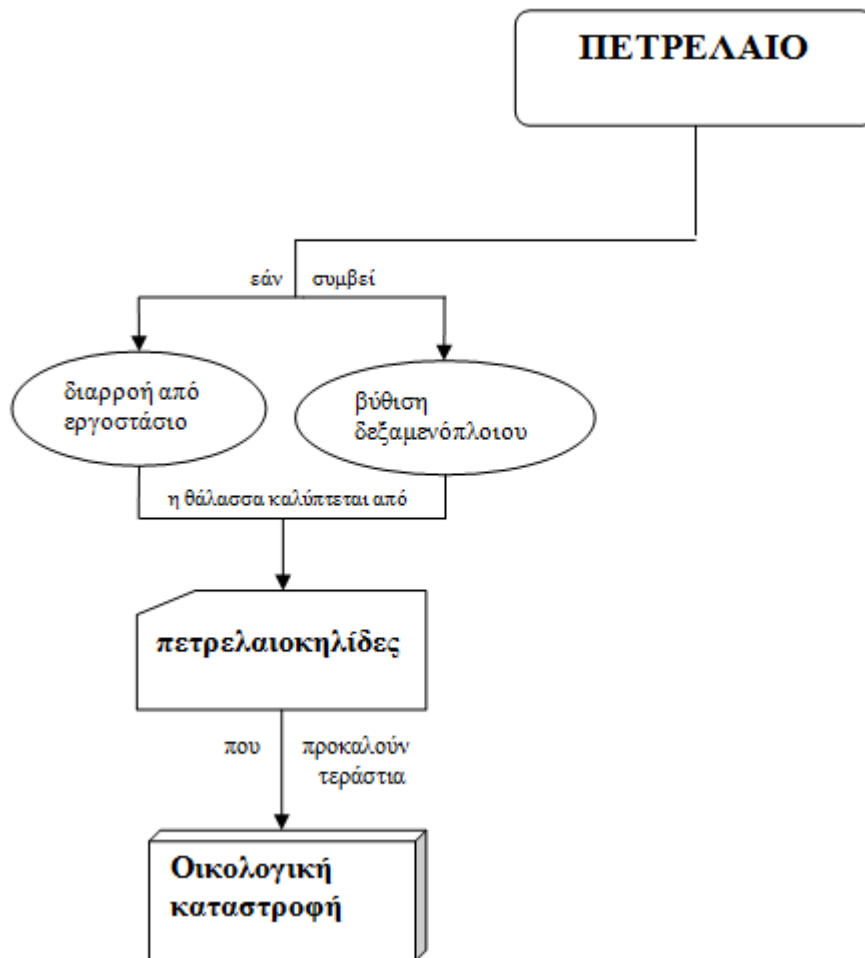
²⁸ Bautista H. and Rahman K. M. M. (2016). Review On the Sundarbans Delta Oil Spill: Effects On Wildlife and Habitats. International Research Journal, 1(43), Part 2, pp: 93-96. doi:10.18454/IRJ.2016.43.143

Είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστεί η ακριβής ποσότητα πετρελαίου που εισέρχεται στη θάλασσα κάθε χρόνο. Οι εκτιμήσεις βασίζονται σε στατιστικά στοιχεία και πολλές φορές διαφοροποιούνται σημαντικά μεταξύ τους.

Οι πηγές εισόδου των πετρελαϊκών υδρογονανθράκων στη θάλασσα μπορούν να ομαδοποιηθούν σε έξι κατηγορίες : α) στις φυσικές πηγές, β) στις θαλάσσιες εγκαταστάσεις γεώτρησης και εξόρυξης πετρελαίου, γ) στην ατμοσφαιρική μεταφορά, δ) στα αστικά και βιομηχανικά απόβλητα, ε) στα διυλιστήρια και ζ) στις θαλάσσιες μεταφορές.

Οι τελευταίες περιλαμβάνουν τις απορρίψεις λόγω των δραστηριοτήτων των πλοίων (διαρροές, λειτουργικές απορροές, συντήρηση των πλοίων, απώλειες σε τερματικούς σταθμούς και ατυχήματα πλοίων).

Οι φυσικές πηγές περιλαμβάνουν τους θαλάσσιους οργανισμούς (φωτοσυνθετικά φυτά και βακτήρια) που συνθέτουν υδρογονάνθρακες και τις φυσικές αναβλύσεις. Στους ωκεανούς υπάρχουν περιοχές, όπου το πετρέλαιο φτάνει στον πυθμένα της θάλασσας και εισέρχεται στα υπερκείμενα νερά από φυσικές αναβλύσεις. Υπάρχουν πολλές γνωστές περιοχές με υποθαλάσσιες διαρροές, κυρίως σε βαθιά νερά και σε τεκτονικά ενεργές περιοχές. Στην περιοχή της Σάντα Μπάρμπαρα, έξω από τις ακτές της Καλιφόρνια στις Η.Π.Α., συχνά παρατηρούνται μόνιμες λωρίδες πετρελαιοειδών στη θάλασσα, μήκους αρκετών εκατοντάδων μέτρων .



Στις εγκαταστάσεις υποθαλάσσιας γεώτρησης και εξόρυξης πετρελαίου, το πετρέλαιο που αντλείται από τις υποθαλάσσιες πετρελαιοπηγές περιέχει νερό που πρέπει να απομακρυνθεί πριν τη μεταφορά του στα διωλιστήρια. Η ποσότητα του νερού, γνωστή ως «νερό παραγωγής», είναι γενικά μικρή στα πρώτα στάδια της ζωής της πηγής, ωστόσο αυξάνεται σταδιακά καθώς μειώνονται τα αποθέματα. Στις πλατφόρμες εξόρυξης πετρελαίου τοποθετούνται οι «διαχωριστές», δηλαδή μηχανισμοί που διαχωρίζουν το νερό από το πετρέλαιο. Εντούτοις, δεν καθίσταται δυνατή η πλήρης ανάκτηση του πετρελαίου, με αποτέλεσμα μια ποσότητα να ρίχνεται στη θάλασσα. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος στις πλατφόρμες άντλησης του πετρελαίου δεν προέρχεται από την κανονική λειτουργία τους, αλλά από τα ατυχήματα. Εκρήξεις των αγωγών και βλάβες στις μηχανικές διατάξεις συνιστούν την κύρια αιτία για μεγάλες πετρελαιοκηλίδες. Το μεγαλύτερο ατύχημα που σημειώθηκε ήταν η έκρηξη στον Ιχτος 1 σταθμό άντλησης στο Campeche Bay στην περιοχή του Μεξικού στις 3 Ιουνίου 1979. Ο αγωγός σφραγίστηκε τελείως το Μάρτιο του 1980 και μέσα στους 9 μήνες περίπου 350.000 τόνοι πετρελαίου διέρρευσαν στον κόλπο του Μεξικού. Τα τελευταία χρόνια έχουν σημειωθεί μεγάλες τεχνολογικές πρόοδοι και λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα προφύλαξης για την αποτροπή του κινδύνου.

Η ποσότητα των υδρογονανθράκων που εισέρχεται απευθείας στους ωκεανούς από φυσικές απορροές είναι μικρή, αν συγκριθεί με αυτήν που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα εξαιτίας της κίνησης των οχημάτων και της εξάτμισης από τις βιομηχανίες. Το μεγαλύτερο μέρος των υδρογονανθράκων της ατμόσφαιρας φωτοοξειδώνεται, ωστόσο ένα κλάσμα παραμένει με τη μορφή σταγονιδίων ή προσροφάται στα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας. Η απομάκρυνση των υδρογονανθράκων από την ατμόσφαιρα γίνεται κυρίως με την υγρασία, αλλά και την ξηρή κατακρήμνιση των αιωρούμενων σωματιδίων, με τη βροχή και με την απευθείας ανταλλαγή αερίων με τους ωκεανούς.

Επίσης, ποσότητα υδρογονανθράκων πετρελαίου εισέρχεται στη θάλασσα από τα αστικά και βιομηχανικά απόβλητα. Τα αστικά λύματα έχουν τη μεγαλύτερη συνεισφορά και ακολουθούν τα βιομηχανικά απόβλητα και οι ροές βρόχινου νερού από αστικές περιοχές. Οι εισροές είναι μεγαλύτερες στις ακτές των χωρών που χαρακτηρίζονται από υψηλή βιομηχανοποίηση και μεγάλους πληθυσμούς. Η απομάκρυνση του πετρελαίου και των υποπροϊόντων του από τα αστικά λύματα επιφέρει τη μείωση των πετρελαϊκών υδρογονανθράκων κατά 30% στην πρωτογενή επεξεργασία και περίπου κατά 40% στη δευτερογενή.

Τα διυλιστήρια αποτελούν και αυτά μια πηγή εισόδου πετρελαίου στη θάλασσα. Σε παλιότερα διυλιστήρια ο διαχωρισμός πετρελαίου και νερού δεν κρίνονταν ιδιαίτερα επιτυχής δεδομένου ότι η συγκέντρωση πετρελαίου στο νερό ήταν της τάξεως των 100ppm (μόρια πετρελαίου ανά εκατομμύρια μόρια θαλασσινού νερού). Στα πιο σύγχρονα, η ποσότητα του περιεχόμενου πετρελαίου μειώνεται σημαντικά με τη συγκέντρωση να βρίσκεται σε επίπεδα 25ppm.²⁹

2.2. Θαλάσσιες μεταφορές

Μια από τις σημαντικότερες πηγές εισόδου υδρογονανθράκων πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον προέρχεται στις θαλάσσιες μεταφορές. Σε αυτές περιλαμβάνονται όλες οι απορρίψεις που ενδέχεται να γίνουν από κάποιο πλοίο κατά τη διάρκεια της ζωής του. Συνοπτικά, οι θαλάσσιες μεταφορές περιλαμβάνουν τις απορρίψεις ρουτίνας, τις απορρίψεις στους τερματικούς σταθμούς, τις απορρίψεις λόγω ναυτικών ατυχημάτων ή λόγω της συντήρησης των πλοίων και τις απορρίψεις από τα ατυχήματα των πλοίων.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων τριάντα ετών περισσότερες από 400 πετρελαιοκηλίδες, μεγαλύτερες των 200 τόνων, έχουν προκληθεί από τα δεξαμενόπλοια. Οι θαλάσσιες μεταφορές είναι υπεύθυνες για την απόρριψη σημαντικής ποσότητας πετρελαίου στη θάλασσα. Για όλων των ειδών τα πλοία,

²⁹ Bautista H. and Rahman K. M. M. (2016). Review On the Sundarbans Delta Oil Spill: Effects On Wildlife and Habitats. International Research Journal, 1(43), Part 2, pp: 93-96. doi:10.18454/IRJ.2016.43.143

δηλαδή δεξαμενόπλοια, εμπορικά, επιβατικά και σκάφη αναψυχής οι απορρίψεις ρουτίνας οφείλονται στην απόρριψη απόβρωτων από το μηχανοστάσιο, δηλαδή σεντινόνερων, χρησιμοποιούμενων ορυκτέλαιων και λαδιών λίπανσης των μηχανών. Τα δεξαμενόπλοια, εκτός από τις προαναφερόμενες απορρίψεις, σχετίζονται και με την απόρριψη λόγω του πλυσίματος των αμπαριών τους. Τα εμπορικά και επιβατικά σκάφη έχουν μόνιμο έρμα, κατάλληλο για την εξασφάλιση κανονικής πλεύσης του σκάφους, ενώ τα δεξαμενόπλοια για οικονομικούς λόγους δε διαθέτουν μόνιμο έρμα. Έτσι, όταν εκφορτώνουν το φορτίο, γεμίζουν μερικές από τις δεξαμενές του σκάφους (25-30% της ολικής χωρητικότητας του πλοίου) με θαλασσινό νερό, το οποίο σαν έρμα εξασφαλίζει την κανονική επιστροφή στο λιμάνι φόρτωσης. Το νερό αυτό σχηματίζει γαλάκτωμα με τα υπολείμματα του πετρελαίου στις δεξαμενές. Το έρμα χύνεται στη θάλασσα, όταν το δεξαμενόπλοιο φτάσει στον προορισμό του. Με αυτό τον τρόπο υπολογίζεται ότι ρίχνεται στη θάλασσα το 4% του μεταφερόμενου πετρελαίου. Επομένως, από ένα δεξαμενόπλοιο που μεταφέρει 65.000 τόνους μπορεί να χυθούν στη θάλασσα 260 τόνοι πετρελαίου.³⁰

Για τον περιορισμό των παραπάνω απορρίψεων το μεγαλύτερο ποσοστό (περίπου 80%) του παγκόσμιου στόλου των δεξαμενόπλοιων χρησιμοποιεί την τεχνική Load on Top (LOT). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, το θαλασσινό νερό που εισάγεται στις δεξαμενές και αναμιγνύεται με το πετρέλαιο αφήνεται να διαχωριστεί σε όλη τη διάρκεια της επιστροφής του πλοίου. Το σχετικά καθαρό θαλασσινό νερό, το οποίο βρίσκεται στον πυθμένα, μαζεύεται στην κάτω πλευρά της δεξαμενής και το πετρέλαιο με μικρές ποσότητες θαλασσινού νερού παραμένει στη δεξαμενή. Τα νέο πετρέλαιο προστίθεται στην πάνω πλευρά της δεξαμενής. Για τα σύγχρονα διωλιστήρια οι μικροποσότητες του νερού στο πετρέλαιο δεν έχουν ιδιαίτερη σημασία. Η τεχνική Load on Top μειώνει σημαντικά την απόρριψη πετρελαίου στη θάλασσα, μιας και επιτυγχάνεται η συγκράτηση περίπου του 98% των υπολειμμάτων του πετρελαίου στο σκάφος. Παρόλα αυτά, το πρόβλημα δεν εξαλείφεται και σε συνδυασμό με τις τεράστιες ποσότητες που μεταφέρονται η συνολική απόρριψη συνεχίζει να παραμένει υψηλή. Επιπρόσθετα, η τεχνική Load On Top δεν κρίνεται κατάλληλη για ορισμένες περιοχές, όπως η Μεσόγειος Θάλασσα. Η αιτία είναι ότι τα ταξίδια συχνά ολοκληρώνονται σε σύντομο χρονικό διάστημα και επομένως δεν είναι επαρκής ο διαχωρισμός του πετρελαίου από το νερό. Ως βέλτιστη λύση προτείνεται η κατασκευή δεξαμενόπλοιων με ξεχωριστές δεξαμενές έρματος (segregated ballast tank), έτσι ώστε το νερό να μην έρχεται σε επαφή με το πετρέλαιο. Κάτι τέτοιο όμως μειώνει αφενός τη χωρητικότητα των δεξαμενόπλοιων και αφετέρου αυξάνει σημαντικά το κόστος μεταφοράς.

³⁰ NOAA (2008). Introduction to Environmental Sensitivity Index maps. NOAA Technical Manual. Seattle: Hazardous Response and Assessment Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 56p.

Όλα τα πλοία κατά περιόδους, τα τάνκερ κάθε δύο χρόνια περίπου, αποσύρονται για συντήρηση, επισκευή και καθαρισμό των υφάλων. Προκειμένου να αποφευχθεί ο κίνδυνος εκρήξεων, το πετρέλαιο πρέπει να απομακρύνεται από τις δεξαμενές αποθήκευσης και καυσίμων. Πολλές φορές στους τερματικούς σταθμούς προκαλούνται ατυχήματα κατά τη φόρτωση ή την εκφόρτωση των δεξαμενόπλοιων. Τα αίτια των ατυχημάτων συνήθως οφείλονται σε ανθρώπινα λάθη, π.χ. σε υπερχειλίση των δεξαμενών ή σε μη ικανοποιητική σύνδεση των σωληνώσεων. Ο κίνδυνος ρύπανσης μπορεί να περιοριστεί με την τήρηση των κανονισμών φόρτωσης και εκφόρτωσης καθώς και με τον απαιτούμενο έλεγχο των σωληνώσεων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα στην Ελλάδα αποτελεί το ατύχημα της Motor Oil στις 9 Αυγούστου του 1996, όταν το πετρελαιοφόρο «ΚΡΗΤΗ SEA» φόρτωνε πετρέλαιο από τα διυλιστήρια της εταιρίας στους Αγίους Θεοδώρους. Λόγω θαλασσοταραχής το σκάφος μετακινήθηκε, οι αντλίες έσπασαν και τόνοι πετρελαίου χύθηκαν στη θάλασσα. Η κηλίδα έφτασε στις ακτές της Σαλαμίνας και στις βόρειες ακτές της Αίγινας.

Εκτός από τα ατυχήματα στους τερματικούς σταθμούς, δεν είναι λίγες οι φορές που σημειώνονται ατυχήματα στην ανοιχτή θάλασσα. Ιδιαίτερα σημαντικά είναι αυτά των τάνκερς. Περίπου το 75% των ατυχημάτων από τάνκερς αποδίδονται κυρίως σε ανθρώπινο παράγοντα και συμβαίνουν πιο συχνά στα δεξαμενόπλοια που ταξιδεύουν με σημαίες ορισμένων χωρών που δεν τηρούν τους κανόνες ασφαλείας και τις προδιαγραφές προστασίας του περιβάλλοντος για οικονομικούς λόγους. Έχει εκτιμηθεί ότι τα πετρελαϊκά κατάλοιπα που εισέρχονται στη θάλασσα από ατυχήματα μη πετρελαιοφόρων πλοίων ανέρχονται σε 0,02 εκατομμύρια τόνους ανά έτος. Όμως, πολύ πιο σημαντικά κρίνονται τα ατυχήματα των δεξαμενόπλοιων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα ατυχημάτων δεξαμενόπλοιων είναι: το ατύχημα του Torrey Canyon το 1967, το οποίο μετέφερε 117.000 τόνους πετρελαίου και ρύπανε τις αγγλικές και γαλλικές ακτές με περισσότερους από 40.000 τόνους πετρελαίου, το ατύχημα του Amoco Cadiz στα 1978 που μετέφερε 223.000 τόνους ακατέργαστου πετρελαίου και που ναυάγησε κοντά στις ακτές της Βρετανίας προκαλώντας πρωτοφανή περιβαλλοντικά προβλήματα, το ναυάγιο του Sea Empress το 1996 στη Νότια Ουαλία, το οποίο μετέφερε περισσότερους από 250.000 τόνους πετρελαίου, από τους οποίους περίπου οι 72.000 τόνοι χύθηκαν στη θάλασσα και τέλος, το πιο πρόσφατο ατύχημα του πετρελαιοφόρου Prestige το έτος 2002 στα ανοιχτά της Ισπανίας (207 χιλιόμετρα ανοιχτά της Γαλικίας), από το οποίο περισσότεροι από 10.000 τόνοι πετρελαίου χύθηκαν στη θάλασσα. Μάλιστα, το εν λόγω πετρελαιοφόρο έφερε στις δεξαμενές του 77.000 τόνους πετρελαίου και βυθίστηκε σε βάθος 3.5 χιλιομέτρων.

Μετά την απόρριψη του πετρελαίου στη θάλασσα σχηματίζεται πετρελαιοκηλίδα, η οποία καταλαμβάνει αρκετά μεγάλες διαστάσεις (ένα λίτρο πετρελαίου μπορεί να επεκταθεί σε έκταση ενός στρέμματος σε μορφή λεπτού φιλμ). Στη συνέχεια, λόγω της μεταφοράς του πετρελαίου από τους ανέμους, τα θαλάσσια ρεύματα, τα κύματα και την παλίρροια ακολουθεί μια σειρά από διεργασίες, όπως η εξάτμιση, η διάλυση, η διασπορά, η γαλακτωματοποίηση, η οξειδωση και η ιζηματοποίηση. Οι παραπάνω διεργασίες είναι γνωστές και ως αλλοίωση του πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον. Οι διεργασίες έχουν ως προϊόντα υδρογονάνθρακες που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα, κηλίδες και πισσώδες βώλους,

διαλυμένους ή σωματιδιακούς υδρογονάνθρακες στη στήλη του νερού και στα ιζήματα. Μέσω βιολογικών διεργασιών γίνεται αποδόμηση του πετρελαίου από μικροοργανισμούς προς διοξείδιο του άνθρακα ή άλλες οργανικές ενώσεις, πρόσληψη από μεγαλύτερους οργανισμούς και κατόπιν μεταβολισμό, αποθήκευση και απόρριψη. Οι περισσότερες από τις διεργασίες είναι συναγωνιστικές. Γενικά, η πυκνότητα του πετρελαίου αυξάνεται με την εξάτμιση των ελαφρότερων συστατικών και μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Επιπλέον, το ιξώδες του πετρελαίου αυξάνεται με τις μεταβολές που υφίσταται και μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Ο ρυθμός εξάτμισης και οι συγκεντρώσεις των υδρογονανθράκων στον αέρα καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από την ατμοσφαιρική πίεση (ITOPF 2002).

Οι μεγαλύτερες διαρροές πετρελαίου στον κόσμο			
Όνομα	Περιοχή	Ημερομηνία	Μέγεθος (βαρέλια)
Πόλεμος του Κόλπου	Περσικός Κόλπος	21/1/1991	10-11.000.000
Ixtoc I (πλατφόρμα)	Περσικός Κόλπος	3/6/1979 - 23/3/1980	3,3-3.500.000
Atlantic Empress και Aegean Captain (σύγκρουση 2 τάνκερ)	Τρινιδάδ και Τομπάγκο	19/7/1979	2.100.000
Κοιλάδα Φεργκάνα	Ουζμπεκιστάν	2/3/1992	2.100.000
Πετρελαϊκές Εγκαταστάσεις Nowruz	Περσικός Κόλπος	Φεβρουάριος 1983	1.900.000
ABT Summer (τάνκερ)	Αγκόλα	1991	1.900.000
Castillo de Bellver (τάνκερ)	Νότια Αφρική	6/8/1983	1.850.000
Amoco Cadiz (τάνκερ)	Βρετανία, Γαλλία	16/3/1978	1.600.000
Amoco Haven (τάνκερ)	Μεσόγειος	1991	1.060.000
Odyssey (τάνκερ)	Καναδάς	1988	970.000
Sea Star (τάνκερ)	Κόλπος του Ομάν	19/12/1972	840.000
Torrey Canyon (τάνκερ)	Νησιά Scilly, Μεγάλη Βρετανία	18/3/1967	590.000-870.000
Irenes Serenade (τάνκερ)	Ελλάδα	1980	730.000
Urquiola (τάνκερ)	Λα Κορούνια, Ισπανία	12/5/1976	730.000
Exxon Valdez (τάνκερ)	Κόλπος της Αλάσκα	24/3/1989	257.000

2.2.1 Πετρελαιοκηλίδες από απορρίψεις πλοίων

Κατά τη στιγμή απόρριψης του πετρελαίου στη θάλασσα σχηματίζεται μια κηλίδα, της οποίας το σχήμα και οι φυσικοχημικές ιδιότητες μεταβάλλονται συνεχώς. Η διαδικασία που σχετίζεται με τη μετεξέλιξή της, ευρέως γνωστή και ως αλλοίωση, αναπτύσσεται αναλυτικά στο πρώτο κεφάλαιο. Σε ένα μεγάλο βαθμό οι διεργασίες της αλλοίωσης επηρεάζουν την κηλίδα ταυτόχρονα και ανταγωνιστικά. Στην περίπτωση της παρακολούθησης της παράνομης απόρριψης πετρελαίου από πλοία με τη χρήση της δορυφορικών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων ραντάρ οι πρώτες ώρες μετά την απόρριψη κρίνονται ως οι πιο σημαντικές. Ακριβώς τότε καθίσταται ευκολότερος ο εντοπισμός του υπαίτιου πλοίου και ο περιορισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στο θαλάσσιο οικοσύστημα.³¹ Ως η πιο βαρύνουσα διεργασία στις πρώτες στιγμές αναγνωρίζεται αυτή της εξάπλωσης. Η διεργασία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη μορφή που θα έχουν οι πετρελαιοκηλίδες στις απεικονίσεις ραντάρ. Το πετρέλαιο

³¹ NOAA (2008). Introduction to Environmental Sensitivity Index maps. NOAA Technical Manual. Seattle: Hazardous Response and Assessment Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 56p.

μετά την απόρριψή του στη θάλασσα εξαπλώνεται από το σημείο ρίψης προς όλες τις κατευθύνσεις. Η τάση αυτή, η οποία οφείλεται κυρίως στη βαρύτητα και στις επιφανειακές τάσεις, κυριαρχεί στη διαδικασία σχηματισμού της κηλίδας σε πρωταρχικό στάδιο.³² Η δύναμη βαρύτητας που προκαλεί την εξάπλωση σχετίζεται με το πάχος της κηλίδας, με τη διαφορά πάχους στα επιμέρους μέρη της και με τη διαφορά πυκνότητας μεταξύ της θάλασσας και του πετρελαίου. Όλα αυτά μειώνονται γρήγορα με το χρόνο και έτσι οι βαρυτικές δυνάμεις τείνουν προς εξασθένηση και δίνουν τη θέση τους στις επιφανειακές τάσεις. Οι τελευταίες δε σχετίζονται με το πάχος της κηλίδας και προέρχονται από διαφορά μεταξύ της τάσης ατμόσφαιρας-θάλασσας και του αθροίσματος τάσεων ατμόσφαιρας-πετρελαίου και πετρελαίου-θάλασσας. Επίσης, οι δυνάμεις επιφάνειας εξαρτώνται από τις πτητικές ουσίες που εμπεριέχονται στο πετρέλαιο. Επομένως, όταν αυτές απομακρύνονται κατά τη διαδικασία της εξάτμισης, η εξάπλωση λόγω των δυνάμεων επιφάνειας τείνει να σταματήσει. Η εξάτμιση πραγματοποιείται επίσης πολύ γρήγορα και επιταχύνεται με τη διεύρυνση της κηλίδας, δεδομένου ότι η επιφάνεια του πετρελαίου που εκτίθεται στην ατμόσφαιρα αυξάνεται. Η πετρελαιοκηλίδα δεν απλώνεται επάπειρο, αλλά μέχρι μία περιορισμένη έκταση, η οποία εξαρτάται από την ποσότητα και τον τύπο του πετρελαίου που απορρίπτεται. Η ρίψη μεγάλων ποσοτήτων πετρελαίου έχει ως επακόλουθο τη δημιουργία μεγάλης έκτασης πετρελαιοκηλίδας συνήθως σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα μετά την απόρριψη. Αντίθετα, η ρίψη πετρελαίων με μεγάλες ποσότητες πτητικού και διαλυτού περιεχομένου είναι πιθανό να δημιουργήσει μικρότερες κηλίδες από ό,τι όμοιων ποσοτήτων πετρελαίων με μικρότερο ποσοστό πτητικών και διαλυτών ουσιών.

Ο απαιτούμενος χρόνος για να αποκτήσει μια κηλίδα τη μεγαλύτερή της έκταση εξαρτάται από την ταχύτητα εξάπλωσης. Πολλών ειδών τύποι πετρελαίων τείνουν να εξαπλωθούν στην επιφάνεια της θάλασσας με σχεδόν ίδια ταχύτητα, έστω και αν χαρακτηρίζονται από διαφορετικό ιξώδες. Εντούτοις, διάφοροι τύποι πετρελαίων με μεγάλο ιξώδες δε θα εξαπλωθούν τόσο γρήγορα, όσο άλλοι με μικρότερο ιξώδες, ειδικά σε κρύα νερά. Επιπρόσθετα, η εξάπλωση δεν είναι ομοιογενής, καθώς σε γειτονικές περιοχές μίας πετρελαιοκηλίδας έχουν συχνά παρατηρηθεί μεγάλες μεταβολές πάχους, ειδικά σε τύπους πετρελαίων με μεγάλο ιξώδες. Ο άνεμος και τα θαλάσσια ρεύματα επιδρούν σημαντικά στην πλευρική διακύμανση του πάχους μιας κηλίδας. Επίσης, το πετρέλαιο αναμειγνύεται με την επιφάνεια της θάλασσας επιταχύνοντας διαφορετικά την εξάπλωση σε μερικά μέρη της κηλίδας. Τα πειράματα των Hollinger και Manella (1984) πάνω σε ελεγχόμενες κηλίδες στην ανοιχτή θάλασσα έδειξαν ότι ακόμα και μερικές ώρες μετά την απόρριψη, περίπου το 90% του πετρελαίου παρέμεινε σε περιοχές με μεγάλο πάχος και κάλυπτε μόνο το 10% της ολικής έκτασης της κηλίδας. Τυπικές ταχύτητες εξάπλωσης, όπως υπολογίστηκαν στην ίδια μελέτη, κυμαίνονται στα 0.6 m²/sec για το σύνολο της κηλίδας, ενώ για τις περιοχές με μεγάλο πάχος αποδείχτηκαν μικρότερες από 0.2 m²/sec.

³² S.R. Pezeshki, M.W. Hester, Q. Lin, J.A. Nyman (1999). The effects of oil spill and clean-up on dominant US Gulf coastmarsh macrophytes

Έχει παρατηρηθεί ότι τα μέρη μιας κηλίδας δεν κινούνται όλα με την ίδια ταχύτητα. Κάποια μέρη της κινούνται γρηγορότερα από τη μέση ταχύτητά της και άλλα πιο αργά. Σύμφωνα με τους Elliot et al. (1986), οι διαφορετικές ταχύτητες μέσα στην κηλίδα είναι αποτέλεσμα της κατανομής του πετρελαίου στη στήλη του νερού. Έτσι, τα σταγονίδια πετρελαίου που βρίσκονται μέσα στη στήλη του νερού παρουσιάζουν μικρότερη ταχύτητα από αυτά που υπάρχουν στην επιφάνεια του νερού, διότι η κίνησή τους οφείλεται στην κίνηση των ρευμάτων και της διάχυσης. Τα σταγονίδια πετρελαίου που εντοπίζονται στην επιφάνεια της θάλασσας κινούνται γρηγορότερα, αφού, εκτός από την κίνηση των ρευμάτων και της διάχυσης, προστίθεται και ο άνεμος. Ο κύριος μηχανισμός οπισθοσκέδασης που λαμβάνει χώρα εξηγείται από τη θεωρία σκέδασης Bragg (αναλυτική παρουσίαση δίνεται στο δεύτερο κεφάλαιο). Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί ότι η ένταση της οπισθοσκεδαζόμενης ακτινοβολίας είναι σχεδόν ανάλογη με το πλάτος των μικρών ανεμογενών κυμάτων, των οποίων η προβολή του μήκους κύματός τους στη διεύθυνση λήψης του ραντάρ είναι ίση με το μισό του μήκους κύματος του ραντάρ.³³

2.2.2. Οπισθοσκέδαση και πετρελαιοκηλίδες

Μια τυπική πετρελαιοκηλίδα σε μια απεικόνιση ραντάρ συνθετικού ανοίγματος γίνεται αντιληπτή, επειδή παρουσιάζεται πολύ πιο σκούρα από ό,τι η γύρω από αυτήν καθαρή θάλασσα. Η τιμή της οπισθοσκεδαζόμενης ακτινοβολίας μειώνεται αισθητά από ένα εύρος υψηλών τιμών στην επιφάνεια της θάλασσας σε πολύ μικρότερες τιμές οπισθοσκέδασης στην επιφάνεια της πετρελαιοκηλίδας. Το εύρος της μείωσης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του πετρελαίου, την ηλικία της κηλίδας και του ανέμου που επικρατεί στην περιοχή.

Το πετρέλαιο μόλις πέσει στην επιφάνεια της θάλασσας δεν εξαπλώνεται με ομοιόμορφο τρόπο. Η ύπαρξη έστω και μικρών δυνάμεων ρευμάτων θα έχει ως επακόλουθο τη διακύμανση της εξάπλωσης, ενώ η ύπαρξη ανέμου θα έχει ως αποτέλεσμα την πύκνωση της κηλίδας στην υπήνεμη πλευρά της. Σε πολλές απεικονίσεις η κηλίδα εμφανίζεται με ένα σχήμα, όπως αυτό του κινούμενου κομήτη, όπου ένα μικρό πολύ σκούρο μέρος ακολουθείται από ένα μεγαλύτερο όχι τόσο σκούρο, όπως η ουρά του κομήτη, με το περισσότερο μέρος της κηλίδας να βρίσκεται στο αρχικό πολύ σκούρο μέρος.

Τα πλοία συνήθως απορρίπτουν ποσότητες πετρελαίου κάθοδόν αφήνοντας πίσω τους γραμμικές κηλίδες. Αυτή η γραμμικότητα αναγνωρίζεται ως το κυριότερο χαρακτηριστικό κατά την ανίχνευση των παράνομων απορρίψεων. Στην ιδανική περίπτωση απόρριψης σε μια ήρεμη θαλάσσια περιοχή χωρίς ρεύματα, η συνολική γεωμετρία της κηλίδας θα ακολουθούσε την κατεύθυνση του πλοίου. Για παράδειγμα, μια απόρριψη κατά μήκος μιας ευθείας πορείας θα είχε ως απόληξη μία ευθεία κηλίδα,

³³ Information Services (2010). "Data & Statistics: Accidental Marine oil Spillages Since 1970". International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF). Retrieved 18 May 2010.

ενώ σε μια πορεία με ελιγμούς θα είχε ως αποτέλεσμα μία κηλίδα με σχήμα καμπύλης ή με γωνίες. Όταν η κηλίδα εντοπίζεται κατά τη στιγμή της απόρριψης, το πιο πρόσφατο μέρος της θα έχει σχήμα επιμηκυμένου στενού V λόγω του διαφορετικού χρόνου εξάπλωσης κατά μήκος της κηλίδας. Παρόλα αυτά, επειδή η εξάπλωση είναι μία εξαιρετικά γρήγορη διαδικασία, σύντομα μετά το τέλος της απόρριψης η σταδιακή μείωση του νεότερου μέρους της κηλίδας θα χαθεί. Στην απλή περίπτωση μιας σταθερής απόρριψης κατά μήκος μιας ευθείας πορείας, η συνολική γεωμετρία της κηλίδας θα ήταν όμοια με αυτή ενός επιμήκους παραλληλογράμμου. Ακόμα και με την παρουσία ανέμων και ρευμάτων, υποθέτοντας ότι αυτά θα είναι σχετικά σταθερά στην ευρύτερη περιοχή για το χρόνο που διαρκεί η απόρριψη, η συνολική γεωμετρία της κηλίδας δε θα άλλαζε σημαντικά κατά τις πρώτες ώρες. Οι ομοιογενείς άνεμοι και τα θαλάσσια ρεύματα θα επηρεάσουν μόνο τη θέση της κηλίδας και θα επιφέρουν απόκλιση σε σχέση με την πορεία του πλοίου που προκαλεί την απόρριψη. Ωστόσο, η κατάσταση διαφοροποιείται, όταν η κηλίδα επηρεαστεί από περιοχές με ρεύματα και/ή ανέμους που δεν παρουσιάζουν σταθερή κατεύθυνση. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η συνολική γεωμετρία της κηλίδας θα είναι διαστρεβλωμένη. Ακόμη όμως και σε αυτές τις περιπτώσεις ενδέχεται να υπάρξει ένα μεγάλο μέρος με στοιχεία γραμμικότητας, έτσι ώστε να μπορέσει η πετρελαιοκηλίδα να αναγνωρισθεί από τον φωτοερμηνευτή. Τα παραπάνω εξαρτώνται από την ισχύ των ανέμων και των ρευμάτων καθώς και από την ηλικία την κηλίδας.³⁴

Απορρίψεις από ένα πλοίο ακίνητο, σε περιοχή χωρίς ρεύματα και με ήρεμη θάλασσα θα επιφέρει μια μεγάλης επιφάνειας κηλίδα με σχετικά στρογγυλεμένο σχήμα. Το σχήμα αυτό αποδίδεται στο φαινόμενο της εξάπλωσης. Στην περίπτωση, όμως, όπου υπάρχουν άνεμοι και ρεύματα θα επηρεασθεί σημαντικά η γεωμετρία της κηλίδας. Το τελικό σχήμα εξαρτάται από την ισχύ των ανέμων και των ρευμάτων και το αποτέλεσμα μπορεί να είναι και πάλι μια κηλίδα με έντονα χαρακτηριστικά γραμμικότητας δίνοντας την εντύπωση ότι προέρχεται από ένα πλοίο που κινείται. Σε τέτοιες περιπτώσεις για την κατανόηση της ταυτότητας της κηλίδας απαιτούνται επιπλέον δεδομένα της χρονικής κατανομής των ανέμων και των ρευμάτων τη δεδομένη στιγμή απόρριψης του πετρελαίου.

Στην πλειονότητά τους οι πετρελαιοκηλίδες έχουν γραμμικό σχήμα, αποτελούμενες είτε από ευθείες, είτε από ευθείες με γωνίες. Η γωνιακή μορφή των κηλίδων μπορεί να δημιουργηθεί και από την απόρριψη ενός ακίνητου πλοίου για μεγάλο χρονικό διάστημα, κατά το οποίο προκλήθηκαν αλλαγές στην ταχύτητα του ανέμου και στα θαλάσσια ρεύματα. Η τέταρτη κατηγορία θεωρείται ότι περιέχει στο σύνολό της παλαιότερες σε ηλικία κηλίδες.³⁵

³⁴ S.R. Pezeshki, M.W. Hester, Q. Lin, J.A. Nyman (1999). The effects of oil spill and clean-up on dominant US Gulf coastmarsh macrophytes

³⁵ Elena Egawhary (2010). "How big is the Deepwater Horizon oil spill?". BBC News. Retrieved 18 May 2010.

Οι άνεμοι επιδρούν σημαντικά στην δομή μιας κηλίδας άμεσα και έμμεσα. Άμεσα διότι, καθώς παρασύρουν την κηλίδα, το πετρέλαιο συσσωρεύεται στην υπήνεμη πλευρά της και έμμεσα, μέσω διεργασιών στο ανώτερο στρώμα της θάλασσας. Μια ιδιάζουσα κατάσταση παρατηρείται με τις επιφανειακές εναλλασσόμενες στροβιλώσεις, γνωστές ως κυκλοφορία Langmuir. Αυτές οι στροβιλώσεις τείνουν να συγκεντρώνουν την κηλίδα στις ζώνες σύγκλισής τους, ενώ τείνουν να την αραιώσουν στις ζώνες απόκλισής τους. Έτσι, η κηλίδα τείνει να χωριστεί σε λωρίδες.

Η κυκλοφορία Langmuir παρατηρήθηκε στη θαλάσσια επιφάνεια λόγω των λωρίδων που εμφανίζονταν από αφρό, φουσκάλες ή επιπλέοντα υλικά, όπως φύκη. Το πετρέλαιο στην επιφάνεια της θάλασσας αποτελεί και αυτό επιπλέον υλικό και παρουσιάζει ανάλογη συμπεριφορά με τα υπόλοιπα. Όσον αφορά τον εντοπισμό μιας πετρελαιοκηλίδας είναι ιδιαίτερα χρήσιμο να γνωρίζουμε τη συγκέντρωση που έχει αυτή στα επιμέρους τμήματά της καθώς και τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα προς αυτήν την κατεύθυνση. Το φαινόμενο της δημιουργίας λωρίδων πετρελαίου στη θαλάσσια επιφάνεια συχνά αναφέρεται ως το σχηματισμό που παρουσιάζει το φτέρωμα των πουλιών (feathering).

Κατηγορίες πετρελαιοκηλίδων :

- Κηλίδες στενές σε σχήμα ευθείας γραμμής με μέτωπο σταδιακής μείωσης
- Κηλίδες στενές σε σχήμα ευθείας γραμμής χωρίς μέτωπο σταδιακής μείωσης
- Κηλίδες με γωνίες και με μέτωπο σταδιακής μείωσης
- Κηλίδες με γωνίες χωρίς μέτωπο σταδιακής μείωσης
- Άμορφες κηλίδες

2.3 Τα φυσικά φαινόμενα που μοιάζουν με πετρελαιοκηλίδες

Οι απεικονίσεις ραντάρ συνθετικού ανοίγματος ευαισθητοποιούνται στις μεταβολές των μικρών ανεμογενών κυμάτων (short gravity-capillary waves). Αυτά τα κύματα είναι ευαίσθητα σε δυναμικές υψηλής μεταβλητότητας του ορίου της ατμόσφαιρας και του ανώτατου στρώματος της θάλασσας. Έτσι, η απεικόνιση ραντάρ μπορεί να θεωρηθεί ως μια στιγμιαία αποτύπωση αυτών των δυναμικών της επιφάνειας της θάλασσας. Δεδομένου ότι οι διακυμάνσεις στην επιφάνεια της θάλασσας αποτυπώνονται στις ραντάρ απεικονίσεις ως μεταβολές του τόνου του γκρι, μπορεί να προκληθούν σύνθετοι σχηματισμοί δημιουργώντας έτσι προβλήματα στην αναγνώριση πετρελαιοκηλίδων. Περισσότερο επιρρεπείς σε τέτοιες πολυπλοκότητες είναι οι απεικονίσεις ραντάρ που λήφθηκαν σε συνθήκες κοντά στο κατώφλι της ταχύτητας ανέμου στο οποίο καθίσταται εφικτή η ανίχνευση των πετρελαιοκηλίδων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η στιγμιαία απόκριση των μικρών ανεμογενών κυμάτων πάνω και κάτω από τον ελάχιστο άνεμο διέγερσης θα έχει ως αποτέλεσμα εναλλαγές σκοτεινών και φωτεινών περιοχών στις ραντάρ απεικονίσεις. Επιπλέον, οι παράλληλες μεταβολές, οι οποίες αποδίδονται στο επίπεδο ασυνέχειας αέρα-θάλασσας, μπορούν να προστεθούν στην πολυπλοκότητα των ραντάρ απεικονίσεων. Για παράδειγμα περιοχές, όπου η θάλασσα είναι πολύ ψυχρότερη από ό,τι ο άνωθεν αέρας απαιτούνται μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμων για τη δημιουργία των μικρών ανεμογενών κυμάτων επιφάνειας .

Η παρουσία μεγάλων σκούρων σχηματισμών σε μια εικόνα ενδέχεται να μην αποτελεί πρόβλημα στον εντοπισμό των πετρελαιοκηλίδων, εκτός και αν σχηματίζονται περίπλοκες δομές. Το σημαντικότερο πρόβλημα στον εντοπισμό πετρελαιοκηλίδων είναι οι σκούροι σχηματισμοί, οι οποίοι δεν οφείλονται σε παράνομη απόρριψη πετρελαίου. Τα φυσικά φαινόμενα που προκαλούν τους σκούρους σχηματισμούς αποτελούν το σημαντικότερο ανασταλτικό παράγοντα στην ανίχνευση των πετρελαιοκηλίδων. Οι σκούροι σχηματισμοί στις απεικονίσεις ραντάρ συνθετικού ανοίγματος που μοιάζουν με πετρελαιοκηλίδες συνήθως προέρχονται από: φυσικές κηλίδες πετρελαίου, ανέμους χαμηλής έντασης, απάνεμες περιοχές πίσω από νησιά ή μέσα σε λιμάνια, περιοχές με απουσία ανέμου, επιφανειακά ρεύματα, δύνες, εσωτερικά κύματα, βροχοπτώσεις, θαλάσσιες πηγές, ανάκλαση της τοπογραφίας του βυθού σε ρηχά νερά, λύματα από παράκτιες περιοχές, παράκτιες περιοχές όπου διαφοροποιείται ο κυματισμός λόγω τοπογραφίας, επίπεδα ασυνέχειας (μέτωπα), λιώσιμο πάγων, έλαια που παράγονται από ζώντες οργανισμούς (biogenic oil) και σπέρμα μεγάλα κητοειδή.

Διάφορα παραδείγματα τέτοιων φυσικών φαινομένων:

- Περιοχή με βροχόπτωση
- Δίνη
- Εσωτερικά κύματα
- Περιοχή με ανέμους χαμηλής έντασης
- Περιοχή με έλαια που παράγονται από ζώντες οργανισμούς
- Θαλάσσια περιοχή, όπου καταλήγει αγωγός λυμάτων παράκτιου οικισμού

Οι φυσικές κηλίδες κάνουν συχνά την εμφάνισή τους στη θάλασσα, ειδικά όταν οι ταχύτητες ανέμων είναι μικρότερες από 5 με 6 m/sec. Οι κηλίδες αυτές έχουν βιολογική προέλευση και συνήθως σχηματίζουν χωρικούς σχηματισμούς. Οι τελευταίοι συσχετίζονται άμεσα με την κίνηση των ρευμάτων της θάλασσας ή τείνουν να συσσωρευτούν κατά μήκος των συγκλινόντων ζωνών των ρευμάτων, όπως και οι πετρελαιοκηλίδες. Η εξασθένηση που προκαλούν στα μικρά ανεμογενή κύματα επιφάνειας είναι όμοια με αυτήν που προκαλούν οι πετρελαιοκηλίδες που προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες και θεωρείται ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα της διαδικασίας αναγνώρισης πετρελαιοκηλίδων. Οι φυσικές κηλίδες και οι πετρελαιοκηλίδες δύναται να διαχωριστούν με τη χρήση απεικονίσεων ραντάρ φυσικού ανοίγματος, αφού στις πρώτες δεν παρατηρείται εσωτερική διακύμανση της οπισθοσκέδασης, όπως στις δεύτερες. Επιπλέον, οι φυσικές κηλίδες παρατηρούνται συχνότερα στις παράκτιες περιοχές και συνήθως επιφέρουν μεγαλύτερη εξασθένηση στα μικρά ανεμογενή κύματα επιφάνειας από ό,τι οι πετρελαιοκηλίδες, καθώς συντίθενται από ενώσεις ισχυρά υδροφοβικές, σπάνια συναντώνται σε απεικονίσεις ραντάρ, όταν επικρατούν άνεμοι μεγαλύτεροι από 7 m/sec και ακόμη σχετίζονται με εποχιακά φαινόμενα, τα οποία παρατηρούνται κυρίως την άνοιξη και το καλοκαίρι και σπάνια το χειμώνα.

Τα μέτωπα ασυνέχειας μεταξύ θαλάσσιων μαζών με διαφορετικές θερμοκρασίες και/ή διαφορετικές αλατότητες, εσωτερικών κυμάτων και διακύμανσης επιφανειακών ρευμάτων αποτελούν ένας μέρος μιας μεγάλης ποικιλομορφίας ωκεανογραφικών φαινομένων που λανθασμένα μπορούν να θεωρηθούν πετρελαιοκηλίδες. Αυτό συμβαίνει, διότι τα ωκεανογραφικά αυτά φαινόμενα πολλές φορές φέρουν όμοια χαρακτηριστικά με αυτά των πετρελαιοκηλίδων. Η σύγχυση αυτή ενισχύεται, όταν συνδυάζονται και φυσικές κηλίδες. Επιπλέον, περίπλοκες δομές ανακλύπτουν συχνότερα σε απεικονίσεις παράκτιων περιοχών, αφού πολλά από τα προαναφερθέντα φαινόμενα αυξάνονται σε αυτές τις περιοχές.

Μια άλλη περίπτωση σκούρων σχηματισμών αποδίδεται στις έντονες βροχοπτώσεις που πολλές φορές δημιουργούν μικρής κλίμακας στροβιλισμούς στο ανώτατο επίπεδο της θάλασσας. Οι τελευταίοι προκαλούν εξασθένηση των μικρών ανεμογενών κυμάτων επιφάνειας και δημιουργούν σκοτεινές περιοχές στις απεικονίσεις ραντάρ συνθετικού ανοίγματος. Στις ανωτέρω καταστάσεις απαντώνται σοβαρά προβλήματα στην ανίχνευση πετρελαιοκηλίδων χρησιμοποιώντας απεικονίσεις ραντάρ συνθετικού ανοίγματος. Παρόλα αυτά, ακόμα και σε τέτοιες καταστάσεις οι πετρελαιοκηλίδες που συνδέονται με την παράνομη απόρριψη πετρελαίου από τα πλοία μπορούν να αναγνωριστούν, ειδικά αυτές που είναι πρόσφατες. Αυτό συμβαίνει, επειδή στο μάτι ενός έμπειρου ερμηνευτή αναγνωρίζονται τις περισσότερες φορές ως μη σχετικές διαταραχές μέσα σε μια σειρά από φυσικά φαινόμενα. Τα τελευταία αποκαλύπτουν συνήθως τη φύση τους μέσα από χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν επαναλαμβανόμενες ομοιότητες βοηθώντας έτσι τον ερμηνευτή να τις διαχωρίσει. Με αυτήν τη θεώρηση, η πληροφορία των τοπικών περιβαλλοντικών ιδιομορφιών λογίζεται ως πολύτιμο βοήθημα, αφού οι περισσότερες επαναλαμβανόμενες ομοιότητες σχετίζονται με αυτές, όπως για παράδειγμα οι

σηματισμοί που δημιουργούνται λόγω της αβαθούς τοπογραφίας του βυθού. Επιπρόσθετα, η ενδεδειγμένη εξέταση αυτών των επαναλήψεων αποτελεί το κύριο ζητούμενο για την εκπαίδευση συστημάτων αυτόματης ταξινόμησης. Τέλος, δεν πρέπει να αγνοηθεί ότι οι δυσκολίες που ανακύπτουν από τους σχηματισμούς που μοιάζουν με πετρελαιοκηλίδες εντάσσονται στα μειονεκτήματα της μεθόδου και δεν είναι εύλογο να αμφισβητηθεί η ικανότητα των δορυφορικών δεκτών ραντάρ συνθετικού ανοίγματος στον εντοπισμό πετρελαιοκηλίδων. Εκτός από περιοχές με χαμηλές ταχύτητες ανέμου, όπου συναντώνται δυσκολίες στον εντοπισμό, η πολυπλοκότητα των ραντάρ απεικονίσεων μειώνεται δραματικά με την ύπαρξη ανέμου ικανού να διεγείρει τα ανεμογενή κύματα επιφάνειας και πετρελαιοκηλίδας. Έτσι, όταν μια κηλίδα αποτυπώνεται πάνω σε μια ραντάρ απεικόνιση, ειδικά όταν λαμβάνεται τη στιγμή της απόρριψης από πλοίο, μπορεί να αναγνωρισθεί με μεγάλο βαθμό βεβαιότητας.

2.4 Νομοθετικό πλαίσιο

2.4.1 Η Ελληνική νομοθεσία

Στην Ελλάδα υπάρχει νομοθετικό πλαίσιο το οποίο καθορίζει την προστασία του θαλασσίου περιβάλλοντος και άλλα συναφή θέματα. Η ευθυγράμμιση της ελληνικής νομοθεσίας με την Ευρωπαϊκή έγινε με το Νόμο 1269/82 ο οποίος αφορά την επικύρωση της MARPOL³⁶. Στις 10-10-83 τέθηκε σε ισχύ το Παράρτημα 1 ενώ το Παράρτημα 3 ισχύει από το 1992. Ο Νόμος 743/77 περιγράφει στα άρθρα 4,5,6,7,9 τις υποχρεώσεις των πλοίων όσον αφορά την παράδοση των πετρελαϊκών τους καταλοίπων σε συγκεκριμένες εγκαταστάσεις (Reception Facilities). Ειδικότερα το άρθρο 9 του Νόμου αναφέρει την τοποθεσία των ειδικών αυτών εγκαταστάσεων. Οι προαναφερόμενες εγκαταστάσεις βρίσκονται στο λιμάνι του Πειραιά (Οργανισμός Λιμένος Πειραιώς - Ο.Λ.Π.) και στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης (Οργανισμός Λιμένος Θεσσαλονίκης - Ο.Λ.Θ.). Υπάρχουν και άλλα εννέα λιμάνια στα οποία υπάρχουν ευκολίες υποδοχής καταλοίπων. Οι εγκαταστάσεις αυτές βρίσκονται στα εκάστοτε λιμενικά ταμεία τα οποία ανήκουν (Βόλος, Ρόδος, Ελευσίνα, Κέρκυρα, Πάτρα, Σύρος, Καβάλα, Χαλκίδα, Ηράκλειο).

Αρχικά οι εγκαταστάσεις συλλογής καταλοίπων ήταν χερσαίες. Λόγω του οικονομικού και κοινωνικού κόστους (π.χ. αντιδράσεις κοινοτήτων με παραλίες λουσιμένων που κινδύνευαν από μόλυνση) έγινε αναγκαστική η χρήση πλωτών μονάδων συλλογής καταλοίπων (μικρά δεξαμενόπλοια). Λόγω της μη δυνατότητας των εγκαταστάσεων πολλών από τα προαναφερόμενα λιμάνια να αναλάβουν τη συλλογή και επεξεργασία των καταλοίπων επιτράπηκε η ανάθεση τους σε ιδιώτες. Μετά από διαγωνισμό ανατέθηκαν σε ιδιώτες τα εξής λιμάνια: Πειραιώς, Θεσσαλονίκης,

³⁶

www.imo.org

Ελευσίνας, Πάτρας, Σύρου ενώ στο άμεσο μέλλον θα ανατεθεί και του Σκαραμαγκά. Στα παραπάνω λιμάνια προσφέρονται πλωτές ευκολίες (Conveniences) για την αποκομιδή των καταλοίπων. Ο πλοίαρχος ενημερώνοντας 24 ώρες πριν μπορεί να παραδώσει τα κατάλοιπα στο εκάστοτε λιμάνι. Τα υπόλοιπα λιμάνια (Βόλου, Καβάλας, Ηρακλείου, Ρόδου, Κερκύρας και Χαλκίδας) εξυπηρετούνται από αυτοκινούμενα βυτιοφόρα τα οποία μεταφέρουν τα κατάλοιπα (νερό με περιεκτικότητα 40 ppm σε πετρελαϊκά κατάλοιπα) σε χερσαίες εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού, οι οποίες υπόκεινται στον έλεγχο του Υπ. Βιομηχανίας και στην εκάστοτε Νομαρχία. Ο πλοιοκτήτης είναι υποχρεωμένος να καταβάλλει χρηματικό πόσο σύμφωνα με το τιμολόγιο του Υπ. Εμπορικής Ναυτιλίας.

Βάσει του ΠΔ 347/86 οι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται για μεταγγίσεις πετρελαίου ή για επισκευές πλοίων, οφείλουν να διαθέτουν ευκολίες υποδοχής πετρελαίου, καταλοίπων, ή μιγμάτων πετρελαίου και η χωρητικότητα και η δυναμικότητα των οποίων πρέπει να είναι τέτοια ώστε να καλύπτει απόλυτα τις ανάγκες των πλοίων που εξυπηρετούνται σε αυτές χωρίς καθυστέρηση. Επιπλέον οφείλουν κατά τη λειτουργία τους να παίρνουν όλα τα αναγκαία μέτρα για την αποφυγή οποιασδήποτε ρύπανσης.

Η ίδρυση τους και η επέκταση επιτρέπεται μόνο μετά από άδεια που χορηγείται από την Αρχή, μετά από σύμφωνη γνώμη της Υγειονομικής Υπηρεσίας, που δίνεται μόνο μετά από προηγούμενο έλεγχο των θαλασσινών νερών και εφόσον, με φροντίδα και ευθύνη της εγκατάστασης διατίθενται μέσα για την αντιμετώπιση περιστατικών ρύπανσης μικρής έκτασης. Τα αναγκαία μέσα για το σκοπό αυτό ορίζονται με απόφαση του οικείου Νομάρχη. Ειδικά για τις εγκαταστάσεις των Νομαρχιών του Νομού Αττικής αυτά ορίζονται με απόφαση του Υπουργού.

Με απόφαση του Υπουργού καθορίζονται οι όροι και οι προϋποθέσεις αναγνώρισης των πλωτών ευκολιών υποδοχής. Προκειμένου για χερσαίες ευκολίες, οι όροι και οι προϋποθέσεις καθορίζονται με κοινή απόφαση των Υπουργών Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας, και Εμπορικής Ναυτιλίας. Προκειμένου για ευκολίες υποδοχής απορριμμάτων και λυμάτων απαιτείται η σύμπραξη και του Υπουργού Υγείας, Πρόνοιας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων. Ο έλεγχος της λειτουργίας των παραπάνω ευκολιών υποδοχής γίνεται από την Αρχή και όταν πρόκειται για ευκολίες υποδοχής απορριμμάτων και λυμάτων, ο έλεγχος γίνεται από κοινού από την Αρχή μαζί με τις αρμόδιες Υγειονομικές Υπηρεσίες και το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Δημοσίων Έργων.

Οι οργανισμοί Λιμένων και τα Λιμενικά Ταμεία έχουν υποχρέωση να διαθέτουν κατάλληλους παραλιακούς χώρους για την εγκατάσταση των Σταθμών Πρόληψης και καταπολέμησης της ρύπανσης και την αποθήκευση του μηχανολογικού τους εξοπλισμού, καθώς και την εξασφάλιση των απαιτούμενων ευκολιών για την υποδοχή των πλωτών τους μέσων. Οι χώροι και οι υπόλοιπες ευκολίες καθορίζονται από τριμελή επιτροπή που αποτελείται από το Νομάρχη ή αντιπρόσωπο του, από έναν εκπρόσωπο της Αρχής και από έναν εκπρόσωπο του Οργανισμού Λιμένος ή του Λιμενικού Ταμείου.

Όσον αφορά στις μεταγγίσεις πετρελαιοειδών, πρέπει να υπάρχει σε άμεση ετοιμότητα και στην επιβαλλόμενη έκταση πλωτό φράγμα, εγκεκριμένο από το Υπουργείο, το οποίο θα αναπτύσσεται άμεσα σε περίπτωση διαρροής πετρελαίου, προκειμένου αυτό να περιορίζεται μέσα στο φράγμα. Επίσης πρέπει να υπάρχουν σε άμεση ετοιμότητα για χρησιμοποίηση εγκεκριμένα από το Υπουργείο μέσα απορρόφησης και γενικά περισυλλογής του πετρελαίου που τυχόν διαρρέει. Η δυναμικότητα και η ποσότητα των παραπάνω μέσων πρέπει να είναι ανάλογη με την ποσότητα και την ποιότητα του διακινούμενου πετρελαίου ή των παραγώγων αυτού. Επιπλέον κρίνεται απαραίτητη η δυνατότητα διάθεσης ικανών ποσοτήτων διασκορπιστικών ουσιών εγκεκριμένων από το Υπουργείο .

Σε περίπτωση ρύπανσης ή πιθανού κινδύνου πρόκλησης αυτής, ο Πλοίαρχος και ο εκπρόσωπος του πλοίου, ο προϊστάμενος ή διευθυντής της εγκατάστασης, καθώς και οι τυχόν εντεταλμένοι υποχρεούνται να αναφέρουν αμέσως το περιστατικό στην αρμόδια Λιμενική Αρχή, ή στο Υπουργείο και να λάβουν άμεσα κάθε πρόσφορο μέτρο για την αποτροπή, περιορισμό και αντιμετώπιση της ρύπανσης, ενεργώντας σύμφωνα με τα υφιστάμενα σχέδια αντιμετώπισης της ρύπανσης. Αν για οποιοδήποτε λόγο, αυτοί που προκάλεσαν τη ρύπανση αδυνατούν να λάβουν τα αναγκαία μέτρα στην έκταση που απαιτείται, υποχρεούνται να αναθέτουν αμέσως τις εργασίες αυτές σε αναγνωρισμένες επιχειρήσεις αντιμετώπισης της ρύπανσης, ευθυνόμενοι επιπρόσθετα για τις συνέπειες κάθε καθυστέρησης.

Η Αρχή αμέσως μόλις πληροφορηθεί περιστατικό ρύπανσης ή πρόδηλο και επικείμενο πρόκλησης ρύπανσης, παίρνει κάθε πρόσφορο μέτρο για την αποτροπή, τον περιορισμό και την εξουδετέρωση των συνεπειών της, και ενημερώνει τον Πλοίαρχο. Στην περίπτωση που εκείνος δεν μπορεί να λάβει τα αναγκαία μέτρα, η Αρχή μπορεί να συντονίζει και να χρησιμοποιεί ιδιωτικά μέσα και να ζητά τη συνδρομή συναφών οργανισμών ή ιδιωτικών επιχειρήσεων που διαθέτουν τα αναγκαία μέσα και τη σχετική πείρα για την αντιμετώπιση τέτοιων περιστατικών. Η χρησιμοποίηση των μέσων που ανήκουν σε οργανισμούς και σε ιδιώτες εκτελείται πάντοτε κάτω από τον έλεγχο της Αρχής, ενώ οι σχετικές δαπάνες επιβαρύνουν το πλοίο ή την εγκατάσταση και αυτόν που με οποιοδήποτε τρόπο προκάλεσε τη ρύπανση.

Με απόφαση του Υπουργού καθορίζονται οι προϋποθέσεις χορήγησης άδειας και οι ελάχιστες απαιτήσεις σε οργάνωση, επιστημονικό και τεχνικό προσωπικό, εξοπλισμό, υλικά, μέσα και ουσίες που πρέπει να διαθέτουν οι ιδιωτικές επιχειρήσεις, καθώς και κάθε άλλη λεπτομέρεια προκειμένου να τους χορηγηθεί η άδεια λειτουργίας ως αναγνωρισμένες επιχειρήσεις καταπολέμησης της θάλασσας. Για την αποκατάσταση ζημιών που έχουν προκληθεί από ρύπανση καθώς και για τις δαπάνες που έχουν γίνει για την αποτροπή ή την εξουδετέρωση αυτής, υπεύθυνος είναι αυτός που προκάλεσε υπαίτια τη ρύπανση και μαζί με αυτόν ευθύνονται σε ολόκληρο και οι παρακάτω³⁷:

37

www.imo.org

(α) Για πλοία και δεξαμενόπλοια, ο Πλοίαρχος, ο πλοιοκτήτης, ο εφοπλιστής, ο διαχειριστής του πλοίου στη Ελλάδα, και για πλοία και δεξαμενόπλοια που ανήκουν σε Ανώνυμες Εταιρείες και ο Πρόεδρος του Διοικητικού Συμβουλίου και ο Διευθύνων Σύμβουλος αυτής,

(β) Για εγκατάσταση, ο ιδιοκτήτης, αυτός που την εκμεταλλεύεται, εάν δε αυτή ανήκει σε εταιρεία ο Πρόεδρος του Διοικητικού Συμβουλίου και ο Διευθύνων Σύμβουλος αυτής, καθώς και όποιος γενικά εκπροσωπεί τη μονάδα που ρυπαίνει.

Αρμόδια δικαστήρια για την εκδίκαση των παραπάνω απαιτήσεων είναι τα δικαστήρια του τόπου που έγινε η ρύπανση, ή ενός από τα λιμάνια όπου κατέλυσε το πλοίο.³⁸

Σε περίπτωση ρύπανσης της ανοικτής θαλάσσης και μη κατάπλου του πλοίου σε ελληνικό λιμάνι, τα δικαστήρια Πειραιά. Με απόφαση του Υπουργού καθορίζεται το κόστος για την ανά ώρα χρησιμοποίηση των πλωτών, χερσαίων και εναέριων μέσων του Λιμενικού Σώματος, η αμοιβή του προσωπικού που ασχολήθηκε, καθώς και το κόστος των λοιπών μέσων και υλικών καταπολέμησης που χρησιμοποιήθηκαν ή αναλώθηκαν για την αντιμετώπιση του περιστατικού της ρύπανσης.

2.4.2 Διεθνής Νομοθεσία για τη θαλάσσια διακίνηση πετρελαίου

Η εξόρυξη και χρήση του πετρελαίου αρχίζει το 1859 με την ανακάλυψη των κοιτασμάτων στην Πενσυλβάνια των Η.Π.Α. Σχεδόν άμεσα το 1861 το πρώτο φορτίο με πετρέλαιο διασχίζει τον Ατλαντικό με το πλοίο Elizabeth Watts. Το πρώτο πλοίο ειδικά σχεδιασμένο και κατασκευασμένο για μεταφορά ποσοτήτων πετρελαίου είναι το Gluckauf που έγινε το 1886 στο Newcastle. Αυτό το πλοίο είχε κατασκευαστεί με οκτώ διαμερίσματα που είχαν το ίδιο πλάτος με το πλοίο, χωρίς διπλά τοιχώματα και με το πετρέλαιο να ακουμπά στο εσωτερικό κέλυφος του σκάφους. Με βάση αυτό το μοντέλο κατασκευάστηκαν τα σκάφη και για τον επόμενο αιώνα. Το μέγεθος των πλοίων αυξανόταν συνεχώς με την πάροδο του χρόνου από 25.000 dwt μετά τον Β' Παγκόσμιο πόλεμο, σε 300.000 dwt κατά το τέλος της δεκαετίας του '60. Το 1973 τα δεξαμενόπλοια είχαν φτάσει τα 500.000 dwt και σχεδιαζόταν πλοία 1.000.000 dwt.

Οι κανονισμοί ασφαλείας των δεξαμενόπλοιων αρχικά δεν ήταν διαφορετικοί από αυτούς για άλλα πλοία, δηλαδή γραμμές φόρτωσης για αποφυγή υπερφόρτωσης και εξοπλισμός για την διάσωση του πληρώματος. Γενικό ενδιαφέρον για την ρύπανση από πετρέλαιο εμφανίστηκε αρχικά κατά τη δεκαετία του '20 όταν οι Η.Π.Α. και η Κοινωνία των Εθνών ανέλαβαν να καθορίσουν διεθνή μέτρα για την καταπολέμηση της θαλάσσιας πετρελαϊκής ρύπανσης. Το 1926 στο Διεθνές Ναυτιλιακό Συνέδριο στην Washington έγινε η πρώτη διάσκεψη για την πετρελαϊκή ρύπανση. Το πρόβλημα αναλύθηκε τόσο τεχνικά όσο και νομικά αλλά η διάσκεψη δεν αναγνωρίστηκε από κανένα έθνος τότε. Η πετρελαϊκή ρύπανση έγινε ιδιαίτερα αισθητή στις ακτές του

³⁸ IMO/IPIECA (1994). Sensitivity Mapping for Oil Spill Response. International Maritime Organization/ International Petroleum Industry Environmental Conservation Association Report Series, Volume 1. 22p.

Ατλαντικού μετά το Β' Παγκόσμιο πόλεμο σαν άμεσο αποτέλεσμα των καταστροφών. Το 1954 το "International Convention for the Prevention of pollution of the Sea by Oil" (OILPOL), που τέθηκε σε εφαρμογή το 1958 απαγόρευσε την εκούσια απόρριψη πετρελαίου και μιγμάτων του από πλοία σε συγκεκριμένες θαλάσσιες περιοχές, απαίτησε την ύπαρξη εγκαταστάσεων για τα πετρελαϊκά απόβλητα των πλοίων και την ύπαρξη βιβλίου πετρελαίου για την καταγραφή του πετρελαίου και των αποβλήτων. Παρόλο που βοήθησε για την διατήρηση καθαρών θαλασσών δεν καθιέρωσε συστήματα τήρησης κανονισμών εκτός των υπάρχοντων εθνικών.

Με την ίδρυση του Intergovernmental Maritime Consultative Organization (IMCO) από τα Ηνωμένα Έθνη το 1958, διαδοχικά συνέδρια έγιναν ως το 1960 που εξέτασαν το ζήτημα της θαλάσσιας ρύπανσης, διατυπώνοντας κάποιες προτροπές αλλά αδυνατώντας να καταλήξουν σε συμπεράσματα για το θέμα της θαλάσσιας ρύπανσης. Το Μάρτιο του 1967 το δεξαμενόπλοιο Torrey Canyon εξόκειλε στη νοτιοδυτική ακτή της Αγγλίας. Η εκτεταμένη κάλυψη από τα μέσα ενημέρωσης επηρέασε την πολιτική. Το ατύχημα προκάλεσε την μεγαλύτερη διαρροή πετρελαίου στην ναυτιλιακή ιστορία ως το 1967. Περίπου 80.000 τόνοι πετρελαίου εξαπλώθηκαν ανάμεσα στις Αγγλικές και Γαλλικές ακτές σε ένα τόξο 200 μιλίων. Σαν αποτέλεσμα αυτής της καταστροφής έγινε αποδεκτό από τον IMCO το 1973 το "International Convention for the Prevention of Pollution from Ships" (MARPOL 73). Η ιδέα της κατασκευής δεξαμενόπλοιων με διπλά τοιχώματα προτάθηκε αμέσως μετά το περιστατικό του Torrey Canyon. Πριν την MARPOL 73 οι Η.Π.Α. έφεραν το θέμα στην ατζέντα των συζητήσεων αλλά η γενική αντίθεση έφερε την ιδέα για διαχωρισμένα έρμα (segregated ballast). Η MARPOL 73 απεικονίζει αυτή την τάση. Το Παράρτημα 1 που αφορά τους υδρογονάνθρακες δεν αναφέρεται στα διπλά τοιχώματα. Αναφέρεται η αρχή των διαχωρισμένων έρμων για προβλήματα που σχετίζονται με την λειτουργία των πλοίων και θέτονται κανόνες που αφορούν τα πλοία για τα πετρελαϊκά απόβλητα τους. Το θέμα των διπλών τοιχωμάτων επανέρχεται το 1976 μέχρι η MARPOL 78 να απαιτήσει διαχωρισμένα έρμα για όλα τα καινούρια δεξαμενόπλοια άνω των 20.000 dwt.

Μια σειρά ατυχημάτων σε δεξαμενόπλοια από το 1974 ως το 1977 οδήγησε τις Η.Π.Α. και άλλα κράτη στην διεξαγωγή της Διάσκεψης για την Ασφάλεια των Δεξαμενόπλοιων και την Πρόληψη της Ρύπανσης το 1978 που οδήγησε στην γρηγορότερη εφαρμογή των προτάσεων της MARPOL. Λίγες εβδομάδες μετά το συνέδριο το δεξαμενόπλοιο Amoco Cadiz εξόκειλε με συνολικές απώλειες 220.000 τόνους αργού πετρελαίου οδηγώντας στην μεγαλύτερη ως τότε διαρροή πετρελαίου της ιστορίας. Οι κατασκευές των δεξαμενόπλοιων συνεχίστηκαν υπό τις οδηγίες των MARPOL 73 και MARPOL 78 μέχρι τις αρχές του 1989 όταν το Exxon Valdez εξόκειλε στην περιοχή της Αλάσκας αφήνοντας να διαρρεύσουν 270.000 bbl πετρελαίου. Το περιστατικό αυτό έλαβε μεγάλη δημοσιότητα οδηγώντας το Κογκρέσσο των Η.Π.Α. να εφαρμόσει άμεσα την Oil Pollution Act 1990 που είχε αυστηρότερους περιορισμούς στην κατασκευή των πλοίων και την ασφαλέστερη μετακίνηση του πετρελαίου. Η νομοθεσία αυτή είναι η πρώτη που θέτει τις απαιτήσεις για υποχρεωτική χρήση διπλών τοιχωμάτων στα δεξαμενόπλοια. Επίσης αναφέρεται τόσο σε θέματα πρόληψης και απομάκρυνσης της πετρελαϊκής ρύπανσης. Το κεντρικό σημείο της πρόληψης είναι απαίτηση για διπλά τοιχώματα. Ειδικά, τα διπλά τοιχώματα

απαιτούνται για όλα τα δεξαμενόπλοια για τα οποία υπάρχει συμβόλαιο κατασκευής ή μετατροπής μετά τον Ιούλιο του 1990 και για πλοία που θα καθελκυστούν από το 1994 και μετά. Η χωρητικότητα είναι επίσης μέσα στις προδιαγραφές της νομοθεσίας. Το Σεπτέμβριο του 1990 η Ακτοφυλακή των Η.Π.Α. εξέδωσε τις προδιαγραφές για τα πλοία που θα μετέφεραν πετρέλαιο και θα έπρεπε να έχουν διπλά τοιχώματα και απευθύνονται στα πλοία: με σημαία Η.Π.Α., με σημαία Η.Π.Α. ή ξένης χώρας εφόσον λειτουργούν μέσα στα χωρικά ύδατα των Η.Π.Α. και με σημαία Η.Π.Α. ή ξένης χώρας εφόσον μεταφέρουν πετρέλαιο σε λιμάνι ή περιοχή υπό τον έλεγχο των Η.Π.Α.³⁹

Στη συνέχεια το 1990 το "International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Cooperation" (O.P.R.C. 90) παρείχε ένα γενικό πλαίσιο για την καταπολέμηση των περιστατικών. Τα συμμετέχοντα μέρη θα έπρεπε να καθορίσουν μέτρα για την αντιμετώπιση των περιστατικών είτε εθνικά είτε σε συνεργασία με άλλα κράτη. Τα πλοία επιβάλλεται να έχουν σχέδιο αντιμετώπισης της ρύπανσης από πετρέλαιο, με βάση οδηγίες του IMO⁴⁰. Ακόμα και οι παράκτιες εγκαταστάσεις πρέπει να έχουν σχέδια ανάγκης για την αντιμετώπιση των περιστατικών.

Τα οφέλη από την MARPOL 73/78 και τα άλλα συνέδρια ήταν ιδιαίτερα ικανοποιητικά όσο αναφορά τις εισροές πετρελαίου στη θάλασσα λόγω ναυτιλιακών διεργασιών. Το 1981 η εκτίμηση για τις εισροές ήταν περίπου 1470000 τόνοι πετρελαίου με το μεγαλύτερο μέρος να προέρχεται από διεργασίες ρουτίνας, όπως απόβλητα μηχανών και καθαρισμό δεξαμενών (700000 τόνους). Η ρύπανση από ατυχήματα ήταν υπεύθυνη μόνο για το 30 % του συνόλου. Το 1989 η αντίστοιχη εκτίμηση ήταν 568000 τόνοι με τις διεργασίες των δεξαμενόπλοιων να συνεισφέρουν μόνο 158000 τόνους.

Τα νομικά ζητήματα που προέκυψαν από το περιστατικό του Torrey Canyon που σχετίζονται με την βάση και την έκταση της υπαιτιότητας του ιδιοκτήτη του φορτίου ή του πλοίου, για ζημιές που προκύπτουν από την πετρελαϊκή ρύπανση οδήγησαν στο "International Convention on Civil Liability for Oil Pollution Damage" (CLC 69). Ο σκοπός του συνεδρίου ήταν να διασφαλίσει ότι ικανοποιητική αποζημίωση θα ήταν διαθέσιμη για άτομα ή κράτη που ζημιώνονται από πετρελαϊκή ρύπανση προερχόμενη από πλοία. Με βάση το συνέδριο, υπαίτιος για την ρύπανση και οφειλέτης της αποζημίωσης είναι ο ιδιοκτήτης του πλοίου που προκάλεσε την ρύπανση. Εντούτοις το συνέδριο παρείχε τη δυνατότητα στον πλοιοκτήτη να περιορίσει την αποζημίωση στα \$125 ανά τόνο και με μέγιστο ποσό αποζημίωσης τα \$14 εκατομμύρια για κάθε περιστατικό.

Παρόλο που το CLC παρείχε ένα χρήσιμο μηχανισμό για την διασφάλιση των

³⁹ IMO/IPIECA (1994). Sensitivity Mapping for Oil Spill Response. International Maritime Organization/ International Petroleum Industry Environmental Conservation Association Report Series, Volume 1. 22p.

⁴⁰ www.imo.org

αποζημιώσεων, δεν είχε ασχοληθεί ικανοποιητικά με όλα τα νομικά και οικονομικά ζητήματα. Μερικά κράτη διαφώνησαν με το καθεστώς του CLC, αφού βασιζόταν μόνο στην υπαιτιότητα του πλοιοκτήτη. Από την άλλη μεριά άλλα κράτη διαφώνησαν με τα ανώτερα όρια αποζημίωσης που φαινόταν να μην είναι ικανοποιητικά για ρύπανση από μεγαλύτερα δεξαμενόπλοια και ζήτησαν μεγαλύτερα όρια ή απεριόριστη αποζημίωση. Γι' αυτό το λόγο το "International Convention on the Establishment of an International Fund for Compensation for Oil Pollution Damage" (IOPC Fund 71 και 92) εξέτασε μία συμβιβαστική πρόταση για ένα διεθνές ταμείο, με συνδρομές από τους ενδιαφερόμενους, με σκοπό την μερική απαλλαγή των πλοιοκτητών από την υποχρέωση του CLC, εφόσον καλύπτονται οι όροι για την ασφαλή διακίνηση και την δυνατότητα επιπλέον αποζημίωσης όπου το CLC αδυνατεί να καλύψει τις πραγματικές αποζημιώσεις. Με βάση αυτά το ταμείο είναι υποχρεωμένο να πληρώνει αποζημιώσεις σε περιπτώσεις που δεν είναι δυνατή η ύπαρξη αποζημίωσης από τον πλοιοκτήτη ή δεν είναι ικανοποιητική. Η συνολική όμως αποζημίωση από τον πλοιοκτήτη και το ταμείο δεν μπορεί να υπερβαίνει τα \$80 εκατομμύρια και υπολογίζεται με βάση την χωρητικότητα του πλοίου σύμφωνα με το Fund 71 ενώ σύμφωνα με την τροποποίηση του 1992 μπορεί να φτάσει σε εξαιρετικές περιπτώσεις τα \$182 εκατομμύρια. Ακόμα το ταμείο εξασφαλίζει στον πλοιοκτήτη αποζημίωση \$100 ανά τόνο ή \$8,3 εκατομμύρια, όποια είναι μικρότερη. Συνδρομές στο ταμείο γίνονται από όλους όσους παραλαμβάνουν πετρέλαιο μέσω θάλασσας. Είναι ενδιαφέρον να παρατηρηθεί ότι οι μεγαλύτερες εισφορές στο ταμείο προέρχονται από τις εταιρίες εισαγωγής πετρελαίου της Ιαπωνίας, ακολουθούμενες από την Ιταλία, την Ολλανδία, την Κορέα και τη Γαλλία. Στον αντίποδα οι πετρελαιοπαραγωγές χώρες μπορούν να είναι μέλος του ταμείου με ελάχιστες εισφορές από τις βιομηχανίες τους πετρελαίου και παραγωγής ενέργειας .

Οι αποδεκτές απαιτήσεις για αποζημίωση που προκύπτουν από τα συνέδρια πρέπει να εμπίπτουν στον προσδιορισμό τους για την "Βλάβη από ρύπανση - Pollution damage". Στον ορισμό αυτό περιλαμβάνονται τα προστατευτικά μέτρα συμπεριλαμβανόμενου και του καθαρισμού, οι βλάβες σε ιδιοκτησία, οι οικονομικές απώλειες από διάφορες δραστηριότητες και η αποκατάσταση των πληγέντων περιοχών

.⁴¹

⁴¹ IMO/IPIECA (1994). Sensitivity Mapping for Oil Spill Response. International Maritime Organization/ International Petroleum Industry Environmental Conservation Association Report Series, Volume 1. 22p.

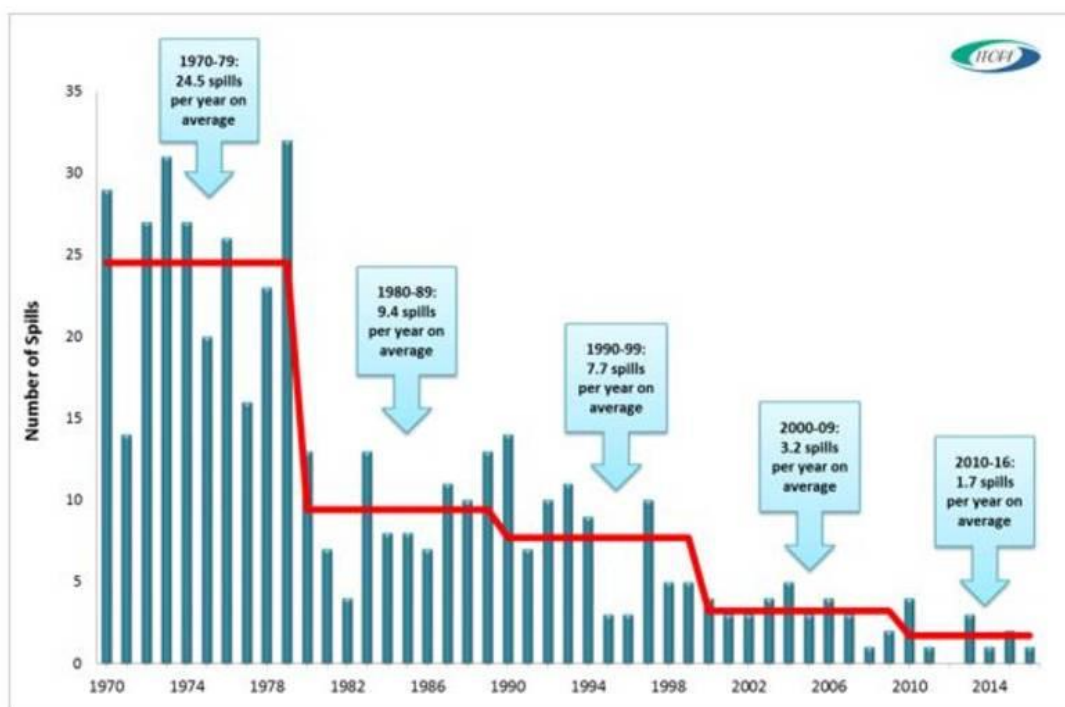
Κεφάλαιο 3^ο :

Παρουσίαση των Επίσημων Αξιολογήσεων Ασφαλείας και της Βάσης Δεδομένων

3.1 Επίσημες αξιολογήσεις για την Ασφάλεια

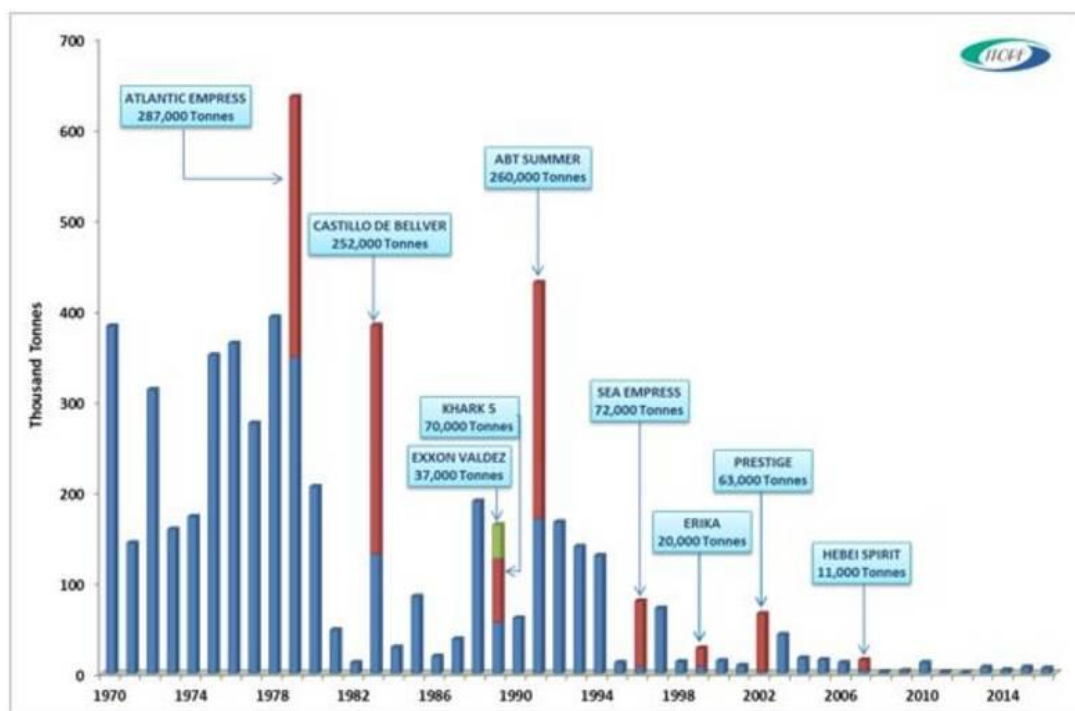
Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος με πετρέλαιο μπορεί να προκληθεί από ένα σημαντικό αριθμό τύπων πλοίου. Ωστόσο η παρούσα εργασία θα επικεντρωθεί στα περιστατικά ρύπανσης που έχουν προκληθεί από τα δεξαμενόπλοια (Tanker). Η Διεθνής Ομοσπονδία Ιδιοκτητών Δεξαμενόπλοιων που συνέβαλαν σε ρύπανση (ITOPF) διατηρεί με μια μεγάλη βάση δεδομένων για τα εν λόγω περιστατικά. Στους δύο παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται αρχικά ο αριθμός μεγάλων διαρροών (από 700 τόνους και πάνω) ανά έτος για την περίοδο 1970 έως το 2016 και στη συνέχεια η ετήσια ποσότητα διαρροής (για ατυχήματα άνω των 7 τόνων) για την αντίστοιχη χρονική περίοδο.

Πίνακας 1



Πηγή: <http://www.itopf.com/knowledge-resources/data-statistics/statistics/>

Πίνακας 2



Πηγή: <http://www.itopf.com/knowledge-resources/data-statistics/statistics/>

Γίνεται προφανές από τους δύο πίνακες πως τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια σημαντική μείωση τόσο στον αριθμό των διαρροών όσο και στην ποσότητα του πετρελαίου που έχει διαρρέει στο θαλάσσιο περιβάλλον. Ωστόσο, η περεταίρω μείωση τους είναι ένας από τους δεδηλωμένους στόχους όλων των νέων κανονισμών που εισάγονται. Η διαχείριση της ασφάλειας στη θάλασσα βασίζεται σε ένα σύνολο αποδεκτών κανόνων που είναι, σε γενικές γραμμές, σύμφωνα με τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO)⁴², ο οποίος είναι μια οργάνωση των Ηνωμένων Εθνών που ασχολείται με όλες τις πτυχές της ασφάλειας στη θάλασσα και την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Πολλοί από αυτούς τους κανονισμούς στοχεύουν στη μείωση των περιβαλλοντικών κινδύνων και, πιο συγκεκριμένα, στο κίνδυνο που σχετίζεται με την διαρροή πετρελαίου. Μπορεί επίσης να υποστηριχθεί ότι ένα μεγάλο μέρος της πολιτικής για την ασφάλεια στη θάλασσα σε όλο τον κόσμο έχει αναπτυχθεί στον απόηχο των σοβαρών ατυχημάτων (όπως «Exxon Valdez», «Erika» και «Prestige» που φαίνονται με κόκκινο χρώμα στον Πίνακα 2).

Ο IMO συμβάλλοντας στη μείωση του ρίσκου στις θαλάσσιες μεταφορές, έχει εκδώσει τις Επίσημες Αξιολογήσεις της Ασφάλειας (Formal Safety Assessment ή FSA)

⁴²

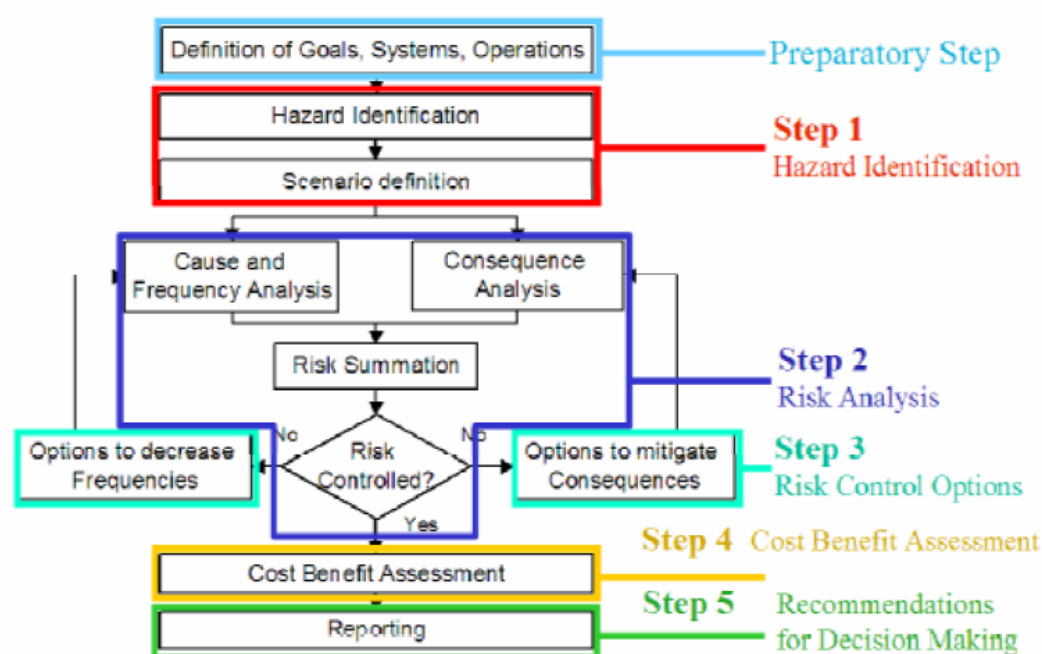
IMO, 2015. Formal Safety Assessment on Crude Oil Tankers.

για διάφορους τύπους πλοίων. Η FSA που μελετήθηκε και παρουσιάζεται παρακάτω αφορούσε το δεξαμενόπλοια αργού πετρελαίου (crude oil tankers)⁴³.

Αρχικά, θα πρέπει να διευκρινιστεί πως μια Επίσημη Αξιολόγηση Ασφαλείας αποτελεί μια δομημένη και συστηματική μεθοδολογία, με στόχο τη θαλάσσια ασφάλεια, συμπεριλαμβανομένης της προστασίας της ζωής, της υγείας, του θαλάσσιου περιβάλλοντος και της ιδιοκτησίας, μέσα από την ανάλυση των κινδύνων και την αξιολόγηση κόστους οφέλους (cost benefit assessment). Η FSA μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα εργαλείο τόσο για την εκτίμηση νέων κανονισμών για την ασφάλεια και προστασία στις θάλασσες όσο και για τη σύγκριση μεταξύ ισχυόντων κανονισμών με πιθανές βελτιώσεις τους.

Η Επίσημη Αξιολόγηση Ασφαλείας, πραγματοποιείται κατά τον τρόπο που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Εικόνα 1



Πηγή: FSA-Crude Oil Tankers, MEPC 58/17/2 (2008)

Όπως φαίνεται στη παραπάνω εικόνα, εφόσον έχουν οριστεί το πρόβλημα, οι στόχοι και τα εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν, τα βήματα που ακολουθήθηκαν και περιγράφονται στη συνέχεια είναι τα εξής πέντε:

1) Η ταυτοποίηση των κινδύνων

Στο αρχικό αυτό στάδιο, άτομα από τη βιομηχανία των δεξαμενόπλοιων, συγκεντρώθηκαν και κατέληξαν σε ένα σύνολο 81 κινδύνων σχετικών με την ανθρώπινη ζωή και την οικολογική καταστροφή.

⁴³ FSA-Crude Oil Tankers, MEPC 58/17/2 (2008)

2) Η ανάλυση του ρίσκου

Στο δεύτερο βήμα, πραγματοποιήθηκε μια ιστορική αναδρομή στα ατυχήματα που είχαν λάβει χώρα από το 1978 μέχρι και το 2007 και εντοπίστηκαν οι κυριότερες αιτίες τους, όπως η προσάραξη, η σύγκρουση, η επαφή κ.α. Στη συνέχεια αξιολογήθηκε η συχνότητα με την οποία συμβαίνουν και οι συνέπειες τους και υπολογίστηκε το ρίσκο.

3) Η εύρεση μέτρων περιορισμού του ρίσκου

Στο τρίτο βήμα, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της ανάλυσης ρίσκου σε μια ομάδα ειδικών, οι οποίοι κατέληξαν σε 79 εναλλακτικά μέτρα περιορισμού του (Risk Control Options ή RCOs), τα οποία αξιολογήθηκαν ως προς την αποδοτικότητά τους κόστους του. Μετά από την αξιολόγηση, αποκλείστηκαν τα RCOs τα οποία ήταν λιγότερο πιθανό να είναι αποδοτικά ως προς το κόστος βάσει των διαδικασιών και των κριτηρίων του IMO και επιλέχθηκαν συνολικά έντεκα, όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3

Table 7: RCOs selected for cost benefit analysis

No	RCO
RCO 3	Active Steering Gear Redundancy
RCO 4	Electronic Chart Display and Information System (ECDIS)
RCO 5	Terminal Proximity and Speed Sensors (Docking Aid)
RCO 6	Navigational Sonar
RCO 7	Design modifications to reduce collision, contact, grounding and oil pollution risks RCO 7.1: Enhanced Cargo Tank Subdivision RCO 7.2: Increased double bottom height RCO 7.3: Increased side tanks width
RCO 8	Better implementation of Hot Work Procedures
RCO 9	Double Sheathed Fuel oil pipes within the engine-room
RCO 11	Engine control room additional emergency exit
RCO 12	Hull stress and fatigue-monitoring system

Πηγή: FSA-Crude Oil Tankers, MEPC 58/17/2 (2008)

4) Η αξιολόγηση κόστους-οφέλους για τα μέτρα

Σε αυτό το στάδιο, για τα παραπάνω RCOs υπολογίστηκαν η μείωση του ρίσκου, το κόστος τους και το όφελός τους, και πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση της αποδοτικότητά τους ως προς το κόστος, βάσει των κανόνων και των κριτηρίων που θέτει ο IMO. Το κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη FSA είναι το CATS (Cost of Averting one Tonne Spilled) και υπολογίζεται από τον τύπο:

- $CATS = \frac{\Delta C}{\Delta R_E}$, όπου ΔC είναι το είναι το κόστος του RCO και ΔR_E η μείωση του ρίσκου σε τόνους που απετράπησαν να διαρρεύσουν.

Η μέγιστη τιμή που του αποδόθηκε ως όριο για να είναι ένα RCO αποδοτικό ως προς το κόστος ήταν τα 60.000 δολάρια Αμερικής (USD \$). Όπως φαίνεται από τον παρακάτω πίνακα όλα τα RCOs είναι κάτω από αυτό το όριο, συνεπώς χαρακτηρίστηκαν cost effective. Το κόστος υλοποίησης που αναφέρεται στην τέταρτη στήλη είναι το συνολικό εκτιμώμενο κόστος για όλη τη διάρκεια «ζωής» του δεξαμενόπλοιου, με αυτή τη διάρκεια υπολογισμένη στα 25 χρόνια

Πίνακας 4

	Risk Reduction ΔR_S	Oil Spill Reduction ΔR_E	Cost ΔC	Benefit ΔB	$GCAF = \frac{\Delta C}{\Delta R_S}$	$CATS = \frac{\Delta C}{\Delta R_E}$	$NCAF = \frac{\Delta C - \Delta B}{\Delta R_S}$
	# of saved lives ¹⁾	Tonnes ¹⁾	USD ¹⁾²⁾	USD ¹⁾²⁾³⁾	USD	USD	USD
RCO 3: Active Steering Gear Redundancy	1.2E-4	16	4,800	530,000	40,000,000	300	-4,377,000,000
RCO 4: ECDIS	1.2E-3	170	75,000	5,667,000	62,500,000	440	-4,660,000,000
RCO 5: Terminal Proximity & Speed Sensors	N/A	4	86,000	119,000	N/A	21,500	N/A
RCO 6: Navigational Sonar	4.9E-4	70	196,500	2,361,000	401,000,000	2,800	-4,417,000,000
RCO 8: Hot Works Procedures Training	1.9E-02	45	28,000	2,200,000	1,450,000	450	-111,000,000
RCO 9: Double Sheathed Low Pressure Fuel Pipes	1.4E-02	154	39,000	5,300,000	2,700,000	250	-371,000,000
RCO 11: Engine Control Room Additional Emergency Exit	4.4E-03	N/A	13,840	N/A	3,169,000	N/A	3,169,000
RCO 12: Hull Stress & Fatigue Monitoring System	5.3E-04	4	128,000	134,000	241,000,000	32,000	-10,200,000

¹⁾ Per ship lifetime, assumed to be 25 years.
²⁾ Includes NPV at 5% per year where relevant.
³⁾ Reduced PLC and PLP.

Πηγή: FSA-Crude Oil Tankers, MEPC 58/17/2 (2008)

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί πως το κριτήριο CATS προκάλεσε αντικείμενο έντονης μελέτης και αμφισβήτησης από τους ειδικούς. Ίσως, οι πρώτοι οι οποίοι αμφισβήτησαν την εγκυρότητά του ήταν ο καθηγητής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Χαρίλαος Ψαραύτης μαζί με το μεταπτυχιακό φοιτητή Χρήστο Κοντόβα με το άρθρο τους “Assessing Environmental risk: Is a single figure realistic as an estimate for the cost of averting one tonne of spilled oil?”(2006). Στο οποίο εκφράζουν τις επιφυλάξεις τους για το κατά πόσο μια τόσο μεγάλη τιμή για μια μονάδα τόνου είναι ακριβής και μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις χώρες για την αξιολόγηση κανονισμών περιορισμού του ρίσκου προτείνοντας σε μεταγενέστερα άρθρα τους (2008) μια μη γραμμική εξίσωση για την εκτίμηση του συνολικού κόστους. Παρόμοιες εξισώσεις δημοσιεύθηκαν και σε άλλα άρθρα όπως του Y. Yamada (2009) και των Hammann και Loer (2010). Τα παραπάνω οδήγησαν στην κατάργηση του κριτηρίου CATS και στην εισαγωγή από τον IMO της εναλλακτικής διαδικασίας για τον αξιολόγηση της αποδοτικότητας των RCOs ως προς το κόστος που περιγράφεται στην συνέχεια.

Αρχικά, υπολογίζεται το αναμενόμενο συνολικό κόστος από την παρακάτω μη γραμμική εξίσωση:

$$f(V) = 67.275V^{0.5893},^{44}$$

όπου V είναι όγκος της κηλίδας σε τόνους.

Κατόπιν, υπολογίζεται το κοινωνικό κόστος ή societal cost (SC) από τον παρακάτω τύπο:

$$SC = F_{Assurance} * F_{Uncertainty} * f(V),$$

όπου $F_{Assurance}$ είναι ένας παράγοντας ασφαλείας που επιτρέπει στην κοινωνία να πληρώσει περισσότερα για να αποτρέψει ατυχήματα και $F_{Uncertainty}$ είναι ο παράγοντας που περιλαμβάνει τις αβεβαιότητες σχετικά με το κόστος που προκύπτει από ένα περιστατικό ρύπανσης. Στην προκειμένη μελέτη, όπως προτείνεται και από τον IMO, και η δύο παράγοντες έχουν υπολογιστεί ίσοι με τη μονάδα και κατά συνέπεια το societal cost είναι ίσο με το συνολικό κόστος.

Τέλος, για τον έλεγχο της αποδοτικότητας ενός RCO ως προς το κόστος χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$\Delta C < \Delta SC \text{ (ή } \Delta TC)$$

όπου ΔC είναι αναμενόμενο κόστος του RCO και ΔSC είναι η αναμενόμενη τιμή της διαφοράς του κοινωνικού/συνολικού κόστους πριν την εφαρμογή του RCO μείον το κοινωνικό/συνολικό κόστος μετά την εφαρμογή του RCO.

44

MEPC 62/INF.24

5) Προτάσεις για τις αποφάσεις

Σε αυτό το τελευταίο στάδιο, συνοψίζονται τα αποτελέσματα των παραπάνω βημάτων με σκοπό την δημιουργία προτάσεων για τους αρμόδιους λήπτες αποφάσεων.

3.2 Βάση Δεδομένων

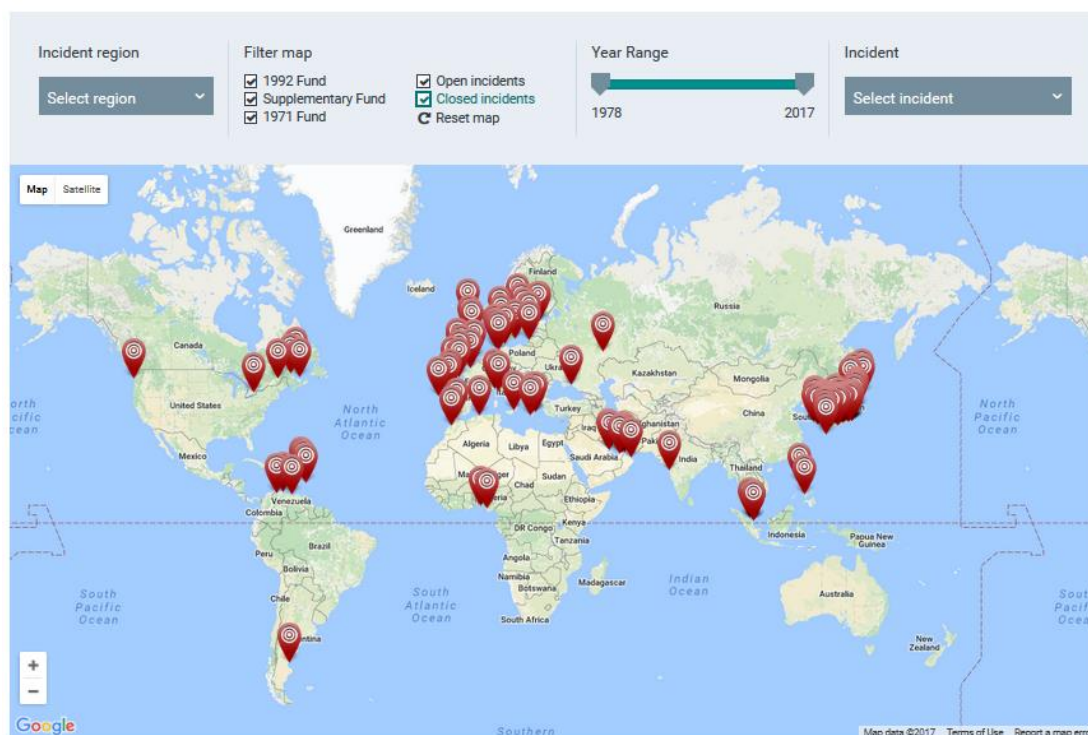
Για να μπορέσουν να εφαρμοστούν οι μεθοδολογίες που αναλύθηκαν προηγουμένως και να μελετηθεί η διάθεση του IMO ως προς το ρίσκο, ανάλογα με τα μέτρα περιορισμού του που προτείνει, έπρεπε να βρεθεί μια βάση δεδομένων με περιπτώσεις κηλίδων που έχουν συμβεί και για τις οποίες είναι γνωστά τα αποτελέσματά τους. Ο αρμόδιος φορέας από τον οποίο αντλήθηκαν τα απαραίτητα στοιχεία για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων μας, ήταν το διεθνές Ταμείο Αποζημίωσης για Πετρελαϊκή Ρύπανση (IOPCF).

Το συγκεκριμένο ταμείο, όπως αναφέρθηκε και στο δεύτερο κεφάλαιο, παρέχει οικονομικές αποζημιώσεις για οικολογικές καταστροφές που έχουν προκληθεί σε κράτη μέλη του από διαρροές πετρελαίου από δεξαμενόπλοια.

Η ιστορία του ταμείου ξεκινάει το 1967, με το ατύχημα του δεξαμενόπλοιου Torrey Canyon, που έλαβε χώρα στις κοντά στις ακτογραμμές της Γαλλίας και της Αγγλίας. Το εν λόγω περιστατικό, κατέδειξε ένα πλήθος σημαντικότερων ελλείψεων και πιο συγκεκριμένα την απουσία μια διεθνούς συμφωνίας για τις οικονομικές υποχρεώσεις και τις αποζημιώσεις που ακολουθούν ένα τέτοιο περιστατικό. Ως συνέπεια, η διεθνής κοινότητα οδηγήθηκε, υπό την αιγίδα του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού, στη δημιουργία ενός προγράμματος αποζημίωσης για τα θύματα πετρελαϊκής ρύπανσης. Η αποζημίωση για τη ρύπανση πετρελαίου που προκλήθηκε από δεξαμενόπλοια διέπεται από τέσσερις διεθνείς συμβάσεις, τη *Διεθνή Σύμβαση του 1969 και του 1992 περί αστικής ευθύνης για ζημίες ρύπανσης από πετρέλαιο ("CLC 1969" και "CLC 1992")* και τις *συμβάσεις του 1971 και 1992 για την ίδρυση ενός διεθνούς ταμείου για την αποζημίωση Ζημιών Ρύπανσης από Πετρέλαιο ("1971 Fund" και "1992 Fund")*. Οι συμβάσεις αυτές είναι μια από κοινού δημιουργία ενός διεθνούς συστήματος, εφόσον πληρούνται οι προϋποθέσεις ορθής κοστολόγησης του καθαρισμού και της αποζημίωσης, πρώτα από τον εκάστοτε ιδιοκτήτη του δεξαμενόπλοιου έως το σχετικό CLC όριο της υποχρεωτικής ασφάλισης και, στη συνέχεια, καλύπτεται η διαφορά από τα διεθνή ταμεία IOPC, εάν τα ποσά που απαιτούνται υπερβαίνουν τα όρια CLC.

Το ταμείο IOPCF, μέχρι το 2013 εξέδιδε μαζί με την Ετήσια Έκθεσή άλλη μια έκθεση μόνο με τα περιστατικά στα οποία έχει εμπλακεί. Από το 2014 η αντίστοιχη έκθεση περιστατικών έχει ενσωματωθεί στην ιστοσελίδα του ταμείου όπου επιλέγοντας το πεδίο Incidents, μπορούν να αναζητηθούν οι πληροφορίες για τα αντίστοιχα περιστατικά όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.

Εικόνα 2



Πηγή: <http://www.iopcfunds.org/incidents/incident-map/>

Στην Εικόνα 2, παρουσιάζονται όλα τα ατυχήματα στα οποία έχε εμπλακεί το ΙΟΡΟΑ μεσώ του 1971 Fund και του ταμείου που το διαδέχτηκε, το 1992 Fund, από το 1979 μέχρι το 2015. Κάθε σημείο στο χάρτη αντιστοιχεί σε ένα περιστατικό και επιλέγοντας οποιοδήποτε από τα σημεία εμφανίζονται αναλυτικά όλες οι πληροφορίες για το αντίστοιχο περιστατικό. Ωστόσο επειδή το πλήθος των πληροφοριών για τα περιστατικά είναι μεγάλο, το ΙΟΡΟΑ έχει δημιουργήσει δύο περιληπτικούς πίνακες όπως παρουσιάζονται μερικώς στις παρακάτω εικόνες.

Εικόνα 3

Incidents related to the 1971 Fund					
INCIDENT	DATE OF INCIDENT ^	PLACE OF INCIDENT	ESTIMATED QUANTITY OF OIL SPILLED (TONNES)	COMPENSATION PAID BY THE 1971 FUND UP TO 31.12.2014	
<i>Irving Whale</i>	07.09.1970	Gulf of St. Lawrence, Canada	Unknown	Nil	FULL DETAILS
<i>Antonio Gramsci</i>	27.02.1979	Ventspils, USSR	5 500	SEK 95 707 157	FULL DETAILS
<i>Miya Maru N°8</i>	22.03.1979	Bisan Seto, Japan	540	¥140 110 582	FULL DETAILS
<i>Tarpenbek</i>	21.06.1979	Selsey Bill, United Kingdom	Unknown	363 550	FULL DETAILS
<i>Mebaruzaki Maru N°5</i>	08.12.1979	Mebaru, Japan	10	¥10 188 335	FULL DETAILS
<i>Showa Maru</i>	09.01.1980	Naruto Strait, Japan	100	¥103 104 874	FULL DETAILS

Πηγή: <http://www.iopcfunds.org/incidents/incidents-summary-table/>

Εικόνα 4

Incidents related to the 1992 Fund					
INCIDENT	DATE OF INCIDENT ^	PLACE OF INCIDENT	ESTIMATED QUANTITY OF OIL SPILLED (TONNES)	COMPENSATION PAID BY THE 1992 FUND UP TO 31.12.2015	
Incident in Germany	20.06.1996	North Sea coast, Germany	Unknown	€1 413 522	FULL DETAILS
<i>Nakhodka</i>	02.01.1997	Oki Islands, Japan	6 200	¥9 971 613 596	FULL DETAILS
<i>Osung N°3</i>	03.04.1997	Tunggado, Republic of Korea	Unknown	KRW 7 674 268 000 and ¥851 039 365	FULL DETAILS
Incident in United Kingdom	28.09.1997	Essex, United Kingdom	Unknown	Nil	FULL DETAILS
<i>Santa Anna</i>	01.01.1998	Devon, United Kingdom	280	Nil	FULL DETAILS

Πηγή: <http://www.iopcfunds.org/incidents/incidents-summary-table/>

Στην Εικόνα 3 φαίνεται ο πίνακας με τα περιστατικά στα οποία έχει εμπλακεί το ΙΟΡΚΦ με το ταμείο του 1971, στο σύνολό τους 105, και στην Εικόνα 4 τα αντίστοιχα με το ταμείο του 1992, στο σύνολο τους 41. Καθένας από τους δύο πίνακες τα στοιχεία που περιγράφονται είναι:

1. Το κωδικό νούμερο της υπόθεσης
2. Το όνομα του πλοίου
3. Η ημερομηνία που συνέβη το περιστατικό
4. Η ακριβής ημερομηνία κατά την οποία συνέβη το περιστατικό
5. Η περιοχή στην οποία έλαβε χώρα
6. Η σημαία του πλοίου
7. Η χωρητικότητα του πλοίου

8. Το είδος του ατυχήματος που περιλαμβάνει τα εξής:
 - ο Σπάσιμο
 - ο Προσάραξη
 - ο Βύθιση
 - ο Σύγκρουση
 - ο Επαφή με την αποβάθρα
 - ο Φωτιά
 - ο Έκρηξη
 - ο Διάβρωση
 - ο Κακή διαχείριση του φορτίου
 - ο Κακή διαχείριση της παροχής πετρελαίου
 - ο Καταστροφή των δεξαμενών από καταγίδα
 - ο Σύγκρουση με σημαδούρα
9. Το μέγεθος της κηλίδας
10. Το ποσό αποζημίωσης στο νόμισμα της χώρας που συνέβη το περιστατικό
11. Το κόστος καθαρισμού (cleanup cost)
Είναι το κόστος των διαδικασιών αντιμετώπισης της κηλίδας στη θάλασσα συμπεριλαμβανομένων και των ακτών.
12. Το κόστος των προληπτικών μέτρων
13. Τα κόστη σε σχέση με την αλιεία
14. Τα κόστη σε σχέση με τον τουρισμό
15. Τις οικονομικές απώλειες επαναφοράς του περιβάλλοντος
16. Το συνολικό κόστος
Αποτελεί το άθροισμα των ποσών από το 11 έως το 15.’

Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να αναφερθεί πως όπως φαίνεται και από τις Εικόνες 3 και 4 δεν ήταν γνωστά όλα τα στοιχεία για καθένα από τα περιστατικά. Υπάρχουν περιστατικά για τα οποία δεν είναι γνωστή είτε η ποσότητα του πετρελαίου που διέρρευσε είτε το κόστος της. Επίσης, στα περισσότερα περιστατικά δεν αναφέρονται άλλα κόστη πέρα από τα κόστη καθαρισμού, κατά συνέπεια για τα ένα μεγάλο μέρος το συνολικό κόστος ταυτίζεται με το κόστος καθαρισμού.

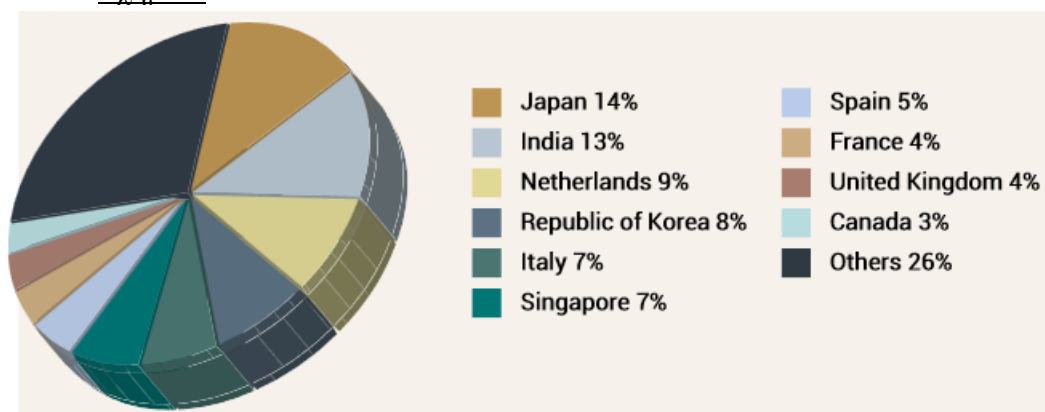
Επιπροσθέτως, θα πρέπει να σημειωθεί ότι στη βάση δεδομένων του IOPCF δεν περιλαμβάνονται διαρροές από τις ΗΠΑ και την Κίνα, καθώς οι συγκεκριμένες χώρες δεν έχουν υπογράψει τις παραπάνω συμβάσεις. Ως εκ τούτου, στη βάση δεδομένων μας δεν περιλαμβάνονται στοιχεία από τις διαρροές αυτών των χωρών, όπως το «Echpon Valdez». Σύμφωνα με την Ετήσια Έκθεση για το 2015 το ισχύον ταμείο, 1992 Fund, αποτελείται από 114 κράτη μέλη μεταξύ των οποίων είναι και η Ελλάδα.

Σχετικά με τα ποσά που αναφέρονται στους παραπάνω πίνακες είναι σημαντικό να αναφερθούν κάποιοι περιορισμοί που τα διέπουν. Πρώτα απ' όλα, θα πρέπει να επισημανθεί ότι οι δαπάνες που αναφέρει η IOPCF δεν αποτελούν «πραγματικό» κόστος μιας πετρελαιοκηλίδας. Αναφέρονται μόνο στο χρηματικό ποσό που έχει

συμφωνηθεί ως αποζημίωση στους ενάγοντες. Οι εκτιμήσεις των ζημιών υπολογίζονται εφαρμόζοντας μεθόδους οικονομικής αξιολόγησης, τα ποσά που διεκδικούνται και το τελικό ποσό της αποζημίωσης που καταβάλλεται στους αιτούντες δεν μπορεί ποτέ να είναι ίσα. Οι απαιτήσεις δεν μπορούν να καλυφθούν στο σύνολό τους, ειδικά στην περίπτωση των μεγάλων διαρροών, δεδομένου ότι η συνολική αποζημίωση που καταβάλλεται περιορίζεται από τη σύμβαση του 1992 για την Αστική Ευθύνη (CLC) και το 1992 Ταμείο με ανώτατο όριο τα 203 εκατ SDR, που είναι περίπου ίσο με US \$ 327 εκατομμύρια. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του ατυχήματος του «Prestige» είχαν καταβληθεί 172 εκατομμύρια ευρώ από το 1992 Fund, το οποίο είναι μόνο το 2% του συνολικού μακροπρόθεσμου κόστους της πετρελαιοκηλίδας. Τα όρια που θέτονται εξαρτώνται από την ολική χωρητικότητα του πλοίου.

Με βάση την πιο πρόσφατη ετήσια έκθεση IOPCF οι εισφορές των κρατών μελών του 1992 Fund μπορούν να φανούν στο παρακάτω σχήμα.

Σχήμα 3



Πηγή: IOPCF, Annual Review 2015

Πίνακας 5

List of the most expensive spills in terms of total per-tonne cost.

	Ship name	Year	Spill size (tn)	Place	Flag	Cause
1	Plate Princess	1997	3.2	Venezuela	Malta	Overflow during loading operation
2	Daiwa Maru No. 18	1997	1.0	Japan	Japan	Mishandling of oil supply
3	Shinryu Maru No. 8	1995	0.5	Japan	Japan	Mishandling of oil supply
4	Volgoneft 139	2007	1600.0	Strait of Kerch	Russia	Breaking
5	Dainichi Maru No. 5	1989	0.2	Japan	Japan	Mishandling of cargo
6	Kriti Sea	1996	30.0	Greece	Greece	Mishandling of supply
7	Tsubame Maru No. 31	1997	0.6	Japan	Japan	Overflow during loading operation
8	Shosei Maru	2006	60.0	Japan	Japan	Collision
9	Iliad	1993	200.0	Greece	Greece	Grounding
10	Sambo No. 11	1993	4.0	Korea	Korea	Grounding

Πηγή: Kontovas C., Psaraftis H, Ventikos N., An empirical analysis of IOPCF data

Στο παραπάνω σχήμα, ενδιαφέρον προκαλούν οι δαπάνες (στο συνολικό κόστος μονάδας) που προέρχονται από την Ιαπωνία. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5 προέρχονται κυρίως από μικρές διαρροές που προκαλούνται από κακή διαχείριση του εφοδιασμού πετρελαίου. Τέλος, ένα άλλο σημαντικό ζήτημα που τίθεται από πολλούς ερευνητές αφορά τις αποζημιώσεις του ΙΟΡCF οι οποίες πιθανώς να υποτιμούν το κόστος των πετρελαιοκηλίδων, δεδομένου ότι δεν περιλαμβάνουν το κόστος των περιβαλλοντικών ζημιών. Μόνο οι αποδεκτές αιτήσεις λαμβάνονται υπόψη για να αποζημιωθούν και, πρακτικά, σύμφωνα με τα ιστορικά στοιχεία, λιγότερο από το 1% περιείχε εκτιμήσεις ζημιών σε φυσικούς πόρους. Επιπροσθέτως, σύμφωνα με το ΙΟΡCF: *" η αποκατάσταση περιβαλλοντικής ζημίας (εκτός από την οικονομική ζημία που προκύπτει από την καταστροφή του περιβάλλοντος) περιορίζεται στις δαπάνες για τα εύλογα μέτρα επαναφοράς του μολυσμένου περιβάλλοντος και, ως εκ τούτου, οι αξιώσεις για ζημιές στο οικοσύστημα δεν είναι παραδεκτές "*.

3.3 Σημαντικά περιστατικά ρύπανσης που περιλαμβάνονται στη βάση δεδομένων

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται πιο αναλυτικά μερικά από τα σημαντικότερα, σε ποσότητα διαρροής και συνολικό κόστος, ατυχήματα στα οποία έχει εμπλακεί το ταμείο ΙΟΡC.

BRAER⁴⁵



Πηγή: ΙΤΟΡF

Στις 5 Ιανουαρίου του 1995, το δεξαμενόπλοιο BRAER πλέοντας από το Μπέργκεν της Νορβηγίας προς Κεμπέκ του Καναδά, όντας φορτωμένο με 85.000 τόνους αργού πετρελαίου, έχασε την ισχύ στον κινητήρα του λόγω εισροής θαλασσινού νερού στις μηχανές από ελαττωματική υδρορροή. Η ακτοφυλακή αρχικά ενημερώθηκε πως το πλοίο δεν διέτρεχε άμεσο κίνδυνο όμως τρεις ώρες μετά λόγω των θυελλωδών

⁴⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/MV_Braer

ανέμων που έπνεαν στην περιοχή και υπό το φόβο ότι το πλοίο θα προσαράξει στο νησί Horse, αποφασίστηκε η εκκένωση το πλοίου. Έξι ώρες μετά το πλοίο είχε προσαράξει στο Garths Ness με το πετρέλαιο να έχει αρχίσει να διαρρέει στη θάλασσα από τη στιγμή της επαφής με το βυθό. Συνολικά 84.000 τόνοι αργού πετρελαίου διέρρευσαν στη θάλασσα και αποτελεί το μεγαλύτερο ατύχημα διαρροής στο οποίο έχει συμμετάσχει το ταμείο με το συνολικό κόστους να φτάνει τα 116.000.000\$.

ΑEGEAN SEA^{46 47}



Πηγή:<http://wwz.cedre.fr/en/Ourresources/Spills/Spills/Aegean-Sea>

Το περιστατικό ρύπανσης έλαβε χώρα στις 3 Δεκεμβρίου του 1992 όταν το ελληνικό πλοίο μεταφοράς μεταλλεύματος AEGEAN SEA στην προσπάθεια του να πλησιάσει το λιμάνι της Λα Κορούνια, εν μέσω σφοδρής κακοκαιρίας, βγήκε εκτός πορείας και προσάραξε. Το πλοίο έσπασε στα δύο και έπιασε φωτιά που, σε συνδυασμό με το φορτίο που χύθηκε, έκαιγε για αρκετές ημέρες και οδήγησε στην προσωρινή μαζική εκκένωση του της πόλης τη Λα Κορούνια. Συνολικά εκτιμάται ότι διέρρευσαν στη θάλασσα 73.000 τόνοι οι οποίοι είτε εξαπλώθηκαν στη θάλασσα είτε καταναλώθηκαν από την πυρκαγιά που ξέσπασε. Παρά τις προσπάθειες περιορισμού της ρύπανσης και προστασίας των ακτών και των παραλιών, το πετρέλαιο εξαπλώθηκε σε συνολικά 300 χιλιόμετρα ακτογραμμής. Η αλιεία απαγορεύτηκε στην περιοχή μέχρι τον Σεπτέμβριο του 1993 και ο τουρισμός παρουσίαση σημαντική πτώση. Ο αριθμός των αιτήσεων για αποζημιώσεις έφτασε τις 900 με συνολικό κόστος πάνω 1.000.000.000\$. Το τελικό ποσό αποζημίωσης που συμφωνήθηκε τελικά τον Οκτώβριο του 2002, ήταν 208.000.000\$.

⁴⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/Aegean_Sea_tanker_oil_spill

⁴⁷ <http://www.itopf.com/in-action/case-studies/case-study/aegan-sea-spain-1992/>

SEA EMPRESS⁴⁸



Πηγή:ΙΟΤΡΡ

Στις 15 Φεβρουαρίου 1996 το δεξαμενόπλοιο SEA EMPRESS, φορτωμένο με 130.000 τόνους αργού πετρελαίου, προσάραξε στην προσπάθεια του να εισέλθει στο Milford Haven, της νοτιοδυτικής Ουαλίας. Παρόλο που το πλοίο επανήλθε σε κατάσταση πλευστότητας μέσα σε λίγες ώρες, η ζημιά που είχε υποστεί στις δεξιά και στις κεντρικές δεξαμενές του, ήταν τόσο σοβαρή που προκάλεσε εκτεταμένη διαρροή του φορτίου του. Τις προσπάθειες να τεθεί το πλοίο υπό έλεγχο και να μεταφερθεί το φορτίο από πλοίο σε πλοίο δυσχέραναν οι έντονες καιρικές συνθήκες. Σε ένα διάστημα πέντε ημερών το πλοίο προσάραζε και επανερχόταν και πάλι σε κατάσταση πλευστότητας αρκετές ακόμα φορές. Υπολογίζεται ότι συνολικά διέρρευσαν στη θάλασσα 72.000 τόνοι αργού πετρελαίου και 370 τόνοι βαριών καυσίμων από την αρχική προσάραξη μέχρι την τελική επιχείρηση επαναφοράς του πλοίου σε πλευστότητα. Αν και οι μηχανισμοί καθαρισμού ήταν εκτεταμένοι και αποτελεσματικοί, η ρύπανση της ακτογραμμής έφτασε περίπου τα 200 χιλιόμετρα ακτογραμμής, μεγάλο μέρος της οποίας ήταν ένα εθνικό πάρκο. Η αλιεία απαγορεύτηκε προσωρινά στην περιοχή και υπήρξαν ανησυχίες ότι θα επηρεαζόταν και ο τουρισμός ο οποίος ήταν παράγοντας ζωτικής σημασίας για την τοπική οικονομία. Για την αξιολόγηση της καταστροφής που προκλήθηκε από την κηλίδα η Βρετανική Κυβέρνηση απευθύνθηκε σε μια ανεξάρτητη επιτροπή, η οποία κατέληξε στο συμπέρασμα πως παρόλο που κάποιοι πληθυσμοί της άγριας ζωής είχαν υποστεί σοβαρές καταστροφές και μερικοί θα έκανα χρόνια για να επανέλθουν, η πλειονότητα είχε φανεί ιδιαίτερα ανθεκτική και μέσα σε δύο χρόνια είχε επανέλθει στην αρχική της κατάσταση χάρη σε ένα συνδυασμό παραγόντων όπως την εποχή που έγινε το ατύχημα,

⁴⁸ <http://www.itopf.com/in-action/case-studies/case-study/sea-empress-milford-haven-wales-uk-1996/>

τον τύπο του πετρελαίου, τις καιρικές συνθήκες και την άμεση ανταπόκριση στις διαδικασίες καθαρισμού. Οπότε παρά τη μεγάλη ποσότητα διαρροής, κοντά σε μια ευαίσθητη περιοχή, τα αποτελέσματα δεν ήταν τόσο καταστροφικά όσο θα περίμενε κανείς. Το συνολικό κόστος έφτασε περίπου τα 78.000.000\$.

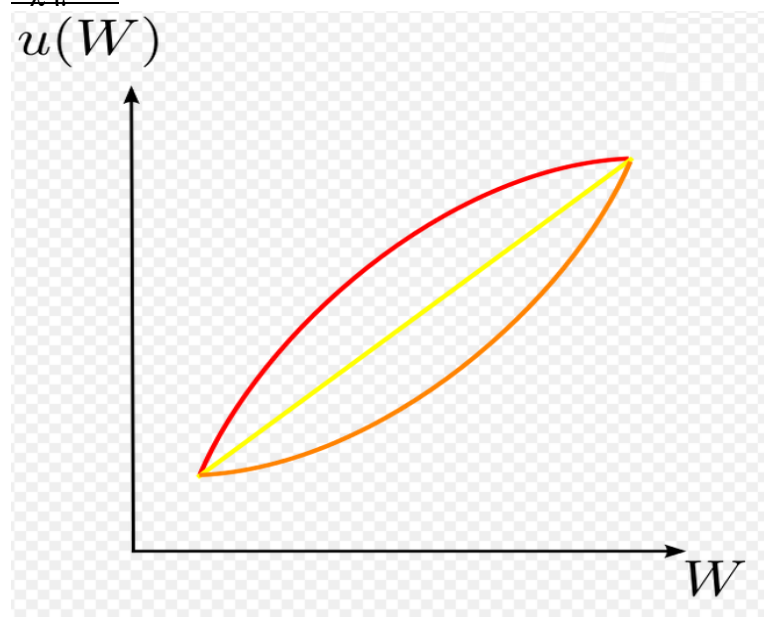
Κεφάλαιο 4^ο :

Παρουσίαση και Εφαρμογή του Μοντέλου Εκτίμησης της Διάθεσης ως προς το ρίσκο

4.1 Παρουσίαση μοντέλου από το άρθρο των Cha και Ellingwood

Ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζονται τα άτομα από τους αντίστοιχους κινδύνους όταν καλούνται να λάβουν αποφάσεις έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης για αρκετά χρόνια. Μια από τις πρώτες θεωρίες που παρουσιάστηκαν ήταν η Θεωρία της Αναμενόμενης Χρησιμότητας (Expected Utility Theory) των von Neumann και Morgenstern το 1953.⁴⁹ Οι οποίοι ήταν η πρώτοι που εισήγαγαν την έννοια της συνάρτησης χρησιμότητας με στόχο τον συσχετισμό του ποσοτικού υπολογισμού των συνεπειών, σε χρηματικές μονάδες ή ανθρώπινες απώλειες, με τις αντίστοιχες αξίες που τους δίνουν τα άτομα που καλούνται να λάβουν αποφάσεις. Η συνάρτηση χρησιμότητας, όταν αναφέρεται στον πλούτο είναι μία γνησίως αύξουσα συνάρτηση και μεταβάλλεται σχηματικά ανάλογα με τη διάθεση ως προς τον κίνδυνο, σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα.

Σχήμα 4



Πηγή:

https://en.wikipedia.org/wiki/Risk_aversion#/media/File:Risikoeinstellung.svg

⁴⁹ Von Neumann J, Morgenstern O. Theory of games and economic behavior Princeton, Princeton University Press, 1953

Στο Σχήμα 4 παρατηρούμε ότι:

1. Με κόκκινο χρώμα αναπαρίστανται τα άτομα με αποστροφή ως προς τον κίνδυνο (risk aversion) αφού μικρές μεταβολές στον πλούτο από σημείο μηδέν, αυξάνουν σημαντικότερα τη συνάρτηση αξίας σε σχέση με μεταβολές όταν πλούτος είναι μεγαλύτερος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η συνάρτηση είναι κοίλη.
2. Αντιθέτως, στην περίπτωση αποδοχής τους του κινδύνου, η συνάρτηση αναπαρίσταται με πορτοκαλί χρώμα και είναι κυρτή. Κατά συνέπεια μικρές μεταβολές στον πλούτο δε αυξάνουν το ίδιο σημαντικά τη συνάρτηση σε σχέση με τις μεγαλύτερες.
3. Τέλος, με κίτρινο χρώμα, παρουσιάζονται οι ουδέτερες στάσεις κατά τις οποίες κάθε μονάδα αύξησης του πλούτου έχει την αξία για το άτομο.

Εξέλιξη της Θεωρίας Αναμενόμενης Χρησιμότητας αποτέλεσαν η Θεωρία Προοπτικής (Prospect Theory) και η Αθροιστική Θεωρία Προοπτικής (Cumulative Prospect Theory) των ψυχολόγων Tversky και Kahneman που παρουσιάστηκαν το 1979 και το 1992 αντίστοιχα. Η βασική διαφορά τους με την αρχική θεωρία, με βάση όσα αναλύθηκαν και στο πρώτο κεφάλαιο, είναι πως αντί για μια συνάρτηση χρησιμότητας που είναι κοινή για κέρδη και απώλειες, στις συγκεκριμένες θεωρίες εισάγονται μια συνάρτηση αξίας (value function) και μια συνάρτηση βάρους (weighting function) για να παρουσιαστεί η υποκειμενικότητα στην αξιολόγηση των συνεπειών και των πιθανοτήτων. Επίσης, οι συγκεκριμένες συναρτήσεις διαφέρουν για καταστάσεις κερδοφορίας ή απωλειών.

Οι καθηγητές Cha E.J. και Ellingwood σε άρθρο τους το 2013, με τίτλο “The role of risk aversion in nuclear plant safety decisions” προσπάθησαν, βάσει των θεωριών που αναφέρθηκαν προηγουμένως, να εξετάσουν τη φύση της αντίληψης και των διαθέσεων ως προς τον κίνδυνο που αντικατοπτρίζονται στους ομοσπονδιακούς κανονισμούς σχετικά με τη λειτουργία των εργοστασίων παραγωγής πυρηνικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, αξιολογούνται το είδος της συμπεριφοράς ρίσκου ως προς τους κανονισμούς για την προστασία των εν λόγω εργοστασίων από περιστατικά πυρκαγιάς, βάσει των πυρηνικών κινδύνων που αναφέρονται στο Appendix R του Κώδικα Ομοσπονδιακών Κανονισμών (Code of Federal Regulations, Part 50 - 10CFR50.48) που έχει εκδώσει η Κανονιστική Επιτροπή Πυρηνικών των Ηνωμένων Πολιτειών (US Nuclear Regulatory Commission). Ως παράδειγμα, χρησιμοποιούνται οι μετατροπές που πραγματοποιήθηκαν, βάσει των παραπάνω κανονισμών, στον πυρηνικό εργοστάσιο Browns Ferry μετά την πυρκαγιά που ξέσπασε σε ένα από τους τρεις πυρηνικούς του αντιδραστήρες, το 1975.

Το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποίησαν για τη διερεύνηση των συμπεριφορών ως προς τη διακινδύνευση βασίστηκε στις παραπάνω θεωρίες και περιλάμβανε μια συνάρτηση αξίας και μια συνάρτηση βάρους. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να σημειωθεί πως στην περίπτωση το άτομο το οποίο καλείται να λάβει μια απόφαση έρχεται αντιμέτωπο με μια απολύτως αρνητική ή απολύτως θετική συνέπεια

τότε η συνάρτηση αξίας ταυτίζεται με τη συνάρτηση χρησιμότητας. Στην προκειμένη περίπτωση επειδή η μόνη συνέπεια που είχαν να αντιμετωπίσουν ήταν αρνητική, συγκεκριμένα το κόστος ενός ατυχήματος πριν και μετά από τις μετατροπές, η συνάρτηση αξίας/χρησιμότητας που χρησιμοποιήσαν σε κανονικοποιημένη μορφή είναι η εξής:

$$V(C) = \frac{1}{1-e^{-\gamma}} (1 - e^{-\gamma(\frac{C_{\max}-C}{C_{\max}})}), \quad (1)$$

στην οποία $C \geq 0$ είναι το κόστος. C_{\max} είναι η μέγιστη τιμή του κόστους και η παράμετρος γ είναι αυτή που καθορίζει την καμπυλότητα της συνάρτησης, ποσοτικοποιεί το επίπεδο της διάθεσης προς το ρίσκο και καλείται παράμετρος αποστροφής ρίσκου. Οι θετικές τιμές αυτής της παραμέτρου δείχνουν συμπεριφορές αποστροφής, οι μηδενικές δείχνουν ουδέτερες και οι αρνητικές καταδεικνύουν περιπτώσεις αποδοχής.

Η αντίστοιχη συνάρτηση βάρους που χρησιμοποιήθηκε είχε την εξής μορφή:

$$w(p) = \exp\{-a \cdot (-\ln p)^\phi\}, \quad (2)$$

στην οποία το p είναι η αθροιστική πιθανότητα, a και ϕ είναι οι παράμετροι που καθορίζουν το σχήμα της εν λόγω συνάρτησης. Εκ των οποίων η παράμετρος ϕ διαμορφώνει το χαρακτηριστικό S-σχήμα της συνάρτησης, η a καθορίζει την καμπυλότητά και η οποία για λόγους ευκολίας τέθηκε ίση με τη μονάδα. Συνεπώς η παράμετρος ϕ θεωρείται ως παράμετρος αποστροφής ρίσκου μαζί με τη γ στη συγκεκριμένη μελέτη.

Στη συνέχεια, για τον έλεγχο της αποδοτικότητας ενός προτεινόμενου κανονισμού χρησιμοποιείται ο λόγος οφέλους-κόστους και εισάγεται παρακάτω η εξής εξίσωση:

$$\frac{B}{C} = \frac{C_f \cdot (p_0 - p_1)}{C_i}, \quad (3)$$

όπου C_i είναι το κόστος υλοποίησης του κανονισμού και το C_f είναι η μείωση της πιθανότητας απωλειών από το p_0 στο p_1 . Κατά συνέπεια αν η πιθανότητα να συμβεί το ατύχημα πριν το κανονισμό είναι ίση με τη μονάδα και μετά τον κανονισμό είναι ίση με το μηδέν τότε το C_f είναι το όφελος που προκύπτει από την υλοποίηση του εν λόγω κανονισμού. Οι τιμές του λόγου οφέλους/κόστους καταδεικνύουν τις διαθέσεις ως προς τον κίνδυνο. Συγκεκριμένα τιμές μικρότερες της μονάδας υπονοούν αποστροφή ενώ τιμές μεγαλύτερες της μονάδας υπονοούν αποδοχή του ρίσκου.

Στο πλαίσιο της Αθροιστικής Θεωρίας Προοπτικής, η εξίσωση (3) μετασχηματίζεται την εξής μορφή:

$$\frac{B}{C} = \frac{(1-V(C_f)) \cdot (w(p_0) - w(p_1))}{(1-V(C_i))}, \quad (4)$$

Οι τιμές των γ και ϕ για τις οποίες το αναμενόμενο κέρδος γίνεται ίσο με το αναμενόμενο κόστος ονομάζονται γ_{tipping} και ϕ_{tipping} αντίστοιχα. Η μεθοδολογία εύρεσης των παραπάνω τιμών είναι η εξής:

- Αρχικά, γίνεται υπολογισμός του λόγου B/C σχετικά με τον κανονισμό με χρήση της εξίσωσης (3)
- Στη συνέχεια εάν η τιμή του λόγου είναι μικρότερη από τη μονάδα, τότε αυξάνεται η τιμή της παραμέτρου γ από το 0 με βήμα 0,1 (θέτοντας τη ϕ ίση με το 1) για να αναπαρασταθεί η συμπεριφορά αποστροφής. Αντίθετα, στην περίπτωση που ο λόγος προκύψει μεγαλύτερος από τη μονάδα, τότε μειώνεται η τιμή της παραμέτρου γ από το 0 με βήμα 0,1 (θέτοντας τη ϕ ίση με το 1) για να αναπαρασταθεί η συμπεριφορά αποδοχής.
- Η παραπάνω διαδικασία συνεχίζεται μέχρι ο λόγος να λάβει την τιμή 1. Το συγκεκριμένο σημείο (break-even point) είναι εκείνο στο οποίο το αναμενόμενο κόστος του κανονισμού γίνεται ίσο με το αναμενόμενο κέρδος.

Η αντίστοιχη διαδικασία για τον εντοπισμό του ϕ_{tipping} πραγματοποιείται κατά ανάλογο τρόπο με μόνη διαφορά να εντοπίζεται στο δεύτερο βήμα όπου η τιμή της παραμέτρου ϕ μειώνεται/αυξάνεται (με το γ ίσο με 0) από το 1 με βήμα 0,1 για να αναπαραστήσει συμπεριφορές αποστροφής/αποδοχής μέχρις ότου να εντοπιστεί το σημείο στο οποίο ο λόγος γίνεται ίσος με τη μονάδα.

Ωστόσο, σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί πως στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, για τα Risk Control Options που επιλέχθηκαν, η πιθανότητα να συμβεί το ατύχημα (για το είδος του ατυχήματος που επηρεάζεται από το RCO) πριν την εφαρμογή τους θεωρήθηκε ίση με 1 και η πιθανότητα να συμβεί το ατύχημα μετά την εφαρμογή ίση με το 0. Κατά συνέπεια για τη συνάρτηση βάρους ισχύει $w(1)=1$ και $w(0)=0$, δηλαδή $w(1)-w(0)=1$ και ως αποτέλεσμα η εξίσωση (4) μετασχηματίζεται στη μορφή:

$$\frac{B}{C} = \frac{(1-V(C_f))}{(1-V(C_i))} \quad (5)$$

και το εύρος της αποστροφής ή της αποδοχής ως προς ρίσκο καθορίζεται μόνο από την τιμή της παραμέτρου γ .

4.2 Εφαρμογή του μοντέλου για τα ποσά που έχει καταβάλει ο ΙΟΡΡΑ

Όπως αναφέρθηκε στο τρίτο κεφάλαιο, ως πηγή από την οποία αντλήθηκαν τα δεδομένα μας χρησιμοποιήθηκε το Διεθνές Ταμείο Αποζημίωσης για Πετρελαϊκή Ρύπανση (ΙΟΡΡΑ) το οποίο έχει εμπλακεί 146 τέτοια περιστατικά από το 1979 μέχρι και σήμερα τα στοιχεία των οποίων δημοσιοποιεί στην ιστοσελίδα του. Ωστόσο για μερικά από αυτά τα περιστατικά δεν υπήρχαν πληροφορίες είτε για την ποσότητα της διαρροής είτε για το πόσο της αποζημίωσης. Μετά την αφαίρεση των ελλειπών εγγραφών, η βάση δεδομένων αποτελείται από ένα σύνολο 93 ατυχημάτων διαρροής από δεξαμενόπλοια και περιλαμβάνει διαρροές από 0,1 μέχρι 84.000 τόνους με τα συνολικά κόστη να κυμαίνονται από 1.224 \$ έτους βάσης 2009 έως 333.000.000\$ βάσει της ισοτιμίας που αναφέρει ο ΙΟΡΡΑ στην αντίστοιχη έκθεση του.

Για το χειρισμό των παραπάνω δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το γνωστό ηλεκτρονικό πρόγραμμα με ονομασία Microsoft Excel, το οποίο είναι ένα ηλεκτρονικό πρόγραμμα υπολογιστικών φύλλων που επιτρέπει την αποθήκευση, την οργάνωση και την επεξεργασία των δεδομένων που εισάγονται. Για την γραφική αναπαράσταση των παραπάνω μεθοδολογιών χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο Minitab.

Στο αρχικό στάδιο, το σύνολο των 93 ατυχημάτων καταχωρήθηκε στο Excel όπως παρουσιάζεται ένα μέρος τους στην εικόνα που ακολουθεί.

Εικόνα 5

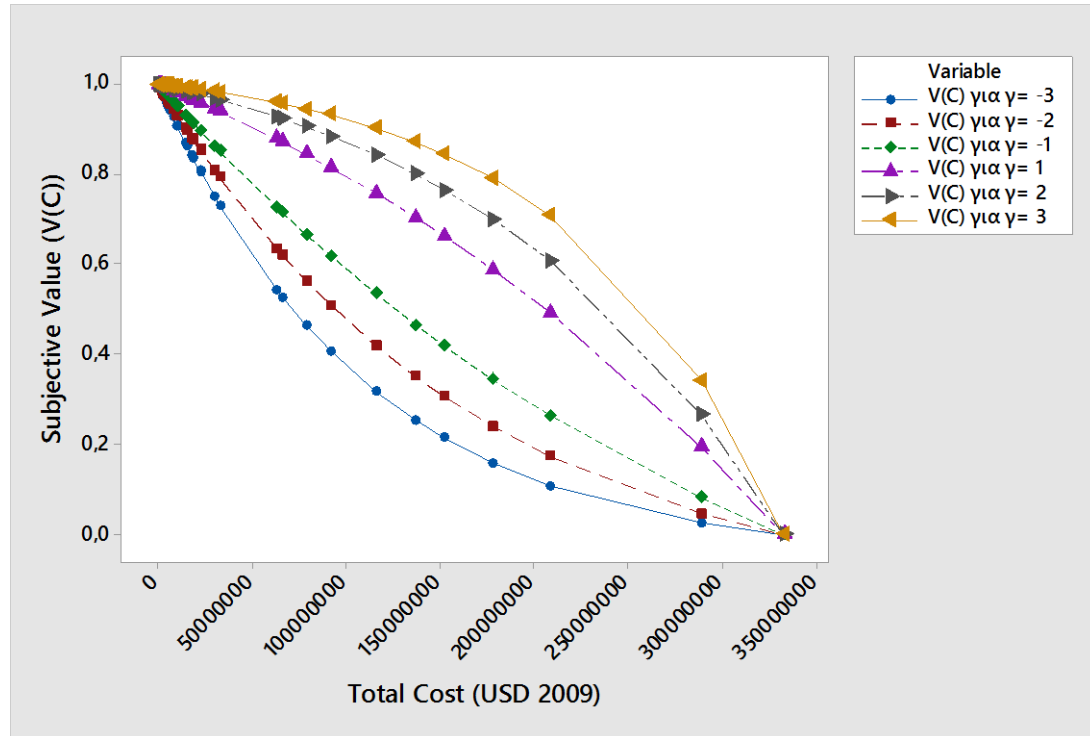
Name of Vessel	Year	Incident	Spill Size (tn)	Total Cost (\$)
Mebaruzaki Maru No 5	1979	Sinking	10,0	140.821,66
Miya Maru No8	1979	Collision	540,0	2.024.885,61
Antonio Gramsci	1979	Breaking	5.500,0	66.244.663,88
Showa Maru	1980	Collision	100,0	1.210.657,26
Furenas	1980	Collision	200,0	2.256.222,85
Hosei Maru	1980	Collision	270,0	2.559.416,52
Tanio	1980	Grounding	13.500,0	137.259.011,47
Suma Maru No 11	1981	Grounding	10,0	88.925,33
Globe Asimi	1981	Discharge	16.000,0	1.108.893,36
Shiota Maru No2	1982	Grounding	20,0	651.259,71
Kifuku Maru No35	1982	Sinking	33,0	5.360,69

Τα στοιχεία που αντλήθηκαν από τον ΙΟΡΡΑ και καταχωρήθηκαν στο Excel όπως φαίνονται κατά σειρά στην Εικόνα 5 είναι:

1. Το όνομα του δεξαμενόπλοιου το οποίο προκάλεσε τη ρύπανση
2. Το έτος κατά το οποίο συντελέστηκε το ατύχημα
3. Η αιτία του ατυχήματος
4. Η ποσότητα του πετρελαίου που διέρρευσε σε τόνους (για τις περιπτώσεις που δεν ήταν γνωστή η ακριβής ποσότητα αλλά ένα εύρος τιμής υπολογίστηκε η μέση τιμή ως η ποσότητα που διέρρευσε)
5. Το συνολικό κόστος

Στη συνέχεια στις τιμές του συνολικού κόστους εφαρμόστηκε η συνάρτηση χρησιμότητας βάσει της εξίσωσης (1) που αναφέρθηκε προηγουμένως και υπολογίστηκε η τιμή της για διάφορες τιμές τις παραμέτρου. Η γραφική απεικόνιση που προέκυψε μετά την καταχώρηση των αποτελεσμάτων στο Minitab εμφανίζεται στο σχήμα που ακολουθεί.

Σχήμα 5



Από το Σχήμα 5 εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

1. Η συνάρτηση χρησιμότητας σε αντίθεση με το σχήμα που παρουσιάστηκε στην αρχή του κεφαλαίου είναι φθίνουσα αντί για αύξουσα. Η αλλαγή δικαιολογείται από το γεγονός ότι ο άξονας χ στο Σχήμα 4 αφορούσε την αύξηση στον πλούτο ενώ στο συγκεκριμένο αφορά αύξηση στο κόστος.
2. Για θετικές τιμές της παραμέτρου γ η συνάρτηση είναι κοίλη αντικατοπτρίζοντας την αποστροφή ως προς ρίσκο ενώ για αρνητικές τιμές είναι κυρτή αντικατοπτρίζοντας κατά αυτό τον τρόπο την αποδοχή.
3. Όσο αυξάνεται ή μειώνεται η τιμή της παραμέτρου από το μηδέν τόσο αυξάνεται και η καμυλότητα του γραφήματος.
4. Στην περίπτωση της αποστροφής, για μεγάλα συνολικά κόστη η συνάρτηση χρησιμότητας μειώνεται πολύ πιο γρήγορα, το οποίο καταδεικνύει πως άτομα με αποστροφή τείνουν να επηρεάζονται πολύ περισσότερο από τα λίγα αλλά σοβαρά περιστατικά διαρροής.

Το επόμενο βήμα ήταν η επιλογή των μέτρων περιορισμού του ρίσκου από τα προτεινόμενα του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού και για τα οποία θα μελετηθεί η διάθεση ως προς το ρίσκο. Από τα έντεκα RCOs που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο τρία, στον Πίνακα 4, αποκλείστηκαν τρία. Συγκεκριμένα, τα RCOs 7.1, 7.2 και 7.3 τα οποία αφορούν αλλαγές στο κατασκευαστικό κομμάτι του δεξαμενόπλοιου και τα οποία για να μελετηθούν θα έπρεπε να εντοπιστεί ένα πλήθος τεχνικών χαρακτηριστικών για καθένα από τα πλοία της βάσης δεδομένων. Κατά συνέπεια, τα επιλεγμένα RCOs προς μελέτη παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6

RCOs Selected			
No	RCO	Type of accident	Cost of the RCO ΔC (\$)
RCO3	Active Steering Gear Redundancy	Collision	4.800
RCO4	Electronic Chart Display and Information System (ECDIS)	Grounding	75.000
RCO5	Terminal Proximity and Speed Sensors (Docking Aid)	Contact	86.000
RCO6	Navigational Sonar	Grounding	196.500
RCO8	Better Implementation of Hot Work Procedures	Fire and Explosion	28.000
RCO9	Double Sheathed Fuel oil pipes within the engine room	Fire and Explosion	39.000
RCO12	Hull stress and fatigue monitoring system	NASF*	128.000
	*NASF=Non-accidental Structural Failure		

Στον Πίνακα 6, εκτός από τα επιλεγμένα RCOs, παρουσιάζονται η περιγραφή του καθενός, η αιτία ατυχήματος στην οποία επιδρούν καθώς και το αναμενόμενο κόστος τους.

Η εφαρμογή τους στη βάση δεδομένων πραγματοποιήθηκε κατά τον τρόπο που απεικονίζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 7

Name of Vessel	Incident	Spill Size (tn)	TC RCOs (\$)	before	Spill size after RCO3 (tn)	TC RCO3 (\$)	after	$\Delta TC_{(RCO3)}$ (\$)
Hana	Collision	34,0	1.578.220,1		0,0	0,0		1.578.220,1
Jeong Yang	Collision	700,0	5.317.986,5		0,0	0,0		5.317.986,5
No 11 Hae Woon	Collision	12,0	352.439,4		0,0	0,0		352.439,4
No 7 Kwang Min	Collision	64,0	2.166.206,8		0,0	0,0		2.166.206,8
Shosei Maru	Collision	60,0	8.076.705,0		0,0	0,0		8.076.705,0
Hebei Spirit	Collision	10.900,0	22.775.689,5		0,0	0,0		22.775.689,5
Honam Sapphire	Contact with fender	1.800,0	18.787.341,6		1.800,0	18.787.341,6		0,0
Alambra	Corrosion	300,0	900.000,0		300,0	900.000,0		0,0
Ondina	Discharge	250,0	10.438.602,3		250,0	10.438.602,3		0,0
Shinkai Maru No3	Discharge	3,5	13.416,6		3,5	13.416,6		0,0
Qued Gueterini	Discharge	15,0	688.285,6		15,0	688.285,6		0,0
Take Maru No 6	Discharge	0,1	1.224,0		0,1	1.224,0		0,0

Αναλυτικότερα, τα περιστατικά της βάσης δεδομένων ταξινομήθηκαν βάσει του είδους του ατυχήματος (Collision, Grounding κλπ.). Στον πίνακα περιγράφεται η διαδικασία με επιλεγμένο το RCO 3, το οποίο επιδρά στα ατυχήματα σύγκρουσης (collision) αφού προτείνει ένα βοηθητικό σύστημα πλοήγησης. Συνεπώς, για ατυχήματα με αιτία «Collision» η ποσότητα διαρροής και το συνολικό κόστος μετά την εφαρμογή του RCO τέθηκαν ίσα με το μηδέν. Αντίθετα για τα υπόλοιπα περιστατικά τα αντίστοιχα ποσά έμειναν ως είχαν. Οπότε, το αναμενόμενο όφελος (ΔTC) για τα περιστατικά σύγκρουσης ήταν ίσο με το συνολικό κόστος πριν την εφαρμογή του RCO ενώ για τα υπόλοιπα ήταν μηδενικό. Εν συνέχεια, οι τιμές που προέκυψαν για τα αναμενόμενα οφέλη σε καθένα από τα ατυχήματα της βάσης δεδομένων, προστέθηκαν και μετά διαιρέθηκαν με το 93, δηλαδή, με το πλήθος των ατυχημάτων που περιέχονται στον πίνακα ώστε να υπολογιστεί ένα μέσο αναμενόμενο όφελος από την υιοθέτηση του παραπάνω μέτρου περιορισμού του ρίσκου.

Η ίδια διαδικασία με αυτή που περιεγράφηκε προηγουμένως ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό των μέσων αναμενόμενων οφελών και για τα υπόλοιπα μέτρα

περιορισμού του ρίσκου και στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν μαζί τις αντίστοιχες τιμές των λόγων οφέλους-κόστους που υπολογίστηκαν.

Πίνακας 8

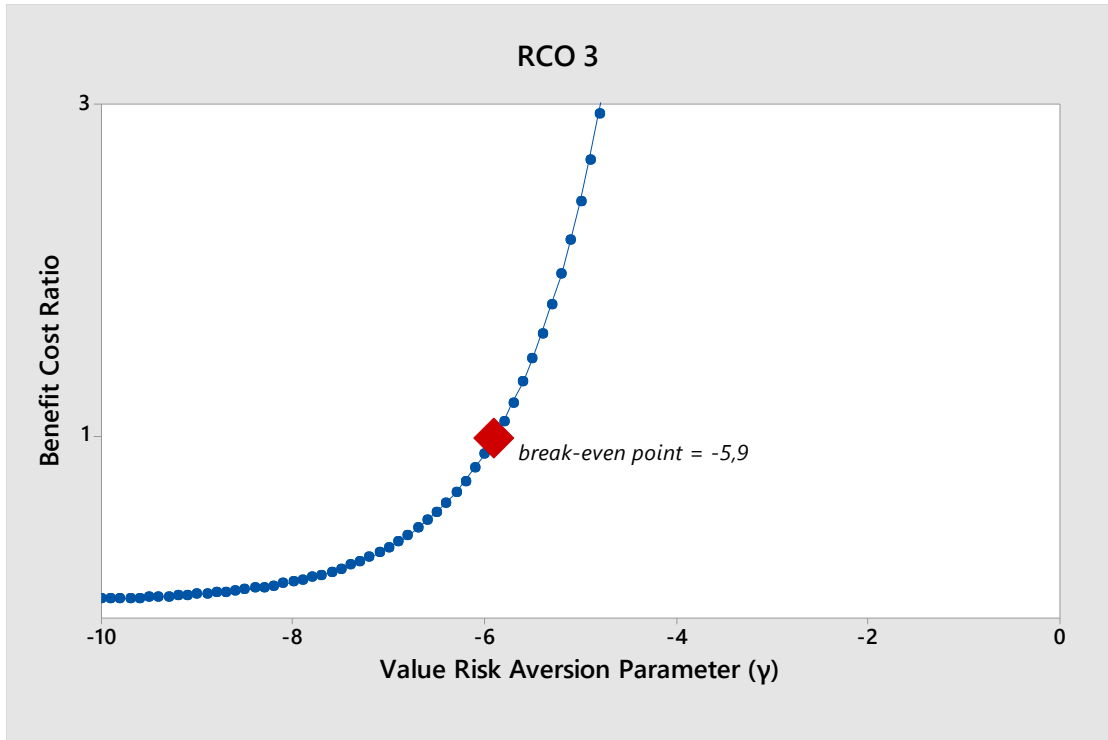
	Cost	Benefit	B/C	Risk-Attitude
RCO 3	4.800,00	1.692.799,36	352,67	RISK-ACCEPT
RCO 4	75.000,00	7.371.602,61	98,29	RISK-ACCEPT
RCO 5	86.000,00	263.145,83	3,06	RISK-ACCEPT
RCO 6	196.500,00	7.371.602,61	37,51	RISK-ACCEPT
RCO 8	28.000,00	132.132,96	4,72	RISK-ACCEPT
RCO 9	39.000,00	132.132,96	3,39	RISK-ACCEPT
RCO 12	128.000,00	805.831,77	6,30	RISK-ACCEPT

Από τον Πίνακα 8 προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

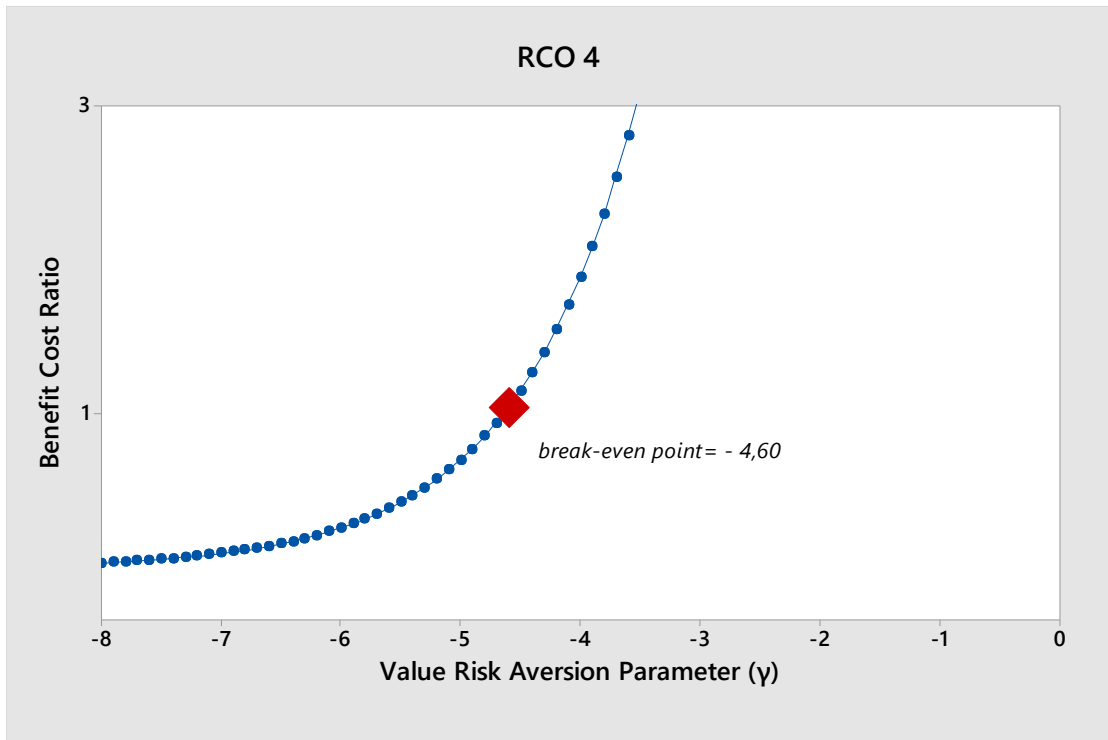
1. Σύμφωνα με τις ανανεωμένες οδηγίες του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού όλα τα RCOs είναι αποδοτικά ως προς το κόστος (cost-effective) αφού ισχύει η σχέση $\Delta C < \Delta TC$, όπου ΔC είναι το αναμενόμενο κόστος υλοποίησης και ΔTC το αναμενόμενο όφελος για τα εν λόγω RCOs.
2. Για όλα τα μέτρα περιορισμού του ρίσκου ο λόγος οφέλους-κόστους υπολογίστηκε μεγαλύτερος της μονάδας, συνεπώς για καθένα από τα συγκεκριμένα μέτρα ο IMO χαρακτηρίζεται από αποδοχή ως προς το ρίσκο.

Στη συνέχεια, βάσει της μεθοδολογίας για την εύρεση των γ_{tipping} υπολογίστηκαν τα αντίστοιχα break-even points, δηλαδή τα σημεία στα οποία το αναμενόμενο όφελος ισούται με το αναμενόμενο κόστος, με σκοπό να αναδειχθεί η τάξη μεγέθους της αποδοχής ως προς το κίνδυνο σε καθένα από τα παραπάνω μέτρα περιορισμού του ρίσκου. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι τιμές που προέκυψαν.

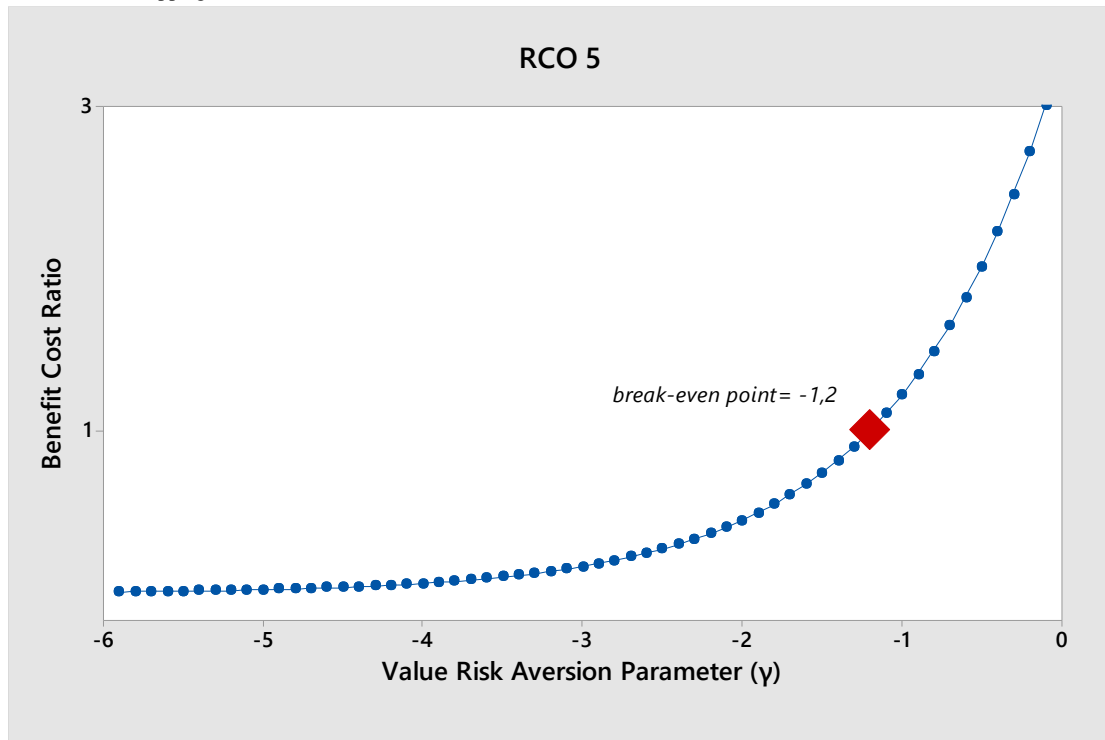
Σχήμα 6: γ_{tipping} για το RCO3



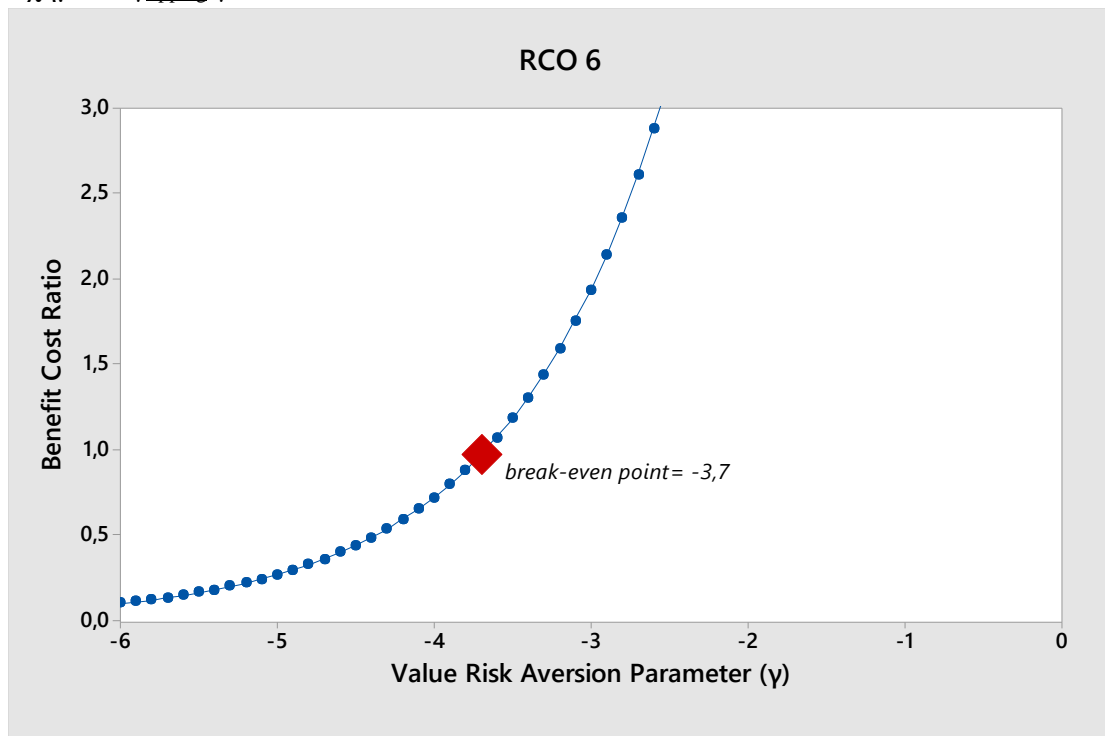
Σχήμα 7: γ tipping για το RCO4



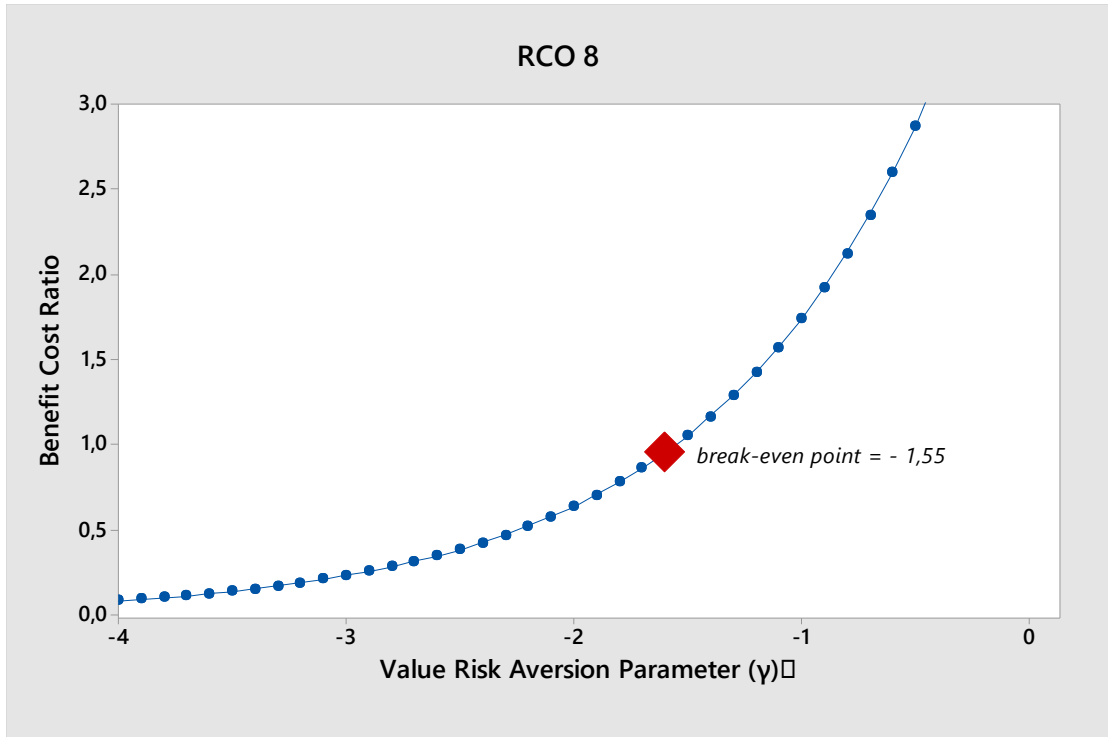
Σχήμα 8: γ_{tipping} για το RCO5



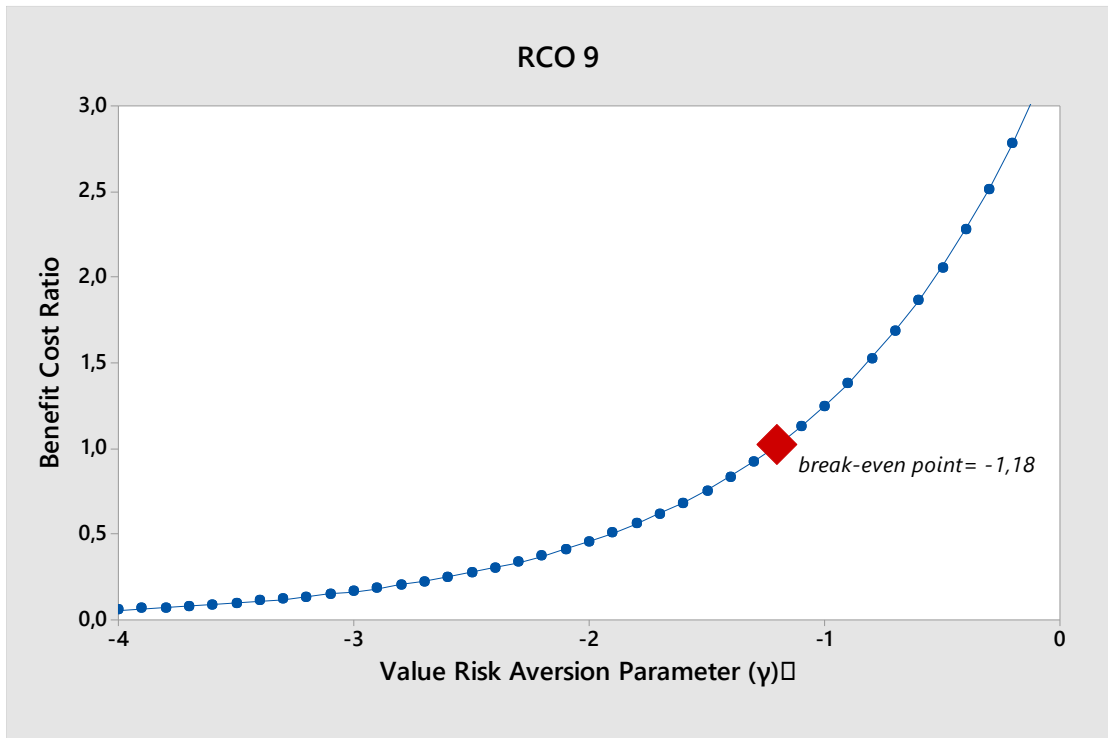
Σχήμα 9: γ_{tipping} για το RCO6



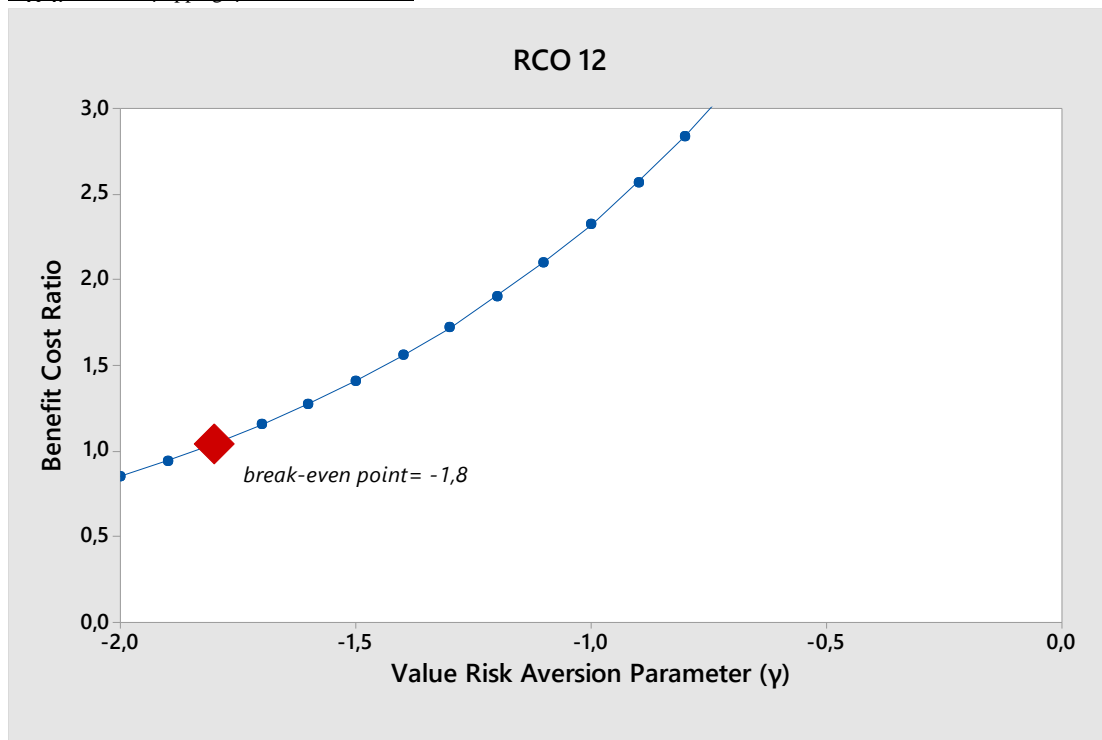
Σχήμα 10: γ_{tipping} για το RCO8



Σχήμα 11: γ_{tipping} για το RCO9



Σχήμα 12: γ_{tipping} για το RCO12



Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι τιμές που προέκυψαν για τα γ_{tipping} των επιλεγμένων RCOs από τη μικρότερη προς τη μεγαλύτερη.

Πίνακας 9

	γ_{tipping}
RCO 9	-1,18
RCO 5	-1,20
RCO 8	-1,55
RCO 12	-1,80
RCO 6	-3,70
RCO 4	-4,60
RCO 3	-5,90

4.3 Εφαρμογή του μοντέλου για τα αναμενόμενα συνολικά κόστη βάσει της μη γραμμικής που προτείνει ο IMO

Η ίδια μεθοδολογία υλοποιήθηκε για το σύνολο των ατυχημάτων που αποτελούν τη βάση δεδομένων με τη διαφορά ότι το συνολικό κόστος του κάθε περιστατικού δεν υπολογίστηκε από τις αποζημιώσεις που έχει καταβάλει ο IOPCF αλλά από τη μη γραμμική συνάρτηση εκτίμησης του αναμενόμενου συνολικού κόστους μια πετρελαιοκηλίδας που προτείνει ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός στις ανανεωμένες Επίσημες Αξιολογήσεις του για την Ασφάλεια. Όπως αναφέρθηκε και στο τρίτο κεφάλαιο, η συνάρτηση εκτίμησης του συνολικού ρίσκου μιας κηλίδας είναι της μορφής: $f(V) = 67.275V^{0.5893}$, όπου V είναι ο όγκος της κηλίδας σε τόνους και f(v) η μη γραμμική συνάρτηση υπολογισμού του συνολικού κόστους σε δολάρια βάσης 2009.

Με γνωστή την ποσότητα του πετρελαίου που διέρρευσε υπολογίστηκαν τα αναμενόμενα συνολικά κόστη βάσει της παραπάνω συνάρτησης και δημιουργήθηκε ένας αντίστοιχος πίνακας με την Εικόνα 5 όπως απεικονίζεται παρακάτω.

Εικόνα 6

Name of Vessel	Year	Incident	Spill Size (tn)	TC before RCOs (\$)
Miya Maru No8	1979	Collision	540,0	2.741.910,97
Antonio Gramsci	1979	Grounding	5.500,0	10.765.877,64
Mebaruzaki Maru No 5	1979	Sinking	10,0	261.308,60
Tanio	1980	Breaking	13.500,0	18.275.084,60
Showa Maru	1980	Collision	100,0	1.014.971,17
Hosei Maru	1980	Collision	270,0	1.822.453,15
Furenas	1980	Collision	200,0	1.527.040,95
Globe Asimi	1981	Grounding	16.000,0	20.199.546,17
Suma Maru No 11	1981	Grounding	10,0	261.308,60
Fukutoko Maru No8	1982	Collision	85,0	922.274,67
Ondina	1982	Discharge	250,0	1.741.645,47
Shiota Maru No2	1982	Grounding	20,0	393.143,12
Kifuku Maru No35	1982	Sinking	33,0	528.097,33

Με επιλεγμένα τα ίδια μέτρα περιορισμού του ρίσκου και ακολουθώντας ανάλογα βήματα που αναφέρθηκαν και προηγουμένως, προέκυψαν τα αντίστοιχα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 10

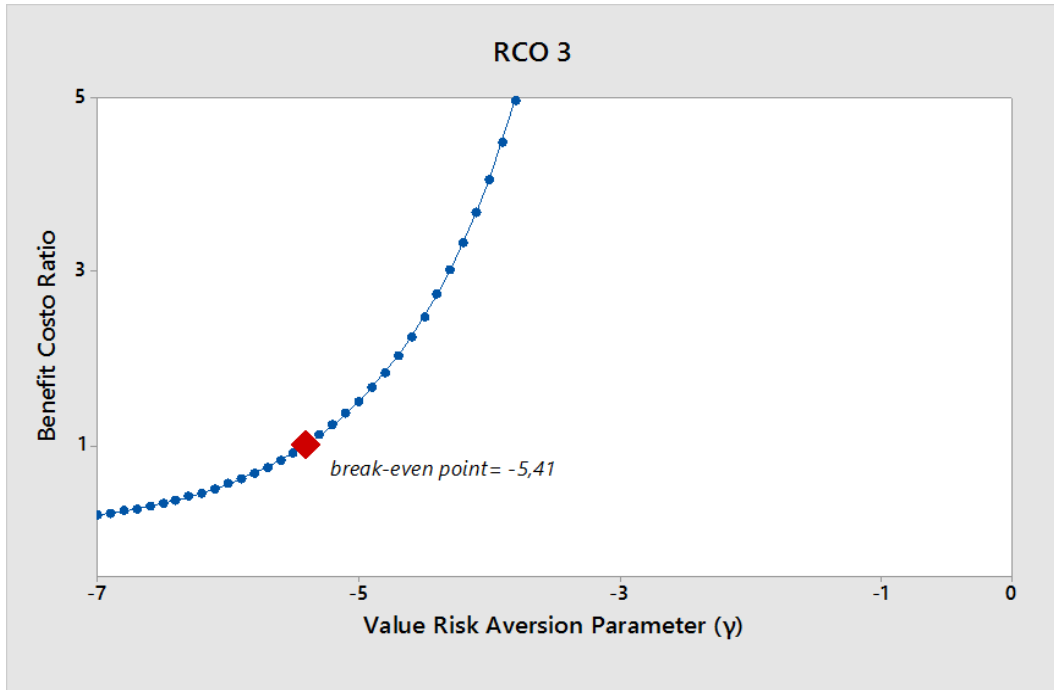
	Cost	Benefit	B/C	Risk-Attitude
RCO 3	4.800,00	1.022.697,90	213,06	RISK-ACCEPT
RCO 4	75.000,00	2.537.400,85	33,83	RISK-ACCEPT
RCO 5	86.000,00	75.868,98	0,88	RISK-AVERSE
RCO 6	196.500,00	2.537.400,85	12,91	RISK-ACCEPT
RCO 8	28.000,00	70.742,50	2,53	RISK-ACCEPT
RCO 9	39.000,00	70.742,50	1,81	RISK-ACCEPT
RCO 12	128.000,00	28.733,38	0,22	RISK-AVERSE

Από τον Πίνακα 10 προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

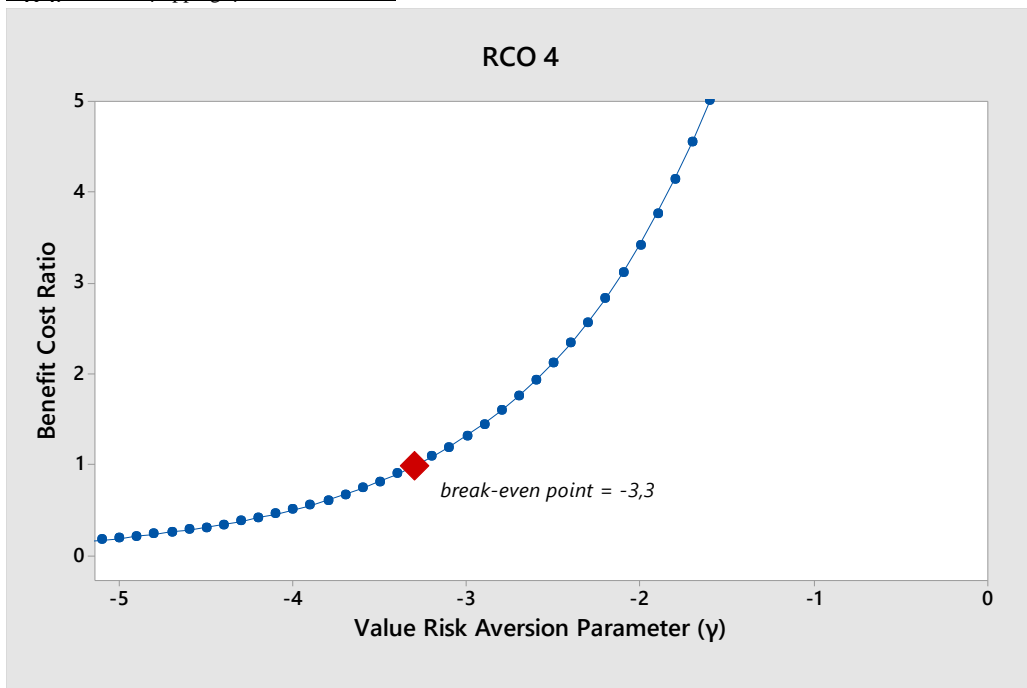
1. Σε αντίθεση με τους Πίνακες 4 και 8, τα RCOs 5 και 12 δεν είναι αποδοτικά ως προς το κόστος (cost-ineffective) αφού για τα συγκεκριμένα RCOs δεν ισχύει η σχέση $\Delta C < \Delta TC$, όπου ΔC είναι το αναμενόμενο κόστος υλοποίησης και ΔTC το αναμενόμενο όφελος για τα εν λόγω RCOs.
2. Για τα μέτρα περιορισμού του ρίσκου υπ' αριθμόν 5 και 12 ο λόγος οφέλους-κόστους υπολογίστηκε μικρότερος της μονάδας, συνεπώς για καθένα από τα συγκεκριμένα μέτρα ο ΙΜΟ χαρακτηρίζεται από αποστροφή ως προς το ρίσκο ενώ για υπόλοιπα παρέμεινε η αποδοχή.

Στη συνέχεια, όπως συνέβη και με την προηγούμενη διαδικασία, σε αυτό το στάδιο πραγματοποιήθηκε η διαδικασία εύρεσης των γ_{tipping} που περιεγράφηκε παραπάνω. Οι τιμές που προέκυψαν παρουσιάζονται στα σχήματα που ακολουθούν.

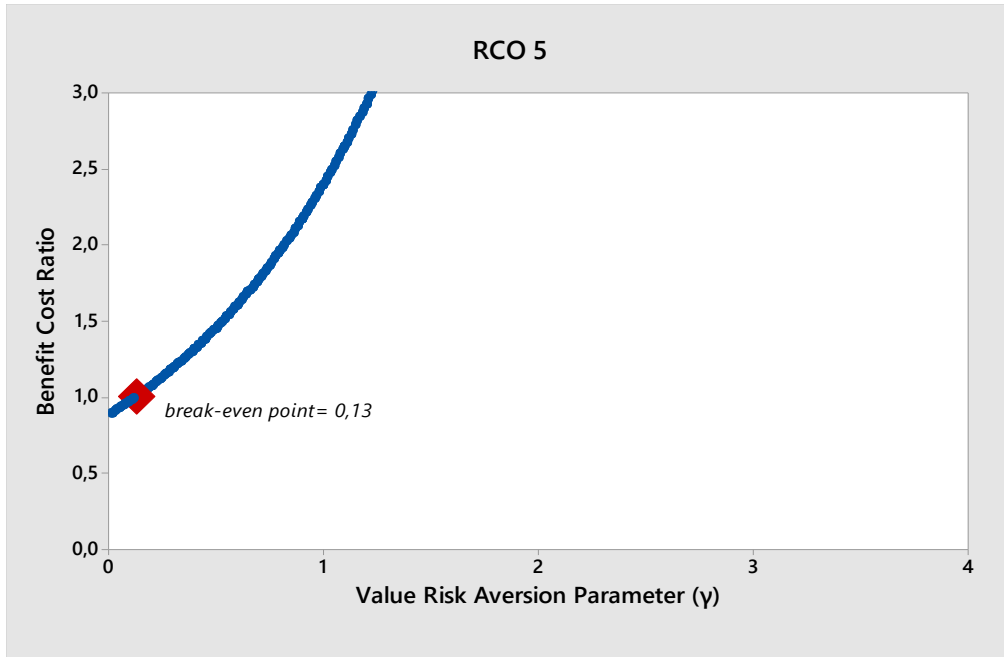
Σχήμα 13: γ_{tipping} για το RCO3



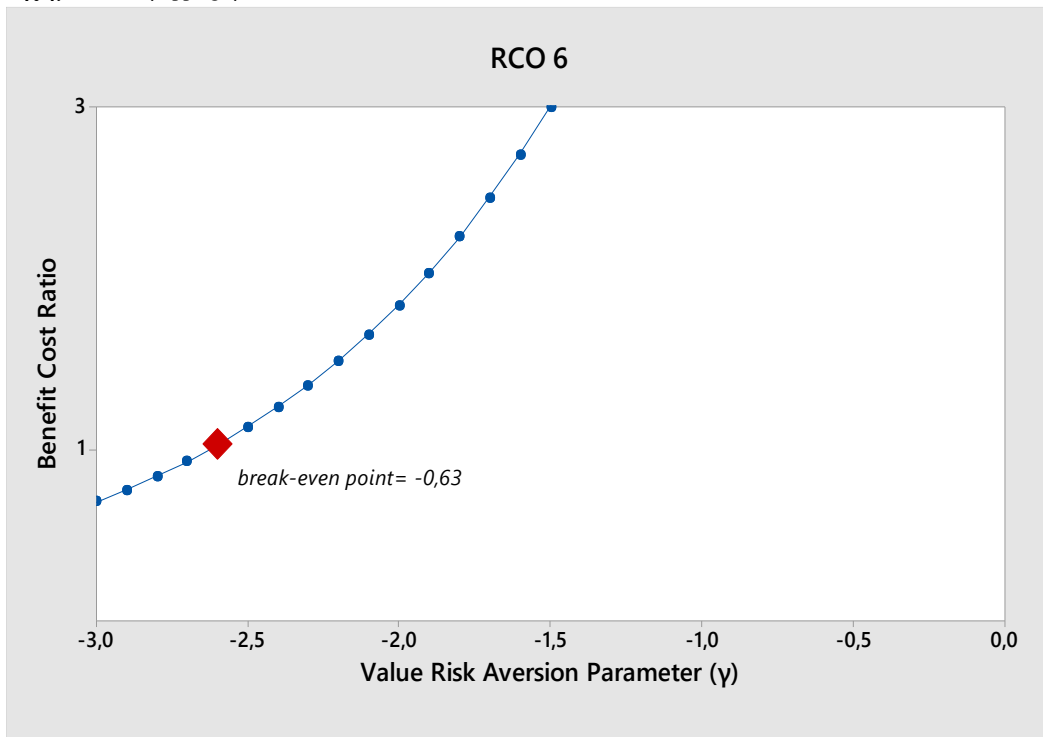
Σχήμα 14: γ_{tipping} για το RCO4



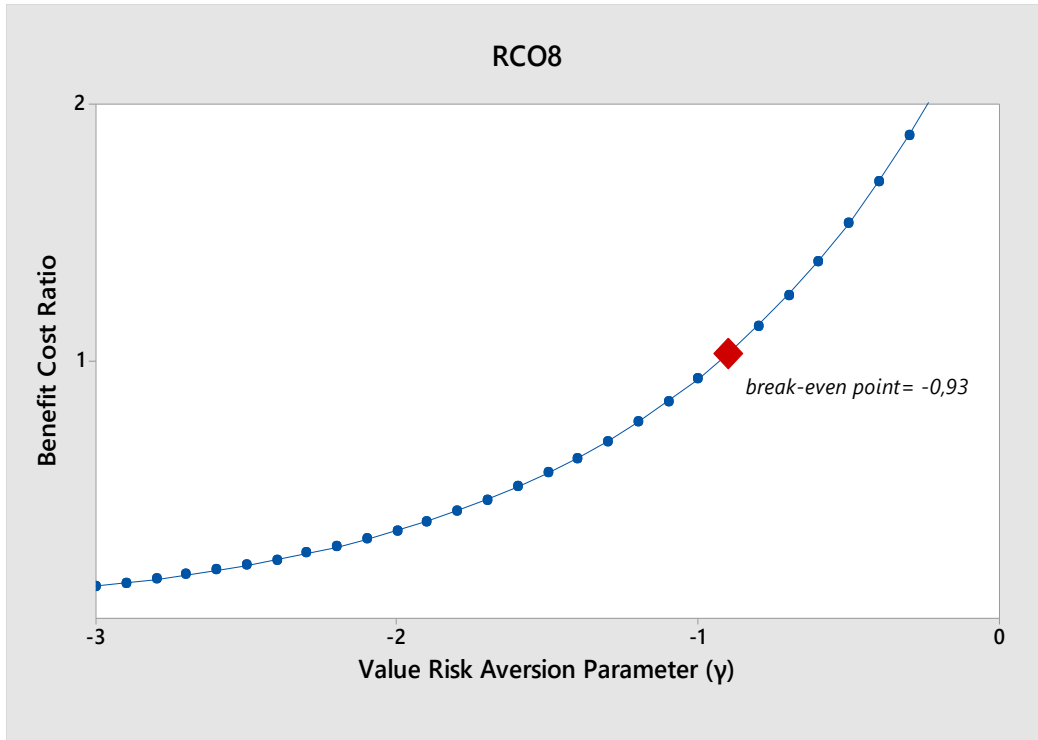
Σχήμα 15: γ_{tipping} για το RCO5



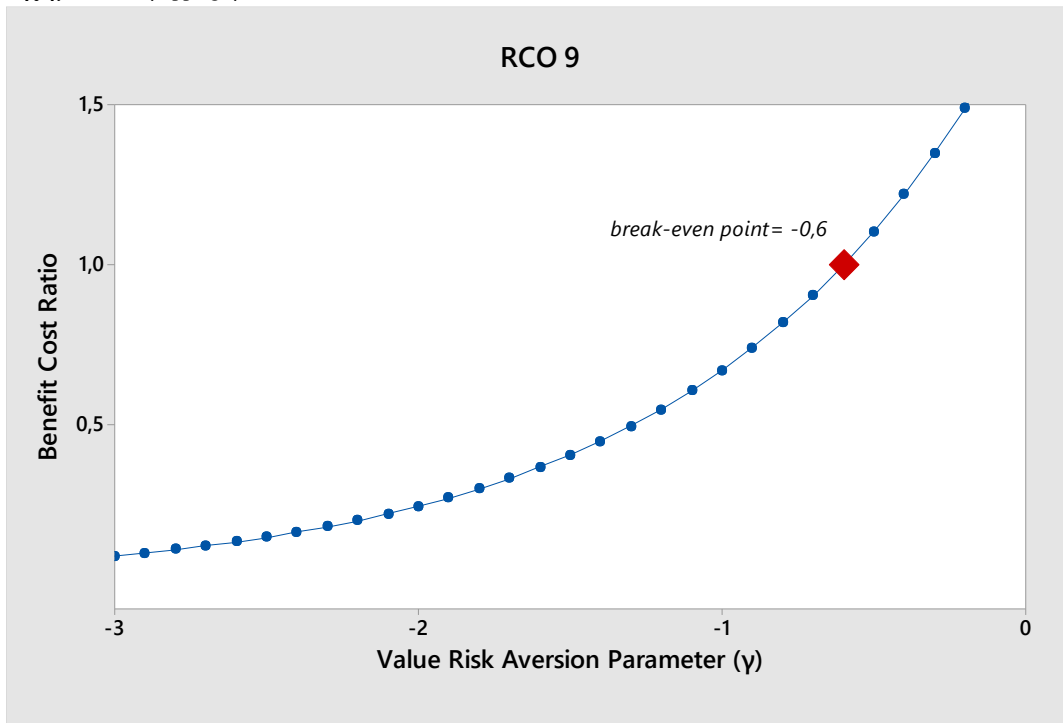
Σχήμα 16: γ_{tipping} για το RCO6



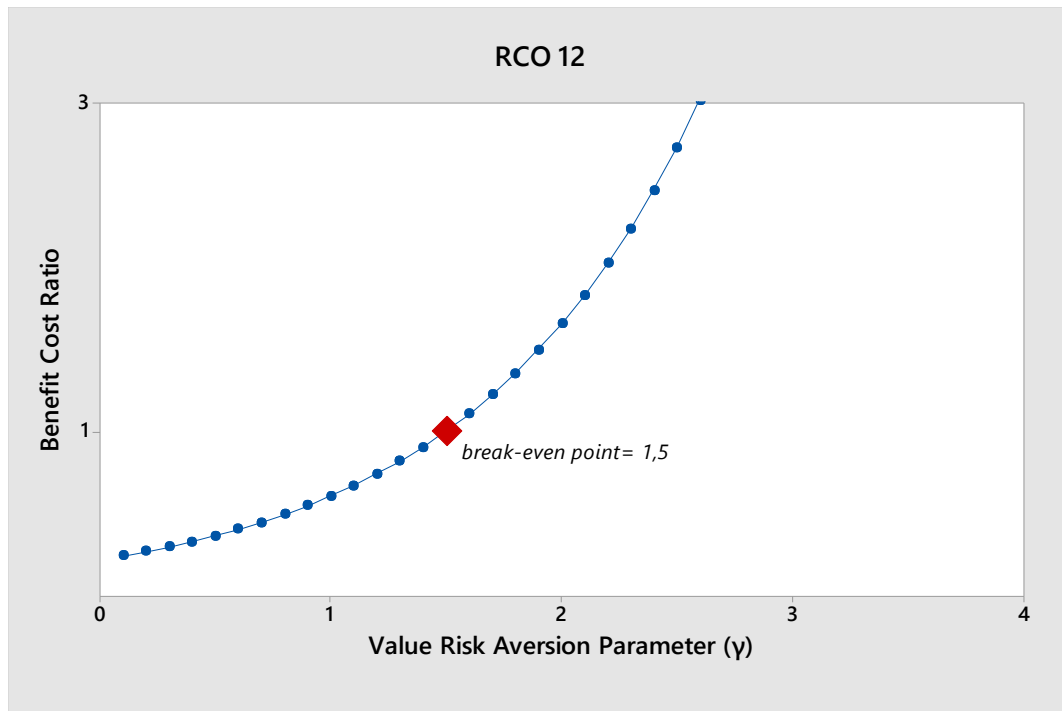
Σχήμα 17: γ_{tipping} για το RCO8



Σχήμα 18: tipping για το RCO9



Σχήμα 19: tipping για το RCO12



Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι τιμές που προέκυψαν για τα γ_{tipping} των επιλεγμένων RCOs από τη μικρότερη προς τη μεγαλύτερη για της περιπτώσεις της αποστροφής και της αποδοχής αντίστοιχα.

Πίνακας 11

	γ_{tipping}
RCO 5	0,13
RCO 12	1,5

Πίνακας 12

	γ_{tipping}
RCO 9	-0,6
RCO 6	-0,63
RCO 8	-0,93
RCO 4	-3,3
RCO 3	-5,41

Από τον Πίνακα 11, γίνεται εμφανές πως το επίπεδο της αποστροφής είναι πολύ μικρό και ειδικότερα για το RCO 5 είναι οριακό. Το ίδιο ισχύει για τα RCOs 9,6 και 8 στην περίπτωση της αποδοχής.

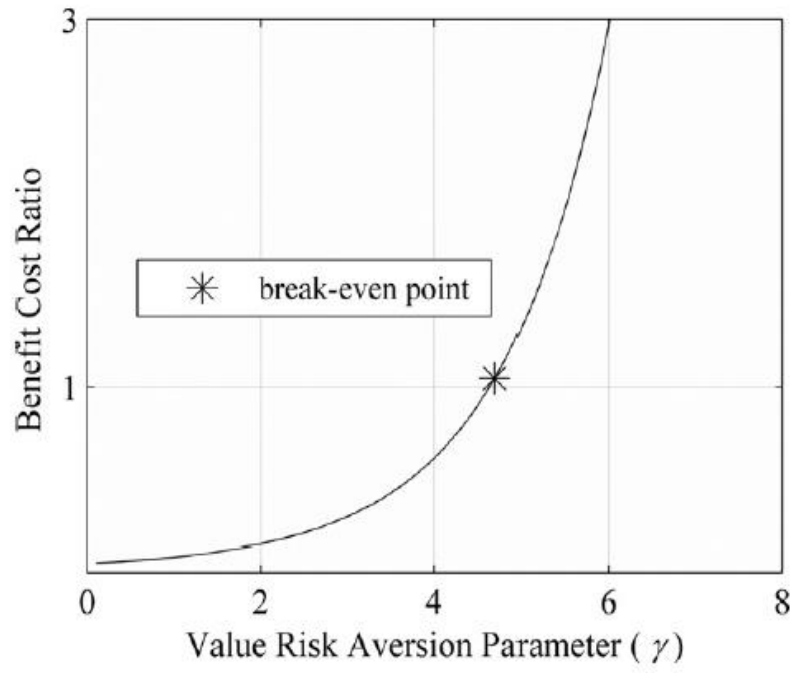
4.4 Παρουσίαση αντίστοιχων αποτελεσμάτων από το άρθρο των Cha και Ellingwood για την πυρηνική βιομηχανία

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του παρόντος κεφαλαίου οι καθηγητές Cha και Ellingwood στο άρθρο που δημοσιοποίησαν το 2013 με τίτλο «The role of risk aversion in nuclear plant safety decisions» προσπάθησαν να αξιολογήσουν το είδος της συμπεριφοράς ρίσκου ως προς τους κανονισμούς για την προστασία των εργοστασίων παραγωγής πυρηνικής ενέργειας από περιστατικά πυρκαγιάς, βάσει των κινδύνων που αναφέρονται στο Appendix R του Κώδικα Ομοσπονδιακών Κανονισμών (Code of Federal Regulations, Part 50 - 10CFR50.48) που έχει εκδοθεί από η Κανονιστική Επιτροπή Πυρηνικών των Ηνωμένων Πολιτειών (US Nuclear Regulatory Commission). Στη μελέτη τους, χρησιμοποιήθηκαν ως παράδειγμα, οι μετατροπές που προτάθηκαν και πραγματοποιήθηκαν, βάσει των παραπάνω κανονισμών, στον πυρηνικό εργοστάσιο Browns Ferry στην Αλαμπάμα, μετά την πυρκαγιά που ξέσπασε σε ένα από τους τρεις πυρηνικούς του αντιδραστήρες, το 1975.

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν ακολουθώντας τη μεθοδολογία που αναφέρθηκε προηγουμένως είναι τα εξής:

- Ο λόγος οφέλους-κόστους για τον κανονισμό που πρότεινε ο USNR υπολογίστηκε ίσος με 0,05, κατά συνέπεια αφού είναι μικρότερος από τη μονάδα χαρακτηρίστηκε από αποστροφή ως προς το ρίσκο.
- Η τιμή της παραμέτρου γ για την οποία το αναμενόμενο όφελος γίνεται ίσο με το αναμενόμενο κόστος, δηλαδή το γ_{tipping} , υπολογίστηκε ίση με 4,7 όπως παρουσιάζεται και στο ακόλουθο σχήμα.

Σχήμα 1



Πηγή: Cha E.J., Ellingwood B., The role of risk aversion in nuclear plant safety decisions, 2013

Κεφάλαιο 5^ο :

Συμπεράσματα – Προτάσεις για μελλοντική εργασία

5.1 Συμπεράσματα

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, έγινε μια προσπάθεια μελέτης της συμπεριφοράς του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) ως προς το ρίσκο βάσει των μέτρων περιορισμού που προτείνει στις Επίσημες Αξιολογήσεις του για την Ασφάλεια (FSA). Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για εκτίμηση της συμπεριφοράς διακινδύνευσης αντλήθηκε από την αντίστοιχη μελέτη των Cha και Ellingwood στην πυρηνική βιομηχανία.

Σε αυτό το κεφάλαιο, συνοψίζονται τα κύρια συμπεράσματα που προέκυψαν από την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία και τα οποία είναι:

- Κατά την εφαρμογή του μοντέλου με τιμές για τα συνολικά κόστη, τις αποζημιώσεις που έχει καταβάλει ο IMO για τα περιστατικά της βάσης δεδομένων, όλα τα επιλεγμένα RCOs προέκυψαν cost-efficient και risk-accept. Το παραπάνω αποτέλεσμα οφείλεται κατά κύριο λόγο στα πολύ χαμηλά κόστη υλοποίησης των παραπάνω μέτρων.
- Κατά την εφαρμογή του μοντέλου με τιμές για τα συνολικά κόστη των περιστατικών της βάσης δεδομένων, τα αναμενόμενα συνολικά κόστη από τη μη γραμμική εξίσωση που προτείνει ο IMO, σε αντίθεση με προηγουμένως τα RCOs 5 και 12 προέκυψαν cost-inefficient και risk-averse. Η παραπάνω διαφορά προέκυψε για τους εξής λόγους:
 - Τα συγκεκριμένα RCOs επηρεάζουν ατυχήματα με αιτία “Contact” και “NASF” αντιστοίχως. Η βάση δεδομένων περιείχε περιορισμένο αριθμό τέτοιων περιστατικών, κυρίως για την πρώτη κατηγορία
 - Τα ατυχήματα για τις παραπάνω αιτίες αφορούν περιστατικά μικρών διαρροών σε λιμάνια ή κοντά σε ακτές. Κατά συνέπεια, αν και οι τόνοι που διέρρευσαν ήταν μικρής ποσότητας οι αποζημιώσεις που κλήθηκε να καταβάλει ο IOPCF ήταν εξαιρετικά υψηλές. Αντιθέτως, τα αναμενόμενα συνολικά κόστη λόγω του ότι υπολογίζονται βάσει της ποσότητας πετρελαίου που διέρρευσε σε τόνους, προέκυψαν σημαντικά χαμηλότερα συγκριτικά με τις πραγματικές αποζημιώσεις για τα ίδια περιστατικά.
- Στην αντίστοιχη μελέτη των Cha και Ellingwood με εφαρμογή του μοντέλου στην πυρηνική βιομηχανία για τους κανόνες ασφαλείας από ατυχήματα πυρκαγιάς που θέσπισε ο USNRC για τους πυρηνικούς αντιδραστήρες μετά το ατύχημα στον εργοστάσιο Browns Ferry εντοπίστηκε έντονη αποστροφή προς το ρίσκο καθώς ο λόγος οφέλους

κόστους υπολογίστηκε πολύ λιγότερο από τη μονάδα (0,05) και το αντίστοιχο γ_{tippling} βρέθηκε στο σημείο 4,7.

- Βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων ο Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας χαρακτηρίζεται εν γένει από αποδοχή ως προς κίνδυνο αφού και για τις δύο τιμές του συνολικού κόστους που χρησιμοποιήθηκαν σχεδόν όλα τα RCOs προέκυψαν risk-accept. Η εν λόγω συμπεριφορά καταδεικνύει μια τάση υπερτίμησης των κερδών και υποτίμησης των επιπτώσεων των ατυχημάτων από τη μεριά του IMO. Συγκεκριμένα, τα κόστη υλοποίησης των προτεινόμενων μέτρων περιορισμού του ρίσκου είναι εξαιρετικά χαμηλά. Για παράδειγμα, το συνολικό κόστος υλοποίησης του RCO 3, που προτάθηκε για μείωση των ατυχημάτων τύπου Collision και αφορά την υιοθέτηση ενός ένα εφεδρικού συστήματος πλοήγησης, υπολογίστηκε για όλη τη διάρκεια «ζωής» του πλοίου, η οποία θεωρήθηκε ότι διαρκεί 25 χρόνια, ίσο με μόλις 4.800\$.
- Ένας οργανισμός που σχετίζεται με θέματα ασφαλείας των ανθρώπων και του περιβάλλοντος θα αναμενόταν να παρουσιάζει αποστροφή ως προς το ρίσκο όπως συνέβη στο άρθρο των Cha και Ellingwood όπου ο USNRC παρουσιάστηκε έντονα risk-averse. Αντιθέτως στη συγκεκριμένη μελέτη ο IMO προέκυψε risk-accept. Η συγκεκριμένη διαφορά θα μπορούσε να οφείλεται στους εξής λόγους:
 - Στο γεγονός ότι παρά τη διαρκή αύξηση του πετρελαίου που μεταφέρεται μέσω θαλάσσης και του αντίστοιχου στόλου που το μεταφέρει, ο αριθμός των ατυχημάτων καθώς και η ποσότητα διαρροής στο θαλάσσιο περιβάλλον τα τελευταία 20 χρόνια παρουσιάζει σημαντική μείωση, όπως παρουσιάστηκε και στον Πίνακα 1. Αντιθέτως, ο κανονισμός που πρότεινε ο USNRC ήταν συνέπεια του πυρκαγιάς που ξέσπασε στο πυρηνικό εργοστάσιο Browns Ferry στην Αλαμπάμα. Οπότε ενδεχομένως οι επιπτώσεις που θα είχε ένα τέτοιου είδους ατύχημα τον οδήγησαν στην υιοθέτηση ενός κανονισμού μεγάλου κόστους.
 - Στον αντίκτυπο που έχει ένα πυρηνικό ατύχημα στον πλανήτη σε σχέση με τα ατυχήματα διαρροής πετρελαίου. Τα οποία ατυχήματα μπορεί να έχουν μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης όμως στην πλειονότητα αφορούν μικρές διαρροές πιο εύκολα αντιμετωπίσιμες από κάποιο πυρηνικό ατύχημα.

5.2 Προτάσεις για μελλοντική εργασία

Πιθανή συνέχιση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα μπορούσε να αποτελέσει μια εκ νέου μελέτη της διάθεσης του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού ως προς τον κίνδυνο βάσει των προτεινόμενων μέτρων του περιορισμού του ρίσκου με μια βάση δεδομένων που θα περιλαμβάνει περιστατικά από τις χώρες οι οποίες δεν είναι μέλη στο ΙΟΡC ταμείο, όπως η Κίνα και οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής.

Επίσης, ενδιαφέρον θα παρουσίαζαν τα αποτελέσματα που θα προέκυπταν από μια εκτενέστερη μελέτη με μια βάση δεδομένων για το σύνολο των ατυχημάτων διαρροής πετρελαίου στα δεξαμενόπλοια, με υπολογισμό του αναμενόμενου συνολικού κόστους από τη μη γραμμική εξίσωση που προτείνεται στην ανανεωμένη Επίσημη Αξιολόγηση για την Ασφάλεια. Παράλληλα υπολογίζοντας τις αντίστοιχες πιθανότητες των παραπάνω ατυχημάτων θα μπορούσε να συμπεριληφθεί στο μοντέλο, η συνάρτηση βάρους για μεγαλύτερη ακρίβεια στην εκτίμηση της τάξης μεγέθους αποστροφής ή αποδοχής ως προς τον κίνδυνο από τον ΙΜΟ.

Βιβλιογραφία

1. Matar, S and Hatch L. F.: Chemistry of petrochemical processes, 2nd Edition Houston, TX: Gulf Publishing Company, 2000
2. Tissot, B.P., and Welte D.H. Petroleum Formation and Occurrence, Springer- Verlag, New York, 1984.
3. Warton B., Studies of the saturate and aromatic unresolved complex mixtures in petroleum, PhD thesis, University of Curtin, 1999
4. Peterrs K.E and Modolwan J.M, The biomarker guide, Interpreting molecular fossils in petroleum and Ancient sediments. Prentice – Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1993
5. Potter T. L., Simmons K. E., Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group Series, Composition of petroleum mixtures, Vol. 2, Amherst Scientific Press Amherst, MA, 1998
6. Sadler R. and Connell Langley A.D., Gilbey M and Kennedy B Eds, Analytical Methods for the Determination of Total Petroleum Hydrocarbons in Soil, Proceedings of the Fifth National Workshop on the Assessment of Site Contamination, National Environment Protection Council Service Corporation, 2003
7. U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toxicological Profile for Total Petroleum hydrocarbons (TPH), September 1999
- 8 King, R.W., Petroleum: Its Composition, Analysis and Processing in Occupational Medicine, edited by N.K.Weaver, Hanley & Belfes, Philadelphia, PA. 1988
9. American Society of Testing Materials, Annual Book of ASTM Standards Section 5: Petroleum Products, Lubricants and Fossil Fuels. Philadelphia, PA 1996.
10. Weisman W., Analysis of Petroleum Hydrocarbons in environmental media, Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group Series, Vol. 1, Amherst Scientific Press Amherst, MA, 1998

11. Atlas, M.R.,. Microbial Degradation of Petroleum Hydrocarbons: An Environmental Perspective. *Microbiological Reviews*. 45:180-209, 1981
12. American Petroleum Institute, Transport and Fate of Non-BTEX Petroleum Chemicals in Soils, and Groundwater, Health and Sciences Department, API Publication Number 4593, Washington, DC., 1994
13. Gustafson, J.B, Tell J.G., Orem D., Selection of Representative TPH Fractions Based on Fate and Transport Considerations, Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group, Vol. 3, Amherst Scientific Press, Amherst, MA.,1997
14. Solano-Serena F., Marchal R., Huet T., Lebeault J.-M., Vandecasteele J.P., Biodegradability of volatile hydrocarbons of gasoline, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 54, 121-125, 2000
15. Baehr A., and Corapcioglu Y., A Compositional Multi-Phase Model for Ground Water Contamination by Petroleum Products - II. Numerical Solution., *Water Resour. Res.* 23, 201-243, 1987
16. Olsen RL, Davis A, Predicting the fate of and transport of organic compounds in groundwater. *Hazard. Mater. Control* 3, 38-63, 1990
17. F. Chaillan, Chameau C.H., Point V., Saliot A., Oudot J., Factors inhibiting bioremediation of soil contaminated with weathered oils and drill cuttings, *Environ. Pollution*, 144, 255-265, 2006
18. Das K., Mukherjee A. K., Crude petroleum-oil biodegradation efficiency of *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from a petroleum-oil contaminated soil from North-East India, *Bioresource Technology*, 98, 1339–1345 2007
19. Venkateswaran, K., and Harayama S.. Sequential enrichment of microbial populations exhibiting enhanced biodegradation of crude oil, *Can. J. Microbiol.*, 41, 767–775, 1995
20. Van Hamme J.D., Recent Advances in Petroleum Microbiology, *Microbiol. molec. biol. Rev.*.67, 4, 503–549, 2003

21. Lee S-H, Lee S, Kim D-Y, Kim J-G., Degradation characteristics of waste lubricants under different nutrient conditions, *Journal of Hazardous Materials*, 143 65–72, 2007
22. Torres L. G., Rojas N., Bautista G., Iturbe R., Effect of temperature and surfactant's HLB and dose over the TPH-diesel biodegradation process in aged soils, *Proc. Biochem*, 40, 3296–3302, 2005
23. Riis V., Babel W., Pucci O. H., Influence of heavy metals on the microbial degradation of diesel fuel, *Chemosphere*, 49, 559–568, 2002
24. Del' Arco J.P., F.P. de Franca, Influence of oil contamination levels on hydrocarbon biodegradation in sandy sediment, *Environ Poll.*, 110, 515-519, 2001
25. Sugiura, K., Ishihara M., Toshitsugu T., Harayama S., Physicochemical properties and biodegradability of crude oil, *Environ. Sci. Technol.*, 31, 45–51, 1997
26. Ko, S. H., and Lebeault J. M., Effect of a mixed culture on co-oxidation during the degradation of saturated hydrocarbon mixture., *J. Appl. Microbiol.*, 87, 72 -79, 1999
27. Douglas G.S., Bence A.E., Prince R.C., McMillen S.J., Butler E.L., Environmental stability of selected petroleum hydrocarbon source and weathering ratios, *Environ. Sci. Technol.*, 30, 2332-2339, 1996
28. Barathi S., Vasudevan N., Utilization of petroleum hydrocarbons by *Pseudomonas fluorescens* isolated from a petroleum-contaminated soil, *Environ International*, 26, 413-416, 2001
29. Rahman K.S.M., Thahira-Rahman J., Lakshmanaperumalsamy P., Banat I.M., Towards efficient crude oil degradation by a mixed bacterial consortium, *Biores. Technol.*, 85, 257–261, 2002
30. Dean-Ross D., Moody J., Cerniglia C.E., Utilization of mixtures of polycyclic aromatic hydrocarbons by bacteria isolated from contaminated sediment, *FEMS Microbiol. Ecol.* 41, 1-7, 2002
31. Ivancev-Tumbasa I., Trickovic J., Karlovic E., Tamas Z., Roncevic S., Dalmacija B., Petrovic O., Klasnja M., GC/MS-SCAN to follow the fate of crude oil components in bioreactors set to remediate contaminated soil, *International Biodeterioration &*

Biodegradation, 54, 311 – 318, 2004

32. Langbehn A., Steinhart H., Biodegradation studies of hydrocarbons in soils by analyzing metabolites formed, *Chemosphere*, 30, 5, 855-868, 1995

33. Dutta T. K. and Harayama S., Biodegradation of n-Alkylcycloalkanes and n-Alkylbenzenes via New Pathways in *Alcanivorax* sp. Strain MBIC 4326, *Appl. Environ Microbiol.*, 67, 4, 1970–1974, 2001

34. Irwin R.J., Environmental contaminants encyclopedia total petroleum hydrocarbons (TPH) Entry, National park service water resources divisions, Water Operations Branch, 1201 Oakridge Drive, Suite 250 Fort Collins, Colorado 80525, 1997

35. McMurry J., Οργανική Χημεία, Πέμπτη Έκδοση, Απόδοση στα Ελληνικά από τους Αναστάσιο Βάρβογλη, Μιχάλη Ορφανόπουλο, Ιουλία Σμόνου, Μανώλη Στρατάκη, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο (2005)

36 . NOAA (2008). Introduction to Environmental Sensitivity Index maps. NOAA Technical Manual. Seattle: Hazardous Response and Assessment Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 56p.

37. Lerch D.W. (1993) An application of oil spill recovery technology to response vessel design - The Burrard Cleaner No.9, *Marine Technology*, Vol. 30, No. 3, 172-177.

38. NOAA (1992) "Shoreline Countermeasures Manual", Hazardous Materials Response & Assessment Division, National Oceanic and Atmospheric Administration.

39. Zengel S.A., Michel J.A. (1996) Vegetation cutting as a clean-up method for salt and brakish marshes impacted by oil spills: a review and case history of the effects on plant recovery, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 32, No. 12, 876-885.

40. Morrison R.D. (2000) Application of forensic techniques for age dating and identification in environmental litigation, *Environmental Forensics*, Vol. 1, 131-153.

41. USEPA (1995) Method 1664: n-hexane extractable material and silica gel treated n-hexane extractable material by extraction and gravimetry (Oil and grease and total petroleum hydrocarbons), Office of Water Engineering and Analysis Division.

42. Vogt N.B., Sjoegren C.E. (1989) Investigation of chemical and statistical methods for oil spill classification, *Analytica Chimica Acta*, Vol. 222, 135-150.

43. Wang Z., Fingas M. Page D.S. (1999) Oil spill identification, *Journal of Chromatography A*, Vol. 843, 369-411.
44. Brattegard, T. (1980) *Norwegian ecological action plan for oil spills (NEAP)*, Norwegian Ministry of Environment, FOH preprint.
45. Connell, D.W. and G.J. Miller. (1981) Petroleum hydrocarbons in aquatic ecosystems. In: *Behaviour and Effects of Sublethal Concentrations*. Part 1; Critical Reviews in Environmental Control. Ed. Straub, C.P. CRC Press, Florida Vol. 11, 1, 37-104.
46. Cushing, D.H. (1980). European fisheries. *Marine Pollution Bulletin* 11, 311-315.
47. Gillot, A. (1988). *A field guide to the application of dispersants to oil spills*. Concawe report no 2/88.
48. Efstratiou M.A. and Karydis M. (2007a) Development of Tools and Methodologies for Response and Management Actions, in *Prevention and management of sea originated risks to the coastal zone*, T.Karambas (coord.), Interreg IIIb, Archimed.
49. Efstratiou M.A. and Karydis M. (2007b) Estimation of Pollution Spread and Pollutant persistence after episodic Beach pollution using existing Methods, in *Prevention and management of sea originated risks to the coastal zone*, T.Karambas (coord.), Interreg IIIb, Archimed.
50. Janssen, R. (1993) *Multiobjective decision support for environmental management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
51. Mercer B.W., A.J. Shuckrow and G.W. Dawson. (1973). *Treatment of Hazardous Material Spills with Floating Mass Transfer Media*, US Environmental Protection Agency, USA, EPA-670/2-73-078, Superintendent of Documents, US Government Printing Office, Washington D.C. 40402, USA.
52. Tramier, B. (1987). *A field guide to coastal oil spill control and clean-up techniques*, Concawe report no 9/81.
53. US Environmental Protection Agency. (1992). *Standard Operating Safety Guides*, Office of Emergency and Remedial Response, US Environmental Protection Agency, Washington, DC 20460, USA, 1992, NTIS Publication 9285.1-03.
54. Van Oudenhoven, J.A.C.M. (1983). *Characteristics of petroleum and behaviour at sea*. Concawe report no 8/83.

55. Information Services (2010). "Data & Statistics: Accidental Marine oil Spillages Since 1970". International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF). Retrieved 18 May 2010.
56. Elena Egawhary (2010). "How big is the Deepwater Horizon oil spill?". BBC News. Retrieved 18 May 2010.
57. IMO/IPIECA (1994). Sensitivity Mapping for Oil Spill Response. International Maritime Organization/ International Petroleum Industry Environmental Conservation Association Report Series, Volume 1. 22p.
58. AC Wolfaardt, AJ Williams, LG Underhill, RJM Crawford & PA Whittington (2009): Review of the rescue, rehabilitation and restoration of oiled seabirds in South Africa, especially African penguins *Spheniscus demersus* and Cape gannets *Morus caepensis*, 1983–2005, African Journal of Marine Science, 31:1
59. Panetta, L. E. (Chair) (2003). America's living oceans: charting a course for sea change [Electronic Version, CD] Pew Oceans Commission.
60. Bautista H. and Rahman K. M. M. (2016). Review On the Sundarbans Delta Oil Spill: Effects On Wildlife and Habitats. International Research Journal, 1(43), Part 2, pp: 93-96. doi:10.18454/IRJ.2016.43.143
61. Anderson, E.L., E. Howlett, K. Jayko, V. Kolluru, M. Reed, and M. Spaulding. 1993. The worldwide oil spill model (WOSM): an overview. Pp. 627–646 in Proceedings of the 16th Arctic and Marine Oil Spill Program, Technical Seminar. Ottawa, Ontario: Environment Canada.
62. Wang, Z., M. Fingas, and D.S. Page. 1999. Oil spill identification. Journal of Chromatography A. 843
63. Etkin D.S. (2000), "Worldwide Analysis of Marine Oil Spill Cleanup Cost Factors", Presented at: Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar (June 2000).
64. Etkin D.S. (1999), "Estimating Cleanup Costs for Oil Spills", International Oil Spill Conference, (Paper #168).
65. White I.C., Molloy F.C. (2003), "Factors that Determine the Cost of Oil Spills". International Tankers Owners Pollution Federation Limited

66. IMO. (3 July 2008), "Relevant information in relation to the Draft Environmental Risk Evaluation Criteria". Submitted by Japan .
67. ITOPF, (2002), Technical Information Paper: "FATE OF MARINE OIL SPILLS".
68. Lentz S.A., Felleman F., (2003), "Oil Spill Prevention:A Proactive Approach", International Oil Spill Conference 2003.
69. Etkin D.S., "Methodologies for Estimating Shoreline Cleanup Costs". Proceedings of 24th Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar
70. Etkin D.S., (2001), "Comparative Methodologies for Estimating On-water Response Costs for Marine Oil Spills", International Oil Spill Conference, pp. 1281 – 1289
71. U.S Department of Commerce (1983), "Assessing the Social Costs of Oil Spills: The AMOCO CADIZ Case Study"
72. M.Shahriari, A.Frost, "Oil spill cleanup cost – Developing a mathematical model for marine environment", Gothenburg, Sweden
73. E.J. Cha, B.R. Ellingwood (2013), "The role of risk aversion in nuclear plant safety decisions "
74. Incidents, IOPCF (2017), <http://www.iopcfunds.org/incidents/incidents-summary-table/>
75. Formal Safety Assessment for crude oil Tankers, IMO, MEPC 58/17/12 (2008)
76. Formal Safety Assessment (Revised Guidelines), IMO, MEPC 62/WP.13 (2011)
77. C. Kontovas, H. Psaraftis, N. Ventikos (2010), " An empirical analysis of oil spill cost data"
78. Yasuhira Yamada (2009), " The Cost of Oil Spills From Tankers in Relation to Weight of Spilled Oil"