

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ



ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

«ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΟΝΑΡ ΣΕ ΔΕΞΑΜΕΝΟΠΛΟΙΑ»

Ξηρουχάκης Αλέξανδρος



Διπλωματική εργασία
που υποβλήθηκε στο Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών ως μέρος των απαιτήσεων
για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στη Ναυτιλία

Πειραιάς

Ιανουάριος 2013

© Copyright 2013, Αλέξανδρος Ξηρουχάκης

Φιντίου 21 1112 53, Αθήνα

Τηλ. 210 8672636

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Το άτομο που εκπονεί τη Διπλωματική Εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στη βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (εμπορικός, μη κερδοσκοπικός ή εκπαιδευτικός), της φύσης του υλικού, που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες ή χάρτες), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος, που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή στη γενικότερη αξία τού υπό copyright κειμένου.

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίστηκε από τη ΓΣΕΣ του Τμήματος Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς, σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στη Ναυτιλία.

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

Τζαννάτος Ερνέστος, *Καθηγητής* Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών, Επιβλέπων

Γκιζιάκης Κωσταντίνος, *Καθηγητής* Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών

Βασίλειος Τσελέντης, *Καθηγητής* Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θερμές ευχαριστίες οφείλω στον Καθηγητή του Τμήματος Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς, κ. Ερνέστο Τζαννάτο, για την καθοδήγηση, την εμπιστοσύνη και την πολύτιμη βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ, ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΤΩΝ	8
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	11
ABSTRACT	11
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
<u>1.1. ΣΚΟΠΟΣ</u>	12
<u>1.2 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ</u>	13
<u>1.3 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ</u>	14
2. ΓΕΝΙΚΑ	18
<u>2.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣΑΡΑΞΗΣ</u>	18
2.1.1. ΔΕΝΤΡΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ	19
2.1.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΑΦΗΣ	20
<u>2.2. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΣΑΡΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΕΠΑΦΩΝ</u>	22
2.2.1. Η ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ «ΣΤΟΛΟΣ» (FLEET)	23
2.2.2. Η ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ «ΠΡΟΣΑΡΑΞΗΣ» (GROUNDING)	25
2.2.3. Η ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ «ΕΠΑΦΗ» (ACTIVE CONTACT)	27
2.2.4. Η ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ «ΔΙΑΡΡΟΗ» (SPILL)	29
2.2.5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΡΙΣΚΟΥ	31
<u>2.3. ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΟΝΑΡ</u>	33
2.3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΟΝΑΡ	33
2.3.2. ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (SYSTEM PERFORMANCE)	37
2.3.2.1 Πιθανότητα εντοπισμού (Detection Probability, P(d))	37
2.3.2.2.Εκτίμηση στόχου και ακρίβεια πληροφοριών	42
2.3.2.3. Μέγιστη απόσταση εντοπισμού	42
3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΡΙΣΚΟΥ	
ΠΡΟΣΑΡΑΞΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΟΝΑΡ	44
<u>3.1. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΣΑΡΑΞΕΩΝ</u>	
<u>ΚΑΙ ΕΠΑΦΩΝ ΧΩΡΙΣ ΑΠΩΛΕΙΑ ΠΡΟΩΣΗΣ</u>	
<u>ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΑΙΤΙΟ</u>	44
<u>3.2. ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΑΡΑΞΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΟΝΑΡ</u>	47
3.2.1. ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (SYSTEM RELIABILITY)	48

3.2.1.1. Πιθανότητα αποτυχίας υλικού	50
3.2.1.2. Πιθανότητα αποτυχίας Λογισμικού	52
3.2.1.3. Πιθανότητα μη διαθεσιμότητας	56
3.2.2. Ο ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ	56
3.2.2.1. Πιθανότητα αποτυχίας εντοπισμού και αποφυγής του κινδύνου από το πλήρωμα	57
3.2.3. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΕΜΠΟΔΙΟΥ	69
4. ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΑΡΑΞΗΣ	76
<u>4.1. ΣΕΝΑΡΙΟ Α1</u>	76
4.1.1. ΑΠΟΤΥΧΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΣΟΝΑΡ $P_{(Sonar Failure)}$	80
4.1.2. ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ $P_{(Human Failure)}$	80
4.1.2.1. Κατηγοριοποίηση και ποσοτικοποίηση των πιθανοτήτων χρησιμοποιώντας την τεχνική NARA	82
4.1.2.2. Κατηγοριοποίηση και ποσοτικοποίηση των πιθανοτήτων χρησιμοποιώντας την τεχνική CREAM	86
4.1.2.3. Σύγκριση των τιμών των πιθανοτήτων που παράχθηκαν με τις μεθόδους NARA και CREAM	92
4.1.2.4. Υπολογισμός Πιθανότητας ανεπαρκούς δράσης	92
4.1.3. ΤΟ ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΟ ΤΟ ΕΜΠΟΔΙΟ ΝΑ ΜΗΝ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΑΠΟΦΕΥΧΘΕΙ $P_{(obstacle unavoidable)}$	94
4.1.4. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣΑΡΑΞΗΣ (P' (Grounding))	94
<u>4.2. ΣΕΝΑΡΙΟ Α2</u>	95
4.2.1. ΑΠΟΤΥΧΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΣΟΝΑΡ $P_{(Sonar Failure)}$	97
4.2.2. ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ $P_{(Human Failure)}$	98
4.2.3. ΤΟ ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΟ ΤΟ ΕΜΠΟΔΙΟ ΝΑ ΜΗΝ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΑΠΟΦΕΥΧΘΕΙ $P_{(obstacle unavoidable)}$	99
4.2.4. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣΑΡΑΞΗΣ P' (Grounding)	100
<u>4.3. ΣΕΝΑΡΙΟ Α3</u>	100
4.3.1. ΑΠΟΤΥΧΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΣΟΝΑΡ $P_{(sonar failure)}$	102
4.3.2. ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ $P_{(Human Failure)}$	103
4.3.3. ΤΟ ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΟ ΤΟ ΕΜΠΟΔΙΟ ΝΑ ΜΗΝ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΑΠΟΦΕΥΧΘΕΙ P' (obstacle unavoidable)	104

4.3.4. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΠΡΟΣΑΡΑΞΗΣ/ΕΠΑΦΗΣ	
<i>P'(Grounding)</i>	105
5. ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΡΟΠΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ	
ΕΝΟΣ ΤΟΝΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ (COST OF AVERTING	
A TON OF OIL SPILLED, CATS)	107
<u>5.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔC/ΔR ΓΙΑ ΝΕΟΤΕΥΚΤΑ ΠΛΟΙΑ</u>	109
5.1.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔC/ΔR	112
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	115
ΣΥΖΗΤΗΣΗ	117
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	119
Παράρτημα 1: Προσαράξεις δεξαμενοπλοίων 2004-2007	121
Παράρτημα 2: Επαφές δεξαμενοπλοίων 2004-2007	135

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ, ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΤΩΝ

Διαγράμματα

Διάγραμμα 2-1: κατηγοριοποίηση προσαράξεων	18
Διάγραμμα 2-2: Βασικό δέντρο προσάραξης Brown και Haugene	19
Διάγραμμα 2-3: Δέντρο προσάραξης χωρίς απώλεια πρόωσης Brown και Haugene	20
Διάγραμμα 2-4: Κατανομή χωρητικότητας δεξαμενοπλοίων	24
Διάγραμμα 2-5: Ανάλυση ατυχημάτων δεξαμενοπλοίων 2004-2007	26
Διάγραμμα 2-6: Περιστατικά προσάραξης χωρίς απώλεια πρόωσης δεξαμενόπλοιων 2004-2007	27
Διάγραμμα 2-7: Περιστατικά επαφής δεξαμενοπλοίων 2004-2007	28
Διάγραμμα 2-8: Περιστατικά επαφής χωρίς απώλεια πρόωσης δεξαμενόπλοιων 2004-2007	29
Διάγραμμα 2-9: Διαρροές από περιστατικά προσάραξης χωρίς απώλεια πρόωσης την περίοδο 2004-2007	30
Διάγραμμα 2-10: Διαρροές από περιστατικά επαφών χωρίς απώλεια πρόωσης δεξαμενόπλοιων 2004-2007	31
Διάγραμμα 2-11: Μελέτη ALARP ρίσκου προσάραξης και επαφής δεξαμενόπλοιων	33
Διάγραμμα 2-12: Αναπαράσταση σήματος και θορύβου σε volt	40
Διάγραμμα 2-13: Παράδειγμα καμπύλης ROC	44
Διάγραμμα 3-1: Κατηγοριοποίηση προσαράξεων χωρίς απώλεια πρόωσης	45
Διάγραμμα 3-2: Δέντρο προσάραξης με χρήση σόναρ	47
Διάγραμμα 3-3: Διαχωρισμός συστήματος σε βρεχόμενο και μη βρεχόμενο μέρος	50
Διάγραμμα 3-4 : Καμπύλη bathtub λογισμικού	53
Διάγραμμα 3-5: Κατάταξη τεχνικών ανάλυσης ανθρώπινης αξιοπιστίας	58
Διάγραμμα 3-6: Απαιτούμενη εμβέλεια σόναρ με βάση το μήκος	73
Διάγραμμα 4-1: Δέντρο αποτυχίας αποφυγής κινδύνου	78
Διάγραμμα 4-2: Ενέργειες για την αποφυγή του κινδύνου	81
Διάγραμμα 4-3: Δέντρο αποτυχίας αποφυγής κινδύνου	96
Διάγραμμα 4-4: Δέντρο εμφάνισης κινδύνου με σόναρ	101
Διάγραμμα 5-1: Ανάλυση ευαισθησίας με βάση τη τιμή ΔC για πλοία μεγέθους Suezmax.	113

Διάγραμμα 4-2: Ανάλυση ευαισθησίας με βάση τη τιμή ΔC για πλοία μεγέθους VLCC.	114
---	-----

Εικόνες

Εικόνα 2-1: Τοποθέτηση συστήματος σόναρ FS - 3ER	36
Εικόνα 3-1: Κυκλικός ελιγμός αποφυγής εμποδίου.	69
Εικόνα 3-2: Τροχιά ελιγμού Zig-Zag	74

Πίνακες

Πίνακας 2-1: Προσεγγιστική κατανομή DWT στόλου τη περίοδο 2004-2007	24
Πίνακας 2-2: Εκτίμηση στόλου δεξαμενόπλοιων ανά κατηγορία μεγέθους 2004-2007	25
Πίνακας 2-3: Εκτίμηση ρίσκου προσάραξης και επαφής δεξαμενοπλοίων 2004-2007	32
Πίνακας 2-4: Δυαδικός πίνακας απόφασης	39
Πίνακας 3-1: Εκτίμηση ρίσκου προσαράξεων χωρίς απώλεια πρώσης σε εμπόδια	46
Πίνακας 3-2: Παράδειγμα MTBF με βάση τις γραμμές κώδικα (KLOCS) για λογισμικό σόναρ	55
Πίνακας 3-3: The generic tasks of NARA	59
Πίνακας 3-4: Generic tasks of NARA for checking correct plant status and availability of plant resources	60
Πίνακας 3-5: The generic tasks of NARA for alarm/indication response	60
Πίνακας 3-6: The generic tasks of NARA for communication.	60
Πίνακας 3-7: EPC List.	61
Πίνακας 3-8: Οι δεκαπέντε γνωστικές δραστηριότητες σύμφωνα με την ανάλυση CREAM	64
Πίνακας 3-9: Μήτρα για τον καθορισμό των HEPs για τις γνωστικών δραστηριότητες της ανάλυσης CREAM	66
Πίνακας 3-10: Συντελεστές (PSF) για τη ρύθμιση των Βασικών HEPs.	67
Πίνακας 3-11: Όρια αβεβαιότητας για HEPs σύμφωνα με την ανάλυση CREAM	68
Πίνακας 4-1: Σενάρια βελτίωσης προσαράξεων και επαφών	76
Πίνακας 4-2: Κατάταξη έργου ανάγνωσης οπτικών ενδείξεων	82

Πίνακας 4-3: Κατάταξη έργου αναγνώρισης και αντίδρασης σε ακουστικό συναγερμό	83
Πίνακας 4-4: Συνθήκες παραγωγής λαθών ανταπόκρισης στον ακουστικό συναγερμό	83
Πίνακας 4-5: Συνθήκες παραγωγής λαθών αναγνώρισης ακουστικού συναγερμού	84
Πίνακας 4-6: Κατάταξη έργου λήψης μέτρων αποφυγής	84
Πίνακας 4-7: Συνθήκες παραγωγής λαθών για το έργο λήψης μέτρων αποφυγής	85
Πίνακας 4-8: κατάταξη έργου ανταπόκρισης πηδαλιούχου	85
Πίνακας 4-9: συνθήκες παραγωγής λαθών για το έργο ανταπόκριση πηδαλιούχου	85
Πίνακας 4-10: Αναγνώριση οπτικών ενδείξεων, ανάλυση δευτερευουσών δραστηριοτήτων	86
Πίνακας 4-11: Συντελεστές PSFs που επιλέχθηκαν για κάθε δευτερεύουσα δραστηριότητα	86
Πίνακας 4-12: Συνολική πιθανότητα λάθους για κάθε δευτερεύουσα ενέργεια	87
Πίνακας 4-13: Ανταπόκριση και αναγνώριση ακουστικού συναγερμού, ανάλυση δευτερευουσών δραστηριοτήτων	88
Πίνακας 4-14: Συντελεστές PSFs που επιλέχθηκαν για κάθε δευτερεύουσα δραστηριότητα	88
Πίνακας 4-15: Η συνολική πιθανότητα λάθους για κάθε δευτερεύουσα ενέργεια	88
Πίνακας 4-16: Διαταγή λήψης μέτρων αποφυγής του κινδύνου, ανάλυση δευτερευουσών ενεργειών	89
Πίνακας 4-17: Συντελεστές PSFs που επιλέχθηκαν για κάθε δευτερεύουσα δραστηριότητα	89
Πίνακας 4-18: Συνολική πιθανότητα λάθους για κάθε δευτερεύουσα ενέργεια	90
Πίνακας 4-19: Ανταπόκριση πηδαλιούχου ανάλυση δευτερευουσών ενεργειών	90
Πίνακας 4-20: Συντελεστές PSFs που επιλέχθηκαν για κάθε δευτερεύουσα δραστηριότητα	91
Πίνακας 4-21: Συνολική πιθανότητα λάθους για κάθε δευτερεύουσα ενέργεια	91
Πίνακας 4-22: Συνολικές τιμές λάθους για κάθε έργο	92
Πίνακας 4-22: Βελτίωση ρίσκου προσάραξης και επαφή από την ενσωμάτωση συστήματος σόναρ	106
Πίνακας 5-1: Στοιχεία κόστους συστήματος σόναρ	110
Πίνακας 5-2: Βελτίωση ρίσκου προσάραξης ανά κατηγορία μεγέθους	111

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αυτή η εργασία εξετάζει την οικονομική αποτελεσματικότητα ενός προωραίου ηχοβολιστικού συστήματος (σόναρ), εγκατεστημένο στο βολβοειδές τόξο του πλοίου, ως μια επιλογή μείωσης του ρίσκου πετρελαιοειδούς ρύπανσης από δεξαμενόπλοια λόγω προσάραξης, χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία FSA. Με βάση τα τεχνικά και λειτουργικά (συμπ. τα ανθρώπινα) χαρακτηριστικά του συστήματος, αναλύεται και προδιορίζεται η αποτρεπτική ικανότητα προσαράξεων για συγκεκριμένες κατηγορίες (μεγέθη) πλοίων και σε συνδυασμό με τα ιστορικά δεδομένα ατυχημάτων καθίσταται εφικτή η εκτίμηση της μείωσης του ρίσκου που παρέχει η εφαρμογή του σόναρ. Λαμβάνοντας υπόψη το συνολικό κόστος του συστήματος και τη μείωση του ρίσκου, η οικονομική του αξιολόγηση γίνεται έναντι του κριτηρίου CATS.

Λέξεις κλειδιά: Προσάραξη, Ηχοβολιστικό, FSA, CATS, Ρύπανση

ABSTRACT

This work examines the cost effectiveness of a forward looking sonar, mounted on the ship's bulbous bow, as an oil risk control option due to groundings of oil carriers, by utilising the FSA methodology. On the basis of the technical and operational (inc. human) characteristics of the system, its grounding averting ability is analysed and determined for specific ship categories (sizes) and in conjunction with the historical data of accidents the risk reduction offered by its application is estimated. Taking into account the system's overall cost and the risk reduction, its economic assessment is performed against the CATS criterion.

Keywords: Grounding, Sonar, FSA, CATS, Pollution

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΣΚΟΠΟΣ

Ιστορικά, τα περιστατικά προσάραξης δεξαμενόπλοιων αποτελούν βασική αιτία για την απώλεια ζωής και ιδιοκτησίας εν πλω, καθώς επίσης και για τη πετρελαιοειδή ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Παρά την προσπάθεια να βελτιωθεί η απόδοση της διαχείρισης της γέφυρας των εμπορικών πλοίων κατά τη διάρκεια των ετών, τα περιστατικά προσάραξης συνεχίζουν να κυριαρχούν στην εικόνα των ναυτικών ατυχημάτων, κυρίως, λόγω των σοβαρότατων συνεπειών τους.

Σκοπός της εργασίας είναι η εκτίμηση της τεχνικής και οικονομικής αποτελεσματικότητας της επιλογής πρωαίου σόναρ σε δεξαμενόπλοια, με σκοπό τη μείωση του ρίσκου ρύπανσης που προκύπτει από τα περιστατικά προσάραξης χωρίς απώλεια πρόωσης. Συγκεκριμένα, με βάση τη μεθοδολογία Formal Safety Assessment (FSA) ως η πλέον καθιερωμένη διαδικασία αξιολόγησης επιλογών για τη μείωση του ατυχηματικού ρίσκου στο χώρο της ναυτιλίας, επιχειρείται η ανάπτυξη ενός μοντέλου πρόβλεψης της μείωσης στη συχνότητα προσαράξεων με την εγκατάσταση ενός συστήματος σόναρ στο βολβοειδές τμήμα της πλώρης του πλοίου για τον εντοπισμό των εμποδίων μπροστά από αυτό. Για την ανάπτυξη του μοντέλου χρησιμοποιείται η Ανάλυση Δέντρου Σφαλμάτων (FTA) και η Ανάλυση Δέντρου Γεγονότων (ETA). Επίσης, χρησιμοποιούνται τεχνικές αξιολόγησης της αξιοπιστίας του υλικού (εξαρτημάτων) και του λογισμικού μέρους του συστήματος, όπως προκύπτουν από τη θεωρία περί αξιοπιστίας μηχανικών συστημάτων, καθώς επίσης και τεχνικές μέτρησης της ανθρώπινης αξιοπιστίας όπως αυτές έχουν αναπτυχθεί αρχικά με εφαρμογή σε πυρηνικούς και μετέπειτα σε διαστημικούς σταθμούς. Τέλος, η μείωση της συχνότητας προσάραξης των πλοίων συμβάλλει στη μείωση του ρίσκου ρύπανσης και συνεπώς προσδιορίζει το κοινωνικό όφελος του σόναρ. Η στάθμιση του κοινωνικού οφέλους έναντι του ιδιωτικού κόστους του σόναρ αντιπαραβάλλεται με το κριτήριο CATS (Cost of Averting a Ton Spilled) το οποίο προτείνεται από τον IMO για την αξιολόγηση της οικονομικής αποτελεσματικότητας των διαφόρων επιλογών μείωσης του ρίσκου ατυχηματικής ρύπανσης στο πλαίσιο της FSA.

1.2 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ

Στο 2^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναπτύσσονται οι ορισμοί των περιστατικών προσάραξης και των περιστατικών επαφής που συχνά αναφέρονται στη βιβλιογραφία ως περιστατικά προσάραξης και παρουσιάζεται ένα μοντέλο ανάλυσης των βασικών αιτίων για τα ατυχήματα που οφείλονται σε προσάραξη του πλοίου. Επίσης γίνεται μια στατιστική ανάλυση των περιστατικών προσάραξης και επαφής για την περίοδο 2004-2007. Με βάση τα στοιχεία δημιουργείται ένα διάγραμμα ALARP με βάση το οποίο κρίνεται η σοβαρότητα του ρίσκου προσάραξης και επαφής για διαφορετικές κατηγορίες δεξαμενόπλοιων, βάσει προσαράξεων (και επαφών) και των ποσοτήτων διαρροής. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες που σχετίζονται με τη λειτουργία του σόναρ και παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τα στοιχεία κόστους του εμπορικού συστήματος σόναρ της Farsounder Fs-3ER που χρησιμοποιείται ως βάση για την εκτίμηση της βελτίωσης του ρίσκου προσάραξης και επαφής.

Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται το μοντέλο πρόβλεψης της βελτίωσης που θα επιφέρει η εγκατάσταση του συστήματος στο ρίσκο προσάραξης και επαφής δεξαμενόπλοιων. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση του βασικού δέντρου σφαλμάτων για την πρόβλεψη της βελτίωσης του ρίσκου προσάραξης και επαφής καθώς και των τεχνικών πρόβλεψης της αξιοπιστίας του συστήματος, αλλά και του ανθρώπινου παράγοντα που εμπλέκεται στις διαδικασίες εντοπισμού και αποφυγής του πιθανού εμποδίου. Τέλος γίνεται μια πρώτη προσπάθεια πρόβλεψης της τεχνικής αποτελεσματικότητας της ενσωμάτωσης του συστήματος σε διαφορετικές κατηγορίες δεξαμενόπλοιων με βάση την εμβέλεια του συστήματος και τη δυνατότητα ελιγμών των διαφορετικών κατηγοριών δεξαμενόπλοιων. Για κατηγορίες δεξαμενόπλοιων στις οποίες το υπάρχον σύστημα κρίνεται τεχνικά αναποτελεσματικό λόγω της εμβέλειας αυτού, θεωρήθηκαν συστήματα των οποίων η εμβέλεια τα καθιστά τεχνικά αποτελεσματικά γι' αυτές τις κατηγορίες δεξαμενόπλοιων.

Στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται η κατασκευή των μοντέλων για διαφορετικές κατηγορίες δεξαμενόπλοιων με σκοπό την εκτίμηση της μείωσης του ρίσκου προσάραξης και επαφής για κάθε μία από αυτές.

Στο 5^ο κεφάλαιο γίνεται μια προσπάθεια εκτίμησης μια ανάλυση κόστους-οφέλους με βάση το κριτήριο CATS για να διαπιστωθεί η βιωσιμότητα της επιλογής. Για τις κατηγορίες δεξαμενόπλοιων στις οποίες έγινε εκτίμηση με βάση υποθετικά

συστήματα σόναρ, γίνεται μια ανάλυση ευαισθησίας ως προς το συνολικό κόστος σε παρούσα αξία, που καθιστά τα τελευταία βιώσιμη επιλογή για τη μείωση του ρίσκου προσαράξεων και επαφών σε αυτά.

1.3 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Στην ενότητα αυτή γίνεται μια ανασκόπηση μέρους μελετών που έχουν δημοσιευθεί στο παρελθόν και σχετίζονται με την ανάλυση των περιστατικών προσάραξης, τη λειτουργία του συστήματος σόναρ, την ανθρώπινη αξιοπιστία και τέλος τη κατάσκευή ενός ενιαίου κριτηρίου CATS.

1. Ο Mazaheri 2009 ανέπτυξε έναν ενιαίο ορισμό προσάραξης όπως αυτός παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 2.1. και επιχειρεί μια διαφοροποίηση σε περιστατικά προσάραξης χωρίς απώλεια πρόωσης (Powered) και σε περιστατικά με απώλεια πρόωσης (Drift). Σε Powered Grounding εντάσσεται το μεγαλύτερο μέρος των συνολικών προσαράξεων σύμφωνα με τον Mazaheri (2009), η οποία συμβαίνει όταν το πλοίο κινείται προ τα εμπρός ή προς τα πίσω χρησιμοποιώντας τη μηχανή του. Οι πιο συχνές αιτίες που ο Mazaheri (2009) αναδεικνύει, είναι λάθη στο σχεδιασμό πορείας διέλευσης οδών ή στην πλοήγηση και τις ανεπάρκειες στους ναυτικούς χάρτες, όπως και η μη χρήση ηλεκτρονικών χαρτών ή η μη κάλυψη όλων των περιοχών από τους ηλεκτρονικούς χάρτες και τέλος, η χρήση ξεπερασμένων χαρτών.

Το Drift Grounding συμβαίνει όταν το πλοίο παρασύρεται από ρεύμα, κύμα ή άνεμο λόγω απώλειας ισχύος ή μηχανικής βλάβης, σε ακτή ή σε ύφαλο. Δυσμενείς καιρικές συνθήκες, αποτυχία αγκυροβόλησης και αποτυχία ρυμούλκησης επίσης συμβάλουν σε Drift Grounding .

Τέλος ο Mazaheri (2009) αναφέρει μια διαφοροποίηση των εννοιών Grounding και Stranding. Υποστηρίζει, ότι η έννοια stranding, αναφέρεται στο αποτέλεσμα προσάραξης σε μια αμμώδη ακτή σε αντίθεση με το grounding που αναφέρεται ως αποτέλεσμα προσάραξης σε ύφαλο.

Επίσης οι Brown και Haugene (1998) επιχειρούν την ανάπτυξη ενός μοντέλου ανάλυσης δέντρου σφαλμάτων (FTA) για τον εντοπισμό της αλληλουχίας γεγονότων που εξηγούν τα περιστατικά προσάραξης. Τα περιστατικά προσάραξης τοποθετούνται στη κορυφή του δέντρου ενώ η αλληλουχία γεγονότων αναπτύσσεται αναδρομικά και παρατίθεται καθέτως για την εύρεση των κύριων αιτιών που οδήγησαν σε αυτό.

Σύμφωνα με την ανάλυση του ορισμού που αναπτύχθηκε από το DNV (1995) το περιστατικά Powered Groundings είναι αποτέλεσμα πλεύσης σε μη ασφαλή διαδρομή είτε λόγω λάθους πλοήγησης είτε λόγω λανθασμένου σχεδιασμού¹.

Η δεύτερη κύρια αιτία, σύμφωνα με την ανάλυση, είναι το πλοίο να ξεφύγει από την ασφαλή πορεία λόγω λάθους πλοήγησης.

Ως παρέκκλιση από την ασφαλή διαδρομή εννοούμε παρεκκλίσεις πορείας σε τέτοιο βαθμό και για τέτοιο χρονικό διάστημα, ώστε το πλοίο τίθεται σε κίνδυνο προσάραξης. Αυτή η παρέκκλιση οφείλεται σε λάθος του πιλότου και δεν πρέπει να συγχέεται με τις συνήθεις αποκλίσεις κατά την πλεύση σε μια σχεδιασμένη πορεία. Οι τελευταίες συμβαίνουν καθώς το πλοίο ακολουθεί την προσχεδιασμένη πορεία του και συνεχώς λαμβάνονται διορθωτικά μέτρα για να επανέλθει στην κανονική του πορεία.

Επίσης οι Ge Wang, Dajiu Jiang, Yung Shin (2003) επιχειρούν το διαχωρισμό των περιστατικών επαφής από τα περιστατικά προσάραξης και τα περιστατικά σύγκρουσης πλοίων.

2. Ο Jonathan I. McGregor (2009), με βάση τα στατιστικά στοιχεία των διαρροών από αγωγούς μεταφοράς πετρελαίου στις ΗΠΑ, καθόρισε τα όρια αποδεκτού και μη αποδεκτού ρίσκου διαρροής πετρελαίου για το στόλο των Aframax σε μια μελέτη ALARP. Με βάση τα όρια αυτά γίνεται εκτίμηση της σημαντικότητας του ρίσκου για περιστατικά επαφής και προσάραξης χωρίς απώλεια πρόωσης.

3. Σύμφωνα με πληροφορίες που παρέχονται από την εταιρία Farsounder, γίνεται παρουσίαση των βασικών στοιχείων του σόναρ με σκοπό την καλύτερη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας ενός σύγχρονου συστήματος σόναρ και των περιορισμών που τίθενται από το εξωτερικό περιβάλλον.

Όσον αφορά τη την απόδοση του συστήματος, οι Ed Tucholski, Urick, R. J. (1983), Ross L Dowe (1997), και Abdi Herve (2007) παραθέτουν τη θεωρία εντοπισμού σήματος για την εκτίμηση της πιθανότητας εντοπισμού. Η πιθανότητα αυτή αναφέρεται στην πιθανότητα το σόναρ να εντοπίσει το στόχο, εφόσον αυτός βρίσκεται μέσα στην εμβέλεια εντοπισμού (detection range) και επιτυγχάνεται όταν η

¹ Πρέπει να αναφερθεί ότι η πορεία του πλοίου είτε λόγω λάθους σχεδιασμού είτε λόγω παρέκκλισης δεν θεωρείται επικίνδυνη μέχρι να επέλθει κίνδυνος, εφόσον υπάρχει πιθανότητα λήψης διορθωτικών μέτρων (recovery). Επιπλέον στη συγκεκριμένη περίπτωση μπορούμε να θεωρήσουμε ότι όταν εμφανιστεί άμεσος κίνδυνος στην πορεία του πλοίου (στο επόμενο μίλι) τότε αυτός δεν μπορεί να αποφευχθεί και συνεπώς η πορεία του πλοίου καθίσταται επικίνδυνη (χωρίς την εγκατάσταση συστήματος σόναρ).

ποσότητα της ακουστικής ενέργειας που συλλέγεται ξεπεράσει ένα προκαθορισμένο όριο.

Αυτό το όριο ονομάζεται κατώτατο όριο εντοπισμού (detection threshold) και εκφράζεται μέσω της αναλογία της δύναμης σήματος και της δύναμης του θορύβου (Signal to Noise Ratio, SNR). Το όριο εντοπισμού μπορεί να οριστεί ως η αναλογία ήχου/θορύβου που χρειάζεται για να αποφανθεί ο χειριστής για την ύπαρξη σήματος.

Επίσης ο Ross L Dowe (1997) παραθέτει και τις βασικές συνιστώσες που επηρεάζουν τη μέγιστη απόσταση στην οποία το σύστημα σόναρ μπορεί να εντοπίσει έναν στόχο και παρουσιάζει τη βασική εξίσωση του σόναρ.

4. Στο βιβλίο του N. Cockcroft, J. N. F. Lameijer, (2012), *A Guide to the Collision Avoidance Rules*, παραθέτεται ο βασικός ελιγμός αποφυγής με στροφή έως και 360 μοίρες ενώ έρευνα της ABS (2009) αναδεικνύει την ελάχιστη απόσταση που χρειάζεται ένα πλοίο για εκτελέσει ελιγμό με στροφή 90°. Αυτή η απόσταση ονομάζεται μέτρο απόστασης (Advance Distance, AD) και βρέθηκε να είναι μεταξύ 3 και 5 φορές το μήκος του πλοίου.

5. Ο Qihu Li (2011) αναπτύσσει στο βιβλίο του *Digital Sonar design in Underwater Acoustics*, τη θεωρία αξιοπιστίας του υλικού μέρους του συστήματος σόναρ. Οι Vito Faraci, 2006 στη μελέτη *Calculating failure rates for series/parallel networks* και Dr. Jorge Luis Romeu: *Understanding Series and Parallel Systems Reliability*, παραθέτουν τη θεωρία «αξιοπιστίας παράλληλων και σειριακών συστημάτων», ενώ ο Michael R. Lyu (1995) και το ANSI/IEEE, (1991) παραθέτουν τη θεωρία «αξιοπιστίας λογισμικού». Στη μελέτη του Analysis Center (RAC), (1996), *Introduction to Software Reliability: A state of the Art Review*, παρατίθεται και η καμπύλη bathtub για το λογισμικό μέρος των συστημάτων.

Η STN ATLAS (Dr. Wolfgang Hoppe, 2004) εκτίμησε την αξιοπιστία του λογισμικού βάσει τις χιλιάδες γραμμών κώδικα σε κάθε χίλιες ώρες συνεχούς λειτουργίας.

Τέλος ο Scheer Gary W. (1998) στο έργο του: *Answering substation automation questions through Fault Tree Analysis*, παραθέτει τον τύπο υπολογισμού μη διαθεσιμότητας με βάσει το μέσο χρόνο μεταξύ αποτυχιών (MTBF) και το μέσο χρόνο που χρειάζεται το σύστημα για να επισκευαστεί (MTTR).

6. Με βάση τα έργα των Erik Hollnagel, 2005: *Human Reliability Assessment in Context*, και των Chandler T. Faith, Chang Y.H. James, Mosleh, AliMarble L. Julie, Boring L. Ron, Gertman I. David, (2006): *Human Reliability Analysis Methods*

Selection Guidance for NASA, επιλέχθηκαν οι τεχνικές μετρήσεις της αξιοπιστίας για τον ανθρώπινο παράγοντα σε συστήματα αλληλεπίδρασης ανθρώπου και μηχανής (MMI). Οι τεχνικές που επιλέχθηκαν είναι η «Τεχνική Εκτίμησης Αξιοπιστίας Πυρηνικών Έργων» (NARA) και η «Μέθοδος ανάλυσης γνωστικής αξιοπιστίας και λαθών» (CREAM).

7. Οι Psarros George, Skjong Rolf, Vanem Erik 2010 στο έργο τους *Risk acceptance criterion for tanker oil spill risk reduction measures*, υπογραμμίζουν την σπουδαιότητα ανάπτυξης ενός ενιαίου κριτηρίου CATS για όλους τους τύπους ατυχημάτων και καταλήγουν σε μια μέση τιμή CATS = 80,000 USD/Ton, ενώ οι Vanem, E., Eide, M.S., Gravir, G., Skjong, R., 2007a στο έργο τους *Cost-effectiveness of preventing grounding with ECDIS*, υπολογίζουν τα στοιχεία κόστους για τη λειτουργία του συστήματος ENC βάσει των οποίων γίνεται η εκτίμηση του λειτουργικού κόστους του συστήματος σόναρ σε συνδυασμό με τα στοιχεία που παρέχονται από τη μελέτη της Δανίας, Φιλανδίας, Σουηδίας και Νορβηγίας, το 2007: *Study on the effect of ENC coverage on ECDIS Risk reduction*.

2. ΠΡΟΣΑΡΑΞΗ ΚΑΙ ΕΠΑΦΗ

2.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣΑΡΑΞΗΣ

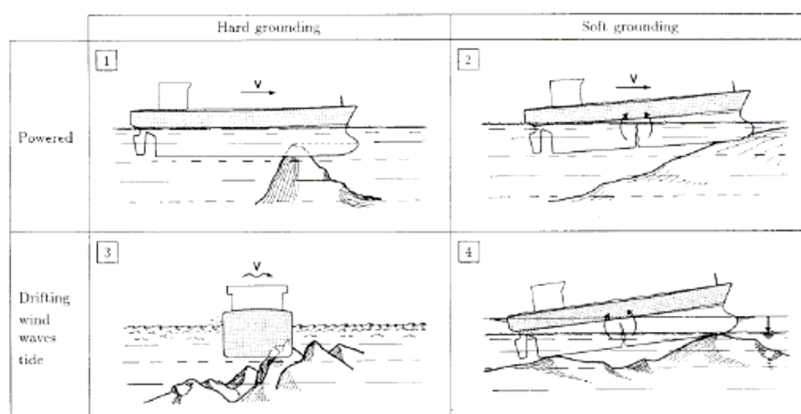
«Ως Προσάραξη πλοίου αναφέρεται το ναυτικό συμβάν όπου το πλοίο έρχεται σε επαφή με το βυθό ή τις πλευρές μιας υδάτινης θαλάσσιας οδού (π.χ. ποταμού ή καναλιού). Αυτή η επαφή συχνά οδηγεί σε ζημιά της γάστρας και συγκεκριμένα του πυθμένα του πλοίου με πιθανή εισροή υδάτων που θέτει σε κίνδυνο τη δομική ακεραιότητα και την σταθερότητα του πλοίου», (Arsham Mazaheri 2009, σελ. 11).

Λόγω των σοβαρών της επιπτώσεων, η προσάραξη θεωρείται πολύ σημαντικό γεγονός που μπορεί να κυμαίνεται από απλή ζημιά στη γάστρα μέχρι απώλεια ζωής, θαλάσσια ρύπανση και ολική απώλεια πλοίου.

1. Η προσάραξη χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες:
2. Προσάραξη χωρίς απώλεια ισχύος πρόωσης (Powered grounding)
3. Προσάραξη με απώλεια ισχύος πρόωσης (Drift grounding)

Ο Mazaheri (2009) παραθέτει ένα διαχωρισμό σε προσαράξεις σε ύφαλους ή άλλα εμπόδια (hard grounding) και σε αμμώδεις ακτές (soft grounding).

Διάγραμμα 2-1: κατηγοριοποίηση προσαράξεων

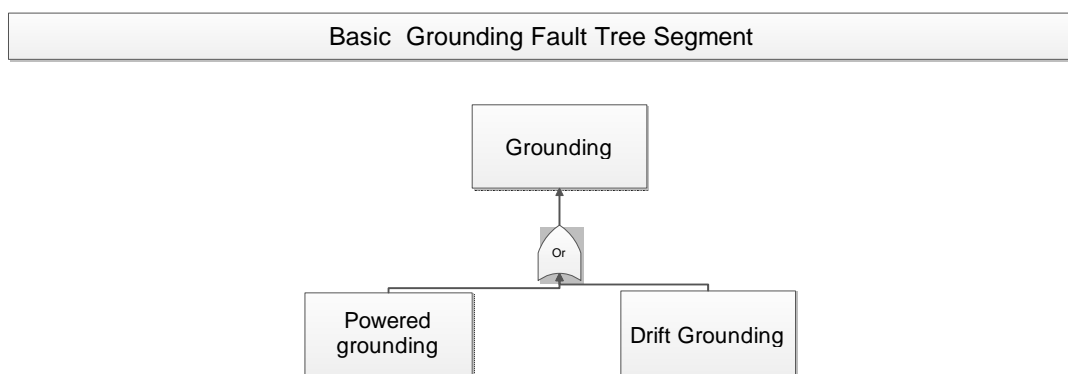


Πηγή: Mazaheri (2009) *PROBABILISTIC MODELING OF SHIP GROUNDING: A review of the literature*

2.1.1. ΔΕΝΤΡΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Για την ανάπτυξη ενός μοντέλου προσάραξης οι Brown και Haugene (1998) χρησιμοποιούν την τεχνική ανάλυσης δέντρου σφαλμάτων (Fault tree analysis). Στο δέντρο αναπαριστάται η αλληλουχία γεγονότων που οδηγούν σε προσάραξη και γίνεται μια εκτίμηση των πιθανοτήτων για κάθε επιμέρους γεγονός (Probabilistic Risk Assessment, PRA).

Διάγραμμα 2-2: Βασικό δέντρο προσάραξης Brown και Haugene



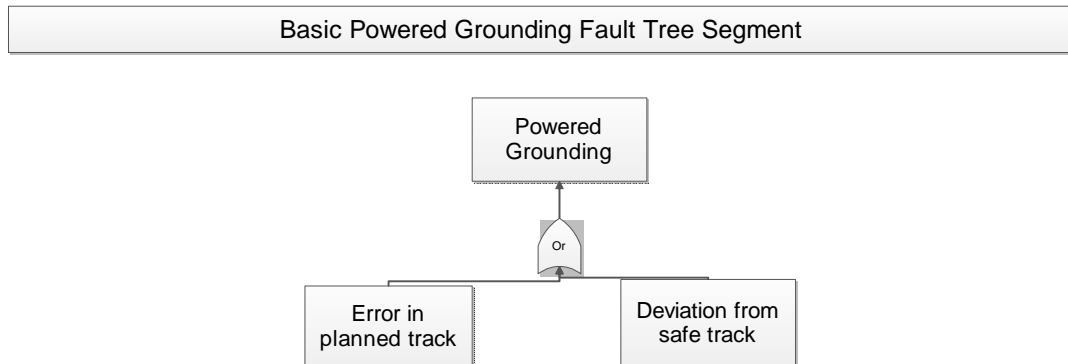
Πηγή: Brown Alan, Haugene Benedikte, 1998: *Assessing the Impact of Management and Organizational Factors on the Risk of Tanker Grounding*

Σύμφωνα με το δέντρο τα δύο βασικά ενδεχόμενα είναι αυτά της προσάραξης χωρίς απώλεια πρόωσης και της προσάραξης με απώλεια πρόωσης. Η βασική σχέση υπολογισμού για την πιθανότητα προσάραξης ορίζεται ως:

$$P_{(\text{grounding})} = P_{(\text{powered grounding})} + P_{(\text{drift grounding})} \quad (2-1)$$

Προσάραξη χωρίς απώλεια ισχύος (Powered Grounding)

Διάγραμμα 2-3: Δέντρο προσάραξης χωρίς απώλεια πρόωσης Brown και Haugene



Πηγή: Brown Alan, Haugene Benedikte, 1998: *Assessing the Impact of Management and Organizational Factors on the Risk of Tanker Grounding*

Θεωρώντας τα δύο ενδεχόμενα ως ασυμβίβαστα², η συνολική πιθανότητα προσάραξης χωρίς απώλεια πρόωσης μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$P_{(\text{powered grounding})} = P_{(\text{planned track unsafe})} + P_{(\text{course deviates from safe track})} \quad (2-2)$$

2.1.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΑΦΗΣ

«Μια σύγκρουση με χαμηλή κινητική ενέργεια μπορεί να οδηγήσει σε μόνιμες παραμορφώσεις των πλάγιων δομών του πλοίου αντί της ρήξης της γάστρας. Αυτή η χαμηλής ενέργειας σύγκρουση καλείται μερικές φορές “ατύχημα επαφής”» (Ge Wang, Dajiu Jiang, Yung Shin 2003, σελ 201).

Σύμφωνα με τον ορισμό, η βασική διαφορά μεταξύ επαφής και σύγκρουσης συνίσταται στη χαμηλότερη κινητική ενέργεια του πλοίου και έχει ως αποτέλεσμα μικρότερες ζημιές στο πλοίο. Μπορούμε να διακρίνουμε κάποιες επιμέρους κατηγορίες στα περιστατικά επαφής.

² Τα δύο ενδεχόμενα θεωρούνται ασυμβίβαστα καθώς τα δύο ενδεχόμενα δεν μπορούν να συνυπάρχουν χρονικά. Η υπόθεση, ότι το πλοίο παρεκκλίνει της ασφαλούς διαδρομής, υποθέτει ότι η διαδρομή είναι αρχικά ασφαλής.

Επαφές με άλλα πλοία (Ship to Ship Contact):

Αυτά τα περιστατικά είναι ουσιαστικά συγκρούσεις με άλλα πλοία που είτε είναι ακίνητα είτε κινούνται με πολύ μικρή ταχύτητα και έχουν ως αποτέλεσμα η έκταση των ζημιών να είναι περιορισμένη σε σχέση με περιστατικά σύγκρουσης.

Επαφές με βυθισμένα ή ημιβυθισμένα εμπόδια (Ship to Object Collision):

Αυτά τα περιστατικά αφορούν προσκρούσεις σε φυσικά ή και τεχνητά εμπόδια που είναι ακίνητα όπως κυματοθραύστες, πυλώνες, ύφαλοι κ.ά. Οι βασικές διαφορές με τα περιστατικά σύγκρουσης είναι ότι δεν αφορούν σύγκρουση μεταξύ πλοίων (Ship to Ship collision), και, τη χαμηλότερη κινητική ενέργεια του πλοίου που έχει ως αποτέλεσμα μικρότερες ζημιές στο πλοίο. Επίσης αυτός ο τύπος επαφής μοιάζει αρκετά με περιστατικά προσάραξης. Η βασική διαφορά με τα περιστατικά προσάραξης είναι ότι το πλοίο δεν ακινητοποιείται σε περίπτωση επαφής.

Επαφές με το βυθό (Bottom Contacts):

Αυτά τα περιστατικά αφορούν την πρόσκρουση του κάτω μέρους της γάστρας του πλοίου με το βυθό λόγω πλεύσης σε αβαθή ύδατα. Διαφέρουν ως προς τις προσaráξεις στο ότι το πλοίο δεν ακινητοποιείται.

Επιπλέον καθεμία από τις τρεις κατηγορίες μπορεί να διακριθεί στις επιμέρους κατηγορίες των επαφών με απώλεια πρόωσης (Drift Contact) και χωρίς απώλεια πρόωσης (Powered Contact) όπως τα περιστατικά προσάραξης.

Μοντέλο επαφής:

Αν και δεν υπάρχει αυτόνομο μοντέλο πρόβλεψης για περιστατικά επαφής, όπως για τα αντίστοιχα περιστατικά προσάραξης και σύγκρουσης, εντούτοις οι βασικές προϋποθέσεις είναι ίδιες. Το πλοίο παρεκκλίνει από την ασφαλή του πορεία και μετά επέρχεται ο κίνδυνος ή η αρχική πορεία είναι επικίνδυνη εξαρχής. Εξαίρεση αποτελούν τα περιστατικά επαφής δυο πλοίων τα οποία βρίσκονται εν πλω. Αυτά τα περιστατικά καλύπτονται από το μοντέλο σύγκρουσης (Collision).

Σε αντίθεση με τα περιστατικά σύγκρουσης³ όπου η εγκατάσταση ενός συστήματος σόναρ με εμβέλεια 1 χιλιομέτρου δεν θεωρείται ότι συμβάλει στη μείωσή τους, στα περιστατικά επαφής, τουλάχιστον, στις περιπτώσεις που το εμπόδιο είναι ακίνητο

³ Η ασφαλής απόσταση αποφυγής σύγκρουσης θεωρείται ίση με 4 ν.μ. όπως προτείνεται από τον ISM

και λόγω της χαμηλής ταχύτητας πλεύσης θεωρείται ότι υπάρχει μια βελτίωση ανάλογη με αυτή στα περιστατικά προσάραξης.

2.2. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

ΠΡΟΣΑΡΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΕΠΑΦΩΝ

Για την εκτίμηση του αριθμού περιστατικών προσάραξης τη περίοδο 2004-2007 και των ποσοτήτων διαρροών που προέκυψαν από αυτά χρησιμοποιήθηκαν:

- η δικτυακή βάση δεδομένων του *Center For Tankship Excellence* (www.c4tx.org)
- η δικτυακή βάση δεδομένων υποθέσεων του *International Tanker Owners Pollution Federation Limited* (<http://www.itopf.com/information-services/>),
- οι αναφορές της Intertanko για τις απώλειες τις περιόδους 2000-2005 και 2006-2010 (www.intertanko.com/upload/.../Time-s-Excel-Tanker-incidents.xls, www.intertanko.com/upload/23184/Casual-Excel-Casualties-2010.xls) και
- τα τεύχη του *Casualty Week* για τη περίοδο Μάιος 2004 – Δεκέμβριος 2007.

Οι προσαράξεις διακρίνονται σε αυτές που γίνονται υπό συνθήκες διαθεσιμότητας πρόωσης (Powered Groundings, PG) και σε αυτές υπό συνθήκες απώλειας πρόωσης (Drift Groundings, DG). Συνεπώς, η κατηγοριοποίηση των περιστατικών γίνεται σε Powered groundings και σε Drift groundings.

Για την εκτίμηση του αριθμού περιστατικών επαφής και των ποσοτήτων διαρροής που είναι αποτέλεσμα αυτών χρησιμοποιήθηκαν οι αναφορές της Intertanko για τις απώλειες τις περιόδους 2000-2005 και 2006-2010 (www.intertanko.com/upload/.../Time-s-Excel-Tanker-incidents.xls, www.intertanko.com-/upload/23184/Casual-Excel-Casualties-2010.xls), (Παράρτημα 2).

Το μέγεθος των πλοίων που εξετάζεται αφορά όλο το στόλο δεξαμενόπλοιων, όπως chemical, product και oil tankers. Για την εκτίμηση του ολικού μήκους των πλοίων που συμμετείχαν σε περιστατικά προσάραξης τη περίοδο 2004-2007 χρησιμοποιήθηκαν οι δικτυακές βάσεις δεδομένων *Marinetraffic.com* και *Shipspotting.com*. Τα πλοία αναζητήθηκαν βάσει των αριθμών μητρώου στον IMO και τα ονόματά τους. Για όσα πλοία δεν βρέθηκαν, το ολικό μήκος τους υπολογίστηκε με βάση τη χωρητικότητά τους σε DWT με βάση τα στοιχεία της MAN Diesel (2009).

Για τη διεξαγωγή της ανάλυσης των στοιχείων του στόλου των δεξαμενόπλοιων χρησιμοποιήθηκε η έρευνα της MAN diesel (2009) για την εξεύρεση της χωρητικότητας, ανά κατηγορία μεγέθους και στατιστικά στοιχεία από την ανάλυση των Clarksons όσον αφορά την εξέλιξη της παγκόσμιας χωρητικότητας του στόλου δεξαμενόπλοιων την περίοδο 2004-2007

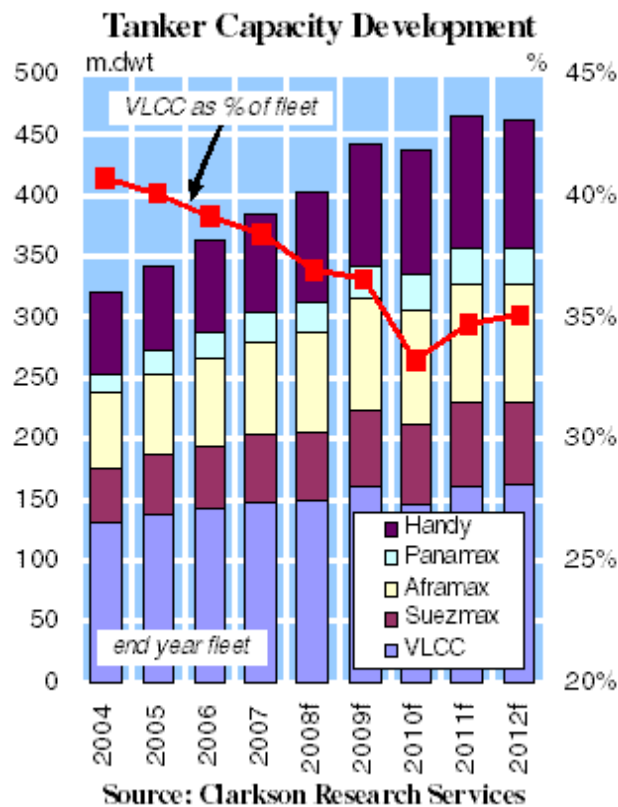
2.2.1. Η ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ «ΣΤΟΛΟΣ» (FLEET)

Σύμφωνα με την έρευνα της MAN Diesel ο παγκόσμιος στόλος tanker μπορεί να κατηγοριοποιηθεί στις εξής κατηγορίες μεγέθους:

- Small tankers (< 10,000 dwt) με μήκος έως 123 μέτρα,
- Handysize (10,000 - 30,000 dwt) με μήκος έως 175 μέτρα,
- Handymax (30,000 - 55 000 dwt) με μήκος έως 227 μέτρα,
- Panamax (60,000 - 75,000 dwt) με μήκος έως 243 μέτρα,
- Aframax (80,000 - 120,000 dwt) με μήκος έως 249 μέτρα,
- Suezmax (125,000 - 170,000 dwt) με μήκος έως 300 μέτρα,
- VLCC (250,000 - 320,000 dwt) με μήκος έως 340 μέτρα,
- ULCC \geq 350,000 dwt) με μήκος 340 μέτρα και άνω.

Επιπλέον έρευνα της Clarksons παρουσιάζει την ανάπτυξη του στόλου tankers από το 2004 ανά κατηγορία μεγέθους ως ποσοστό της συνολικής χωρητικότητας όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.

Διάγραμμα 2-4: Κατανομή μεγέθους δεξαμενοπλοίων



Πηγή: Clarksons

Πίνακας 2-1: Προσεγγιστική κατανομή DWT στόλου τη περίοδο 2004-2007

Έτος	Handy	Panamax	Aframax	Suezmax	VLCC
2004	75 M.Dwt	10 M. Dwt	70 M.Dwt	20 M.Dwt	125 M.Dwt
2005	70 M.Dwt	25 M.Dwt	70 M.Dwt	30 M.Dwt	130 M.Dwt
2006	80 M.Dwt	20 M.Dwt	75 M.Dwt	45 M.dwt	140 M.Dwt
2007	75 M.Dwt	25 M.Dwt	70 M Dwt	55 M.Dwt	150 M.Dwt
Σύνολο	300 M.Dwt	80 M. Dwt	285 M.Dwt	150 M.Dwt	545 M.Dwt

Πηγή: Clarksons

Σύμφωνα με τα παραπάνω στην κατηγορία handys (handysize + handymax) κατανέμονται 300 εκατομμύρια τόνοι νεκρού βάρους τη περίοδο 2004-2007, 80 εκατομμύρια τόνοι στην κατηγορία Panamax 285 εκατομμύρια τόνοι στην κατηγορία Aframax, 150 εκατομμύρια τόνοι στην κατηγορία Suezmax και 545 τόνοι στην κατηγορία VLCC.

Στη συνέχεια μπορούμε να υπολογίσουμε το μέγεθος στόλου ανά κατηγορία για την τετραετία 2004-2007 σε πλοία χρόνια.

Πίνακας 2-2: Εκτίμηση στόλου δεξαμενόπλοιων ανά κατηγορία μεγέθους 2004-2007

	Handys	Panamax	Aframax	Suezmax	VLCC
Αθροιστική χωρητικότητα (M.dwt)	300	80	285	150	545
Μέση Χωρητικότητα ανά πλοίο (Dwt)	30000	67000	100000	150000	285000
Στόλος πλοία, έτη)	10000	1194	2850	1000	1912

Πηγή: Από ανάλυση

2.2.2. Η ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ «ΠΡΟΣΑΡΑΞΗΣ» (GROUNDING)

Όλα τα περιστατικά που είχαν ως κύριο αίτιο λάθος ή αμέλεια του πιλότου, του καπετάνιου ή του πληρώματος της γέφυρας θεωρούνται Powered Grounding. Επίσης, περιστατικά που οφείλονται σε βλάβη των συστημάτων ηλεκτρονικών χαρτών και ραντάρ ή οφείλονται σε λάθος οδηγίες έχουν θεωρηθεί ως Powered Groundings.

Κάθε περιστατικό που είχε ως κύριο αίτιο μηχανική βλάβη στη μηχανή, στο πηδάλιο ή σε άλλο σύστημα πρόωσης καθώς και απώλειες ισχύος, θεωρείται Drift Grounding⁴.

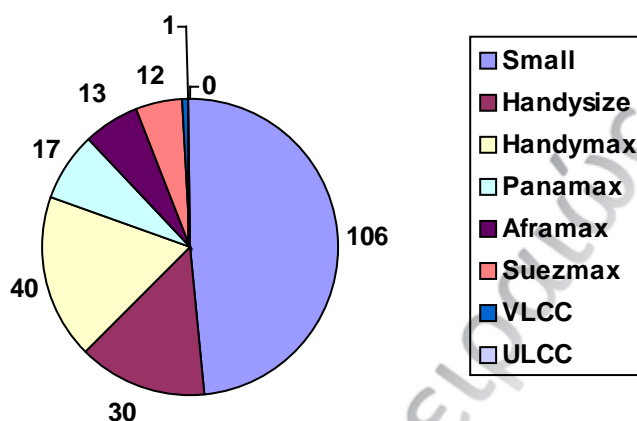
Περιστατικά που οφείλονται σε ακραίες καιρικές συνθήκες, όπως ισχυρός κυματισμός, καταιγίδες, ρεύματα, τυφώνες ή ισχυροί άνεμοι θεωρήθηκαν ως Drift Groundings έστω και αν το πλοίο είχε τη δυνατότητα πρόωσης. Οι περιπτώσεις που κνής ομίχλης και χαμηλής παλίρροιας ή χαμηλού επιπέδου νερού σε ποταμούς έχουν καταγραφεί ως Powered Groundings. Οι περιπτώσεις που τα περιστατικά είναι δευτερεύον αποτέλεσμα άλλου ατυχήματος όπως σύγκρουση με άλλο πλοίο έχουν θεωρηθεί ως Drift Groundings, ενώ περιστατικά που είναι αποτέλεσμα ελιγμών για την αποφυγή ατυχήματος έχουν θεωρηθεί Powered Groundings.

Τέλος, ως αγνώστου αιτίας (Unknown) έχουν καταγραφεί οι περιπτώσεις όπου το ακριβές αίτιο της προσάραξης δεν μπορούσε να διευκρινιστεί. Τα περιστατικά αφο-

⁴ Αριθμός ατυχημάτων που έχουν καταχωρηθεί ως Drift Groundings έχουν καταγραφεί ως βλάβη στη γάστρα και στις μηχανές (Hull and Machinery Failures) σε άλλες βάσεις δεδομένων, όμως στη προκειμένη περίπτωση μας ενδιαφέρει το γεγονός της προσάραξης ως κύριο συμβάν ενώ τυχόν μηχανική βλάβη έχει θεωρηθεί ως αίτιο.

ρούν τους κύριους τύπους δεξαμενόπλοιων, όπως Oil tankers, Product tankers, Oil/Chemical tankers, Chemical tankers, και Non specific tankers. Οι παραπάνω τύποι πλοίων θεωρήθηκαν ότι μεταφέρουν ή μπορούν να μεταφέρουν υγροποιημένους πετρελαϊκούς υδρογονάνθρακες.

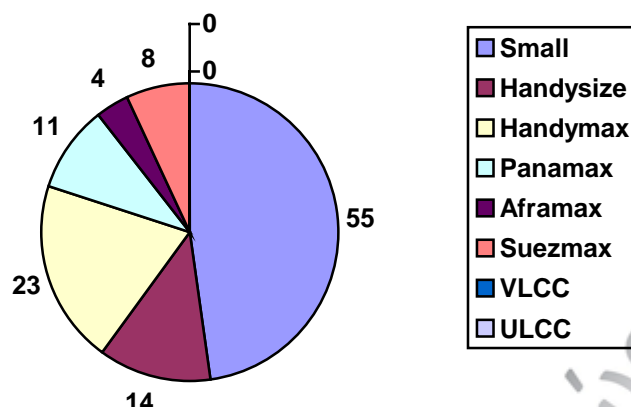
Διάγραμμα 2-5: Ανάλυση ατυχημάτων δεξαμενοπλοίων 2004-2007



Πηγή: Από στατιστική ανάλυση

Σύμφωνα με την ανάλυση των ατυχημάτων την περίοδο 2004-2007, 106 περιστατικά προσaráξεων παρατηρήθηκαν στην κατηγορία Small, 30 περιστατικά προσaráξεων στην κατηγορία Handysize, 40 περιστατικά στην κατηγορία Handymax, 17 περιστατικά στην κατηγορία Panamax, 13 περιστατικά στην κατηγορία Aframax, 12 περιστατικά στην κατηγορία Suezmax, ενώ μόλις ένα περιστατικό προσάραξης εντοπίστηκε στην κατηγορία VLCC και 0 περιστατικά στην κατηγορία ULCC. Εδώ, μπορεί να παρατηρηθεί μια σαφής μείωση των περιστατικών προσάραξης αυξανόμενου του μεγέθους του πλοίου, αλλά μια τέτοια τάση είναι δικαιολογημένη από την ταυτόχρονη μείωση του στόλου με παράλληλη αύξηση του μεγέθους των πλοίων. Στη συνέχεια γίνεται παρουσίαση των περιστατικών προσάραξης χωρίς απώλεια πρόωσης για τα οποία η ενσωμάτωση ενός συστήματος σόναρ θα βοηθήσει στην αποφυγή τους.

Διάγραμμα 2-6: Περιστατικά προσάραξης χωρίς απώλεια πρόωσης δεξαμενόπλοιων 2004-2007



Πηγή: Από στατιστική ανάλυση

Σύμφωνα με την ανάλυση των ατυχημάτων την περίοδο 2004-2007, 55 περιστατικά προσαράξεων χωρίς απώλεια πρόωσης (PG) παρατηρήθηκαν στην κατηγορία Small, 14 περιστατικά προσαράξεων στην κατηγορία Handysize, 23 περιστατικά στην κατηγορία Handymax, 11 περιστατικά στην κατηγορία Panamax, 4 περιστατικά στην κατηγορία Aframax, 8 περιστατικά στην κατηγορία Suezmax, ενώ 0 περιστατικά προσαράξεων χωρίς απώλεια πρόωσης εντοπίστηκαν στην κατηγορίες VLCC και ULCC.

2.2.3. Η ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ «ΕΠΑΦΗ» (ACTIVE CONTACT)

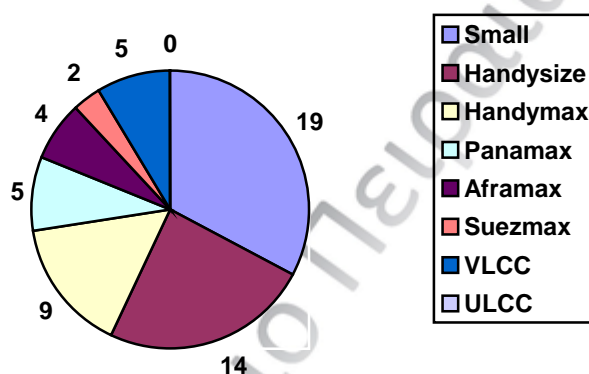
Ως περιστατικά επαφής θεωρούνται αυτά όπου το πλοίο έρχεται σε επαφή με άλλο αντικείμενο (βυθισμένο, ημιβυθισμένο ή ύφαλο). Στις επαφές περιλαμβάνονται και περιπτώσεις όπου δύο ακίνητα πλοία ή ένα πλοίο εν πλω και ένα ακίνητο πλοίο έρχονται σε επαφή (σε αντίθεση με περιστατικά σύγκρουσης όπου και τα δυο πλοία κινούνται).

Στη συγκεκριμένη μελέτη μάς ενδιαφέρουν μόνο τα περιστατικά που το πλοίο κινείται και έρχεται σε επαφή με ακίνητα αντικείμενα, δηλαδή το πλοίο έχει την υπαιτιότητα της επαφής. Τα περιστατικά αναφέρονται προς χάριν διακρίσεως ως «ενεργητικές επαφές» (Active Contacts). Περιστατικά όπου το πλοίο που μελετάται δεν βρίσκεται εν πλω, αλλά έρχεται σε επαφή με άλλο, πλοίο (υπαιτιότητα στο δεύτερο πλοίο ή εξωτερικοί παράγοντες) δεν ενδιαφέρουν τη συγκεκριμένη μελέτη (Passive Contacts).

Επίσης, γίνεται μια επιμέρους κατηγοριοποίηση στα περιστατικά «ενεργητικών επαφών» με βάση το αίτιο, σε περιστατικά χωρίς απώλεια πρόωσης (Powered Contact, PC) και περιστατικά με απώλεια πρόωσης (Drift Contacts, DC). Η διάκριση γίνεται με τα ίδια κριτήρια όπως και στην περίπτωση των περιστατικών προσάραξης⁵. Περιστατικά για τα οποία το αίτιο και οι συνθήκες δεν κατάφεραν να διευκρινιστούν, έχουν καταχωρηθεί ως αδιευκρίνιστα (Παράρτημα 2).

Για το σύνολο του δεξαμενόπλοιου στόλου, τα περιστατικά επαφής κατά την περίοδο 2004-2007 παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα.

Διάγραμμα 2-7: Περιστατικά επαφής δεξαμενοπλοίων 2004-2007

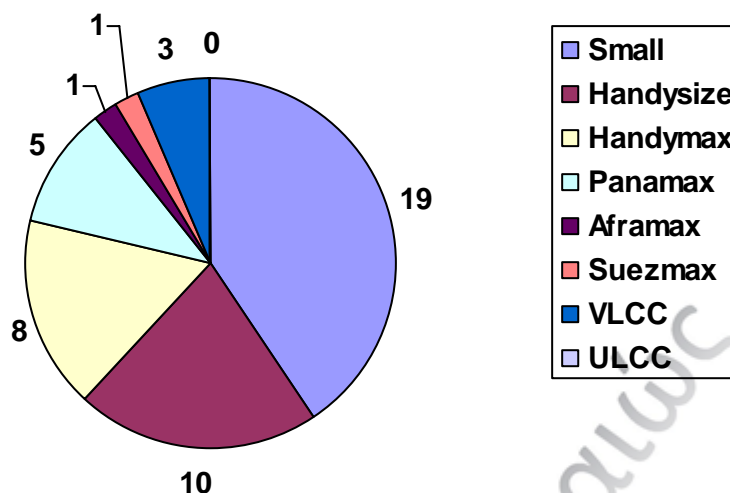


Πηγή: Από στατιστική ανάλυση

Σύμφωνα με την ανάλυση των ατυχημάτων την περίοδο 2004-2007, 19 περιστατικά επαφών παρατηρήθηκαν στην κατηγορία Small, 10 περιστατικά προσαράξεων στην κατηγορία Handysize, 14 περιστατικά στην κατηγορία Handymax, 9 περιστατικά στην κατηγορία Panamax, 4 περιστατικά στην κατηγορία Aframax, 2 περιστατικά στην κατηγορία Suezmax, ενώ 5 περιστατικά επαφής εντοπίστηκαν στην κατηγορία VLCC.

⁵ Βλέπε «Μεταβλητή Προσάραξης»

Διάγραμμα 2-8: Περιστατικά επαφής χωρίς απώλεια πρόωσης δεξαμενόπλοιων 2004-2007



Πηγή: Από στατιστική ανάλυση

Σύμφωνα με την ανάλυση των ατυχημάτων την περίοδο 2004-2007, 19 περιστατικά επαφών χωρίς απώλεια πρόωσης παρατηρήθηκαν στην κατηγορία Small, 10 περιστατικά επαφής στην κατηγορία Handysize, 8 περιστατικά στην κατηγορία Handymax, 5 περιστατικά στην κατηγορία Panamax, 1 περιστατικά στην κατηγορία Aframax, 1 περιστατικό στην κατηγορία Suezmax, ενώ 3 περιστατικά επαφής εντοπίστηκαν στην κατηγορία VLCC.

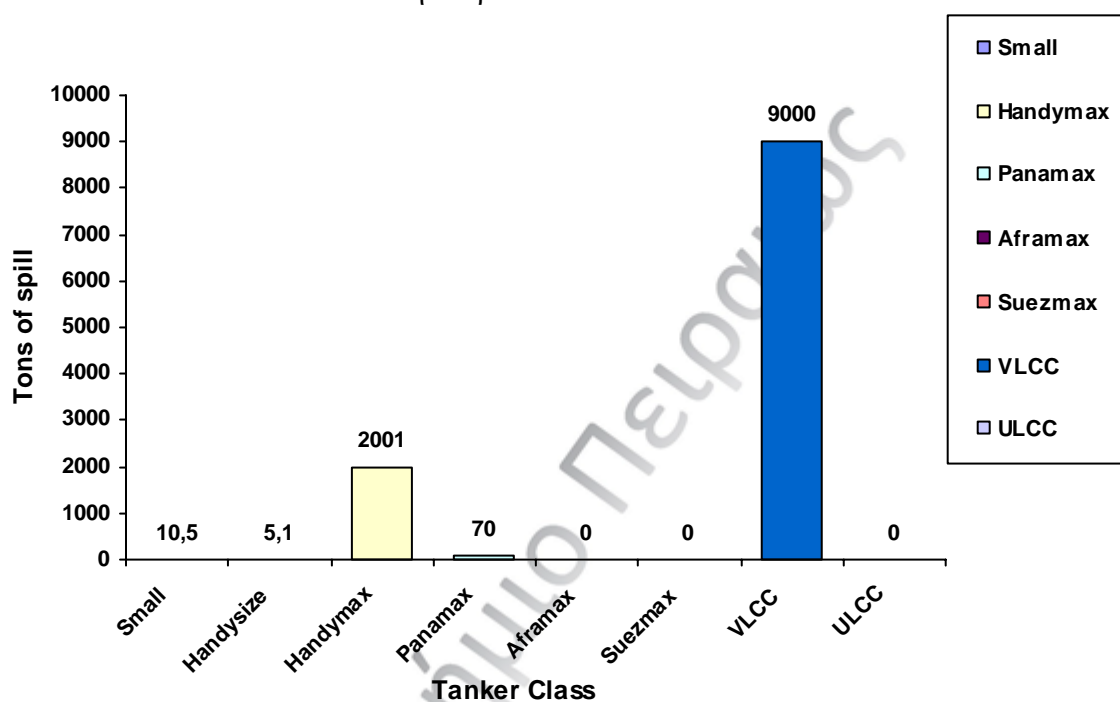
2.2.4. Η ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ «ΔΙΑΡΡΟΗ» (SPILL)

Διαρροή θεωρείται η ποσότητα Crude oil, HFO, Diesel Oil και παραγώγων πετρελαίου που διέρρευσε από τις δεξαμενές φορτίου ή και δεξαμενές καυσίμων ως άμεσο αποτέλεσμα των προσαράξεων και επαφών χωρίς απώλεια πρόωσης. Για τη διευκόλυνση της διεξαγωγής της ανάλυσης κόστους-οφέλους (CBA) δεν γίνεται διαφοροποίηση των διαρροών από τις δεξαμενές φορτίου ή τις δεξαμενές καυσίμων.

Οι ποσότητες διαρροής έχουν μετρηθεί σε τόνους. Τυχόν διαρροές από τις δεξαμενές έρματος δεν έχουν ληφθεί υπόψη. Οι περιπτώσεις όπου δεν είναι σαφές αν υπήρξε διαρροή ή οι περιπτώσεις που η ποσότητα είναι αρκετά μικρή και δεν μπορεί να διευκρινιστεί έχουν καταγραφεί ως αδιευκρίνιστες (Unknown). Κατά την στατιστική ανάλυση γίνεται η υπόθεση ότι δεν υπήρξε διαρροή σε αυτές τις περιπτώσεις ή

ότι η ποσότητα διαρροής είναι αμελητέα και δεν επηρεάζει την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων (παράρτημα 1, παράρτημα 2).

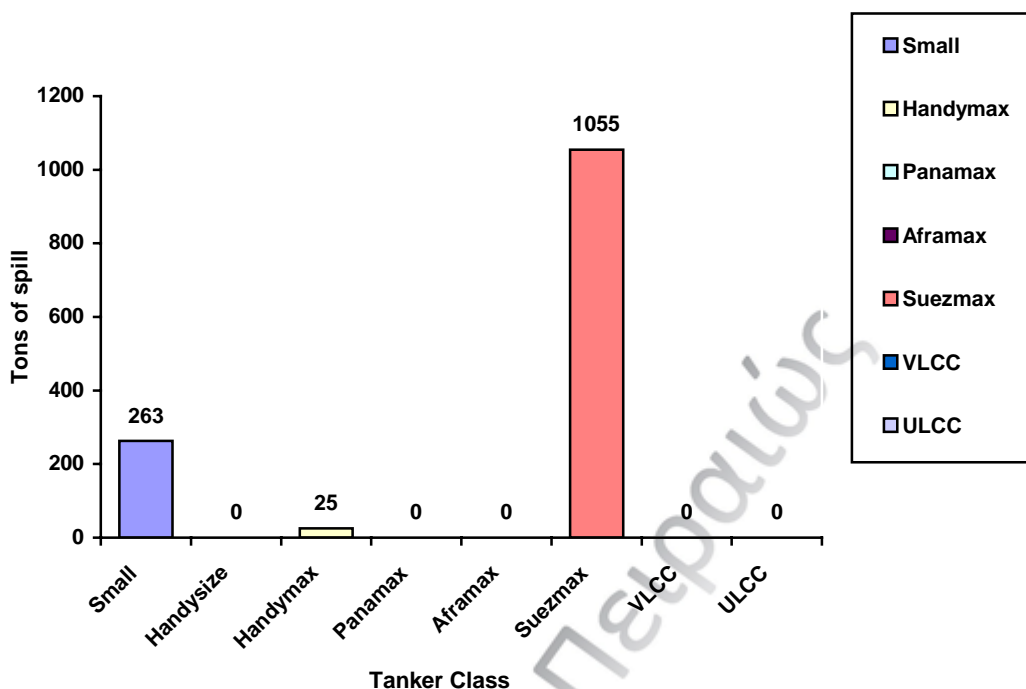
Διάγραμμα 2-9: Διαρροές από περιστατικά προσάραξης χωρίς απώλεια πρόωσης την περίοδο 2004-2007



Πηγή: Από στατιστική ανάλυση

Σύμφωνα με την ανάλυση τη περίοδο 2004-2007, παρατηρήθηκαν 10,5 τόνοι διαρροής πετρελαϊκών υδρογονανθράκων από tanker στην κατηγορία Small, 5,1 τόνοι από πλοία κατηγορίας Handysize, 2001 τόνοι στην κατηγορία Handymax, 70 τόνοι στην κατηγορία Panamax και 9000 τόνοι στην κατηγορία VLCC, ενώ για τις υπόλοιπες κατηγορίες δεν παρατηρήθηκαν διαρροές πετρελαίου ως αποτέλεσμα περιστατικών επαφής χωρίς απώλεια πρόωσης.

Διάγραμμα 2-10: Διαρροές από περιστατικά επαφών χωρίς απώλεια πρόωσης δεξαμενόπλοιων 2004 -2007



Πηγή: Από στατιστική ανάλυση

Όσον αφορά τα περιστατικά προσάραξης χωρίς απώλεια πρόωσης την περίοδο 2004-2007, παρατηρήθηκαν διαρροές 263 τόνων από πλοία της κατηγορίας small, διαρροές 25 τόνων από πλοία κατηγορίας Handymax, και διαρροές 1055 τόνων από πλοία της κατηγορία Suezmax. Δεν παρατηρήθηκαν διαρροές από πλοία στις κατηγορίες Handysize, Panamax, Aframax, VLCC και ULCC.

2.2.5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΡΙΣΚΟΥ

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα στόλου ατυχημάτων και διαρροών για την περίοδο 2004-2007 μπορεί να γίνει μια εκτίμηση του ρίσκου προσάραξης και επαφής για κάθε κατηγορία μεγέθους δεξαμενόπλοιων.

Γενικά ισχύει ότι το ρίσκο⁶, R, ενός ατυχήματος εκφράζεται ως:

$$R = F_R * C \quad (2-3)$$

όπου,

⁶ Denmark (2008) *FORMAL SAFETY ASSESSMENT FSA – Crude Oil Tankers*

F_R είναι η συχνότητα ατυχήματος (π.χ. προσαράξεις ή επαφές ανά πλοίο-έτος)

C είναι η επίπτωση του ατυχήματος (π.χ. τόνοι διαρροής ανά προσάραξη ή επαφή)

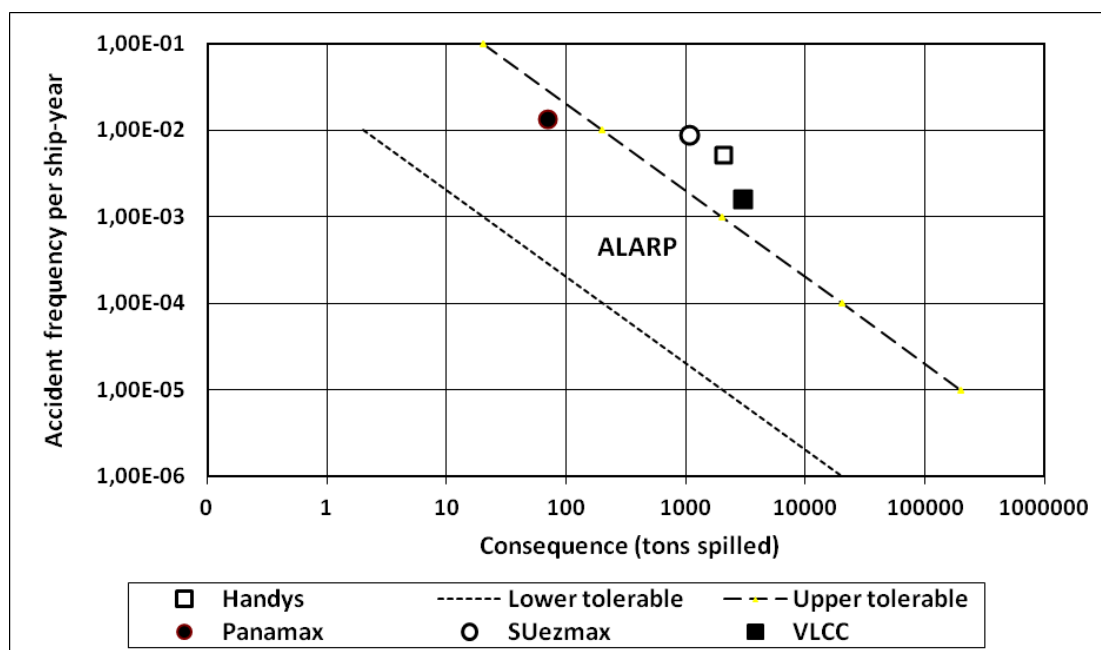
Το εκτιμώμενο ρίσκο ανά κατηγορία μεγέθους συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα ενώ παρουσιάζεται και διαγραμματικά στο διάγραμμα που ακολουθεί.

Πίνακας 2-3: Εκτίμηση ρίσκου προσάραξης και επαφής δεξαμενοπλοίων 2004-2007

	Handys	Panamax	Aframax	Suezmax	VLCC
Στόλος (πλοία έτη)	10000	1194	2850	1000	1912
Περιστατικά προσάραξης και επαφής χωρίς απώλεια πρόωσης	(37 + 18) = 52	(11 + 5) = 16	(4 + 1) = 5	(8 + 1) = 9	(0 + 3) = 3
Συχνότητες προσάραξης και επαφής (περιστατικά /στολος)	0.0052 περιστατ./πλοίο έτος	0.0134 περιστατ./πλοίο έτος	0.0017 περιστατ./πλοίο έτος	0.009 περιστατ./πλοίο έτος	0.001569 περιστατ./πλοίο έτος
Συνολικές διαρροές από προσαράξεις και επαφές χωρίς απώλεια πρόωσης	(2006.1 + 25) =2031.1 τόνοι	(0 + 70) = 70 τόνοι	0 τόνοι	(1055 + 0) = 1055 τόνοι	(0 + 9000) = 9000 τόνοι
Εκτιμώμενη διαρροή ανά περιστατικό προσάραξης (Διαρροή/περιστατικά)	39.06 τόνοι/περιστατ.	4.375 τόνοι/περιστατ.	0 τόνοι/περιστατ.	117.2 τόνοι/περιστατ.	3000 τόνοι/περιστατ.
Ρίσκο προσάραξης και επαφής ανά πλοίο έτος (Εκτιμώμενες διαρροές ανα περιστατικό * Συχνότητες περιστατικών)	0.203 τόνοι/πλοίο έτος	0.0586 τόνοι/πλοίο έτος	0 τόνοι /πλοίο έτος	1.054 τόνοι/πλοίο έτος	4.707 τόνοι/πλοίο έτος

Στο διάγραμμα που ακολουθεί γίνεται εκτίμηση του ρίσκου προσάραξης και επαφής με τη χρήση μελέτης ALARP (As Low As Reasonably Possible). Για τον καθορισμό των περιοχών μη αποδεκτού ρίσκου και ασήμαντου ρίσκου χρησιμοποιήθηκαν οι περιοχές όπως αυτές εκτιμήθηκαν με βάση τα δεδομένα των αγωγών πετρελαίου των Η.Π.Α. και χρησιμοποιώντας τον όγκο διαρροής ως συνέπεια όπως παρουσιάζονται από τον Jonathan I. Mc Gregor (2009).

Διάγραμμα2-11: Μελέτη ALARP ρίσκου προσάραξης και επαφής δεξαμενόπλοιων



Πηγή: Από ανάλυση

Σύμφωνα με την ανάλυση οι κατηγορίες Handys, Suezmax και VLCC είναι πάνω από το όριο του μη αποδεκτού ρίσκου. Η κατηγορία Panamax είναι στα όρια του απόδεκτου ορίου.

2.3. ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ **ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΟΝΑΡ**

2.3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΟΝΑΡ⁷

Αρχικά παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες που απαρτίζουν ένα σύγχρονο πολυδεσμικό σύστημα σόναρ.

Ηχοβολιστικό (Echosounder)

Το ηχοβολιστικό είναι μια συσκευή αντίστοιχη του ραντάρ που χρησιμοποιεί ένα, περιορισμένης διάρκειας, ακουστικό σήμα για τον εντοπισμό στόχων (παλμός). Ως στόχος θεωρείται ένα φυσικό αντικείμενο το οποίο ανακλά τον παλμό πίσω στο σύστημα.

⁷ Dr. Alexander Yakubovskiy, (2010) *Navigation Sonar for the Ship Operator: Forward Looking Sonars and Multibeam Echosounders Explained*

Ανάλυση (Resolution)

Ως ανάλυση ορίζεται η δυνατότητα του συστήματος να διακρίνει μεταξύ δύο κοντινών στόχων. Ένα κύτταρο ανάλυσης είναι το ελάχιστο κύτταρο όγκου που μπορεί να εντοπιστεί χωριστά από τα περιβάλλοντα αντικείμενα. Τεχνικά, το μέγεθος «κυττάρων» καθορίζεται από δύο παράγοντες:

- 1) Την ανάλυση δέσμης και
- 2) την εμβέλεια.

Δέσμη

Η δέσμη είναι η χωρική (γωνιακή) περιοχή όπου η ακουστική ενέργεια συγκεντρώνεται. Ένας ηχοβολιστικός μετατροπέας (σόναρ) λειτουργεί όπως ένας φακός, που στέλνει μια στενή δέσμη σε μια δεδομένη κατεύθυνση. Όπως με έναν φακό ή έναν προβολέα, η δέσμη είναι παρόμοια με έναν ελαφρύ κώνο. Το γωνιακό μέγεθος του κώνου αναφέρεται συνήθως ως «πλάτος δέσμης».

Η δομή του παλμού

Η δομή του παλμού περιλαμβάνει το μήκος παλμού (σε δευτερόλεπτα), και την (στο kHz) και τη συχνότητα (σε kHz), εκτός αν ο παλμός είναι ένα σήμα ενιαίας-συχνότητας (καθαρός τονικός).

Μονός μετατροπέας (transducer)

Τα σόναρ με ένα μόνο μετατροπέα μπορούν να παράγουν μόνο μια δέσμη. Όσο μεγαλύτερο το μέγεθος του μετατροπέα τόσο στενότερη είναι η παραγόμενη δέσμη. Ένα μεγάλο μειονέκτημα του συστήματος είναι ότι ο μόνος τρόπος για να καλύψει μια μεγάλη περιοχή είναι με περιστροφή του μετατροπέα. Η ταχύτητα περιστροφής πρέπει να είναι μικρότερη από την αντίστοιχη ταχύτητα περιστροφής του ραντάρ λόγω της μικρότερης ταχύτητας διάδοσης του ακουστικού σήματος στο νερό.

Ακουστική σειρά (Acoustic Array)

Μια ακουστική σειρά κεραιών είναι ένα σύνολο πολλών μετατροπέων. Χρησιμοποιώντας τη σειρά, το σύστημα μπορεί να παραγάγει πολλές δέσμες τη φορά χωρίς μηχανική περιστροφή.

Απώλεια ακουστικής ενέργειας (Attenuation)

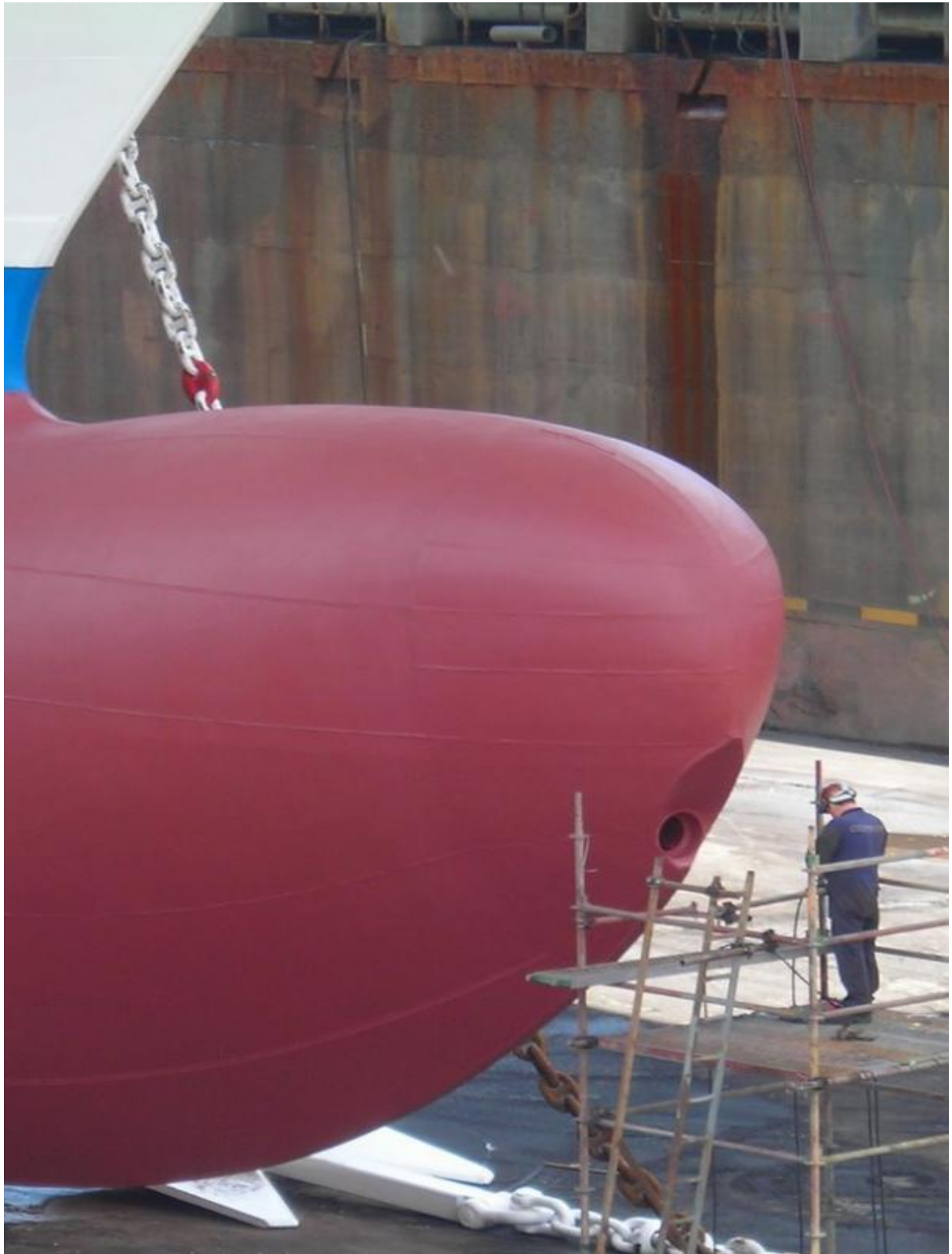
Όσο μεγαλύτερη η απόσταση διάδοσης, τόσο περισσότερη ενέργεια χάνεται. Επίσης, υψηλότερη συχνότητα παλμού οδηγεί σε μεγαλύτερες απώλειες ακουστικής ενέργειας.

Διάδοση πολλαπλών διαδρομών

Σε ρηχά νερά το ηχητικό σήμα ανακλάται και από το βυθό και από την επιφάνεια. Σε μια οριζόντια απόσταση, πολύ μεγαλύτερη από το βάθος, ο ήχος ανακλάται («πολυαναπήδηση») πολλές φορές καθώς αυτός μεταδίδεται. Σε μεγάλες αποστάσεις ο ήχος που ανακλάται από το στόχο μεταδίδεται σε πολλές διαφορετικές κατευθύνσεις (οι καλούμενες «ακουστικές ακτίνες»), με διαφορετικά είδη αναπήδησεων. Στο σημείο του δέκτη αυτές οι ακουστικές ακτίνες αναμιγνύονται και δυσχεραίνουν την εκτίμηση του βάθους του στόχου.

Για τη συγκεκριμένη μελέτη επιλέχθηκε ένα πρότυπο σόναρ που βασίζεται στο μοντέλο FS -3ER της εταιρίας Farsounder με εμβέλεια έως και 1000 m. Ο χρόνος που χρειάζεται ένας παλμός για να διανύσει την απόσταση από τον πομπό έως το στόχο σε απόσταση 1000μ και πίσω στο δέκτη είναι 1.7s. Η ανάλυση του σήματος παρουσιάζεται σε οθόνη σαν τρισδιά-στατη εικόνα ενώ παρέχονται και ενδείξεις ταχύτητας και βάθους. Επιπλέον ρυθ-μίσεις όπως η χειροκίνητη ρύθμιση ακουστικού συναγερμού καθώς και επιπλέον κριτήρια εντοπισμού για τη μείωση της συχνότητας τυχόν λάθους συναγερμού. Η τιμή του συστήματος είναι 165000 USD. Το συγκεκριμένο σύστημα αποτελείται από έναν μετατροπέα που περιέχει έναν πομπό και περίπου 200 δέκτες, και μια ηλεκτρονική μονάδα. Ο μετατροπέας εγκαθίσταται πάνω στη γάστρα του πλοίου μέσα στο βολβοειδές τόξο, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, ενώ η ηλεκτρονική μονάδα που επεξεργάζεται το σήμα εγκαθίσταται μέσα στο πλοίο.

Εικόνα 2-1: Τοποθέτηση συστήματος σόναρ FS - 3ER



Πηγή: http://www.farsounder.com/multimedia/install_gallery

Η τοποθέτηση του σόναρ μέσα σε ειδική δεξαμενή, επιτρέπει επισκευές στη μονάδα επεξεργασίας και καθαρισμό του πομπού χωρίς να χρειάζεται δεξαμενισμός του πλοίου.

Επιπλέον πρέπει να αναφερθεί ότι το σύστημα έχει εμβέλεια ίση με 10 φορές την απόσταση του δέκτη από το βυθό, για βάθη μικρότερα των 100 μέτρων. Τέλος ως μεγιστη ταχύτητα πλοίου για την οποία το σύστημα μπορεί να εντοπίσει με αξιοπιστία το στόχο ορίζονται οι 25 κόμβοι.

Δυο χαρακτηριστικά του συστήματος που χρήζουν μελέτης είναι η πιθανότητα εντοπισμού του στόχου από το σύστημα και η πραγματική εμβέλεια εντοπισμού σε ρεαλιστικές υποθαλάσσιες συνθήκες. Για την εκτίμηση των παραμέτρων γίνεται αυτόνομη ανάλυση με βάση τη διαθέσιμη βιβλιογραφία ενώ τα πορίσματα δεν αντιπροσωπεύουν απαραίτητα και επακριβώς το σύστημα της Farsounder. Αντίθετα σκοπός της ανάλυσης είναι μια προσέγγιση της πολυπλοκότητας που χαρακτηρίζει τη λειτουργία ενός συστήματος σόναρ με στόχο την ανάπτυξη ενός πιο ρεαλιστικού μοντέλου πρόβλεψης της βελτίωσης που θα παρέχει το σύστημα σόναρ.

2.3.2. ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (SYSTEM PERFORMANCE)

Η απόδοση του συστήματος του σόναρ ορίζεται με βάσει δυο κριτήρια:

1. Τις δυνατότητες εντοπισμού του στόχου (πιθανότητα εντοπισμού).
2. Και την εκτίμηση των παραμέτρων του στόχου (ακρίβεια και επάρκεια πληροφοριών).

2.3.2.1. Πιθανότητα εντοπισμού (Detection Probability, P(d))

Η πιθανότητα αυτή αναφέρεται στο ενδεχόμενο το σόναρ να εντοπίσει τον στόχο εφόσον αυτός βρίσκεται μέσα στην εμβέλεια εντοπισμού (detection range). Η αντίστοιχη πιθανότητα να μην εντοπίσει τον στόχο, ενώ το σύστημα δουλεύει κανονικά, είναι $1-P(d)$. Για τον υπολογισμό των πιθανοτήτων χρησιμοποιείται η θεωρία εντοπισμού σήματος (signal de-tection theory, SDT⁸).

⁸ Η Βάση της θεωρία εντοπισμού σήματος είναι έργο των Green and Swets 1966.

«Η SDT χρησιμοποιείται για την ανάλυση δεδομένων από πειράματα όπου ο στόχος είναι ένα διττό ερέθισμα (απόφαση) είτε από γνωστή διαδικασία (signal) είτε τυχαία (noise)»

Abdi Herve (2007): *Ency-clopaedia of measurement and statistics: Signal Detection theory*

Η πιθανότητα εντοπισμού (Detection Probability) και η πιθανότητα λάθος συναγερμού (False alarm Probability) συνδέονται άμεσα με την απόδοση του σόναρ.

Κατώτατο Όριο εντοπισμού (Detection Threshold)

Ο εντοπισμός του στόχου βασίζεται στην ποσότητα ακουστικής ενέργειας που συλλέγεται από το δέκτη σε ένα διάστημα t_s . Αυτή η ακουστική ενέργεια μπορεί να αποτελείται από σήμα ή και θόρυβο. Θεωρώντας δεδομένη την ύπαρξη θορύβου, όταν η συνολική ποσότητα ακουστικής ενέργειας ξεπεράσει ένα προκαθορισμένο όριο τότε μπορούμε να λάβουμε την απόφαση ότι υπάρχει σήμα.

Αυτό το όριο ονομάζεται κατώτατο όριο εντοπισμού (detection threshold) και εκφράζεται μέσω της αναλογία της δύναμης σήματος και της δύναμης του θορύβου (Signal to Noise Ratio, SNR). Το όριο εντοπισμού μπορεί να οριστεί ως η αναλογία ήχου/θορύβου που χρειάζεται για να αποφανθεί ο χειριστής για την ύπαρξη σήματος, η οποία μετράται σε είτε σε εύρος συχνότητας 1 Hz είτε σε εύρος συχνότητας w που ορίζεται από το δέκτη.

Η δύναμη του σήματος επηρεάζεται από το εύρος συχνότητας του σήματος, τα φυσικά χαρακτηριστικά του νερού όπως βάθος, πυκνότητα, αλατότητα και του χρόνου διαβίβασης, που εξαρτάται από την ταχύτητα του σήματος και την απόσταση. Τέλος εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά ανάκλασης του στόχου (Target strength, TS) της επιφάνειας και του βυθού που επηρεάζουν τη διάχυση των ηχητικών κυμάτων.

Με βάση τα παραπάνω προαπαιτούμενο για να θεωρηθεί η ύπαρξη σήματος και συνεπώς να εντοπιστεί ο στόχος, είναι η αναλογία σήματος και θορύβου να ξεπερνάει το όριο εντοπισμού. Αντίθετα η πιθανότητα λάθους συναγερμού είναι η περίπτωση να θεωρηθεί ότι υπάρχει σήμα ενώ υπάρχει μόνο θόρυβος. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν τα επίπεδα θορύβου ξεπεράσουν το όριο εντοπισμού που έχει οριστεί.

Τα ενδεχόμενα αποδοχής της απόρριψης ύπαρξης σήματος με βάση το κατώτατο όριο εντοπισμού συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα. Η απόφαση ύπαρξης σήματος ή όχι γίνεται είτε από το χειριστή του σόναρ είτε από το ίδιο το σύστημα (περίπτωση

συναγερμού) βάσει μιας προκαθορισμένης επιλογής/ρύθμισης (κατώτατο όριο εντοπισμού).

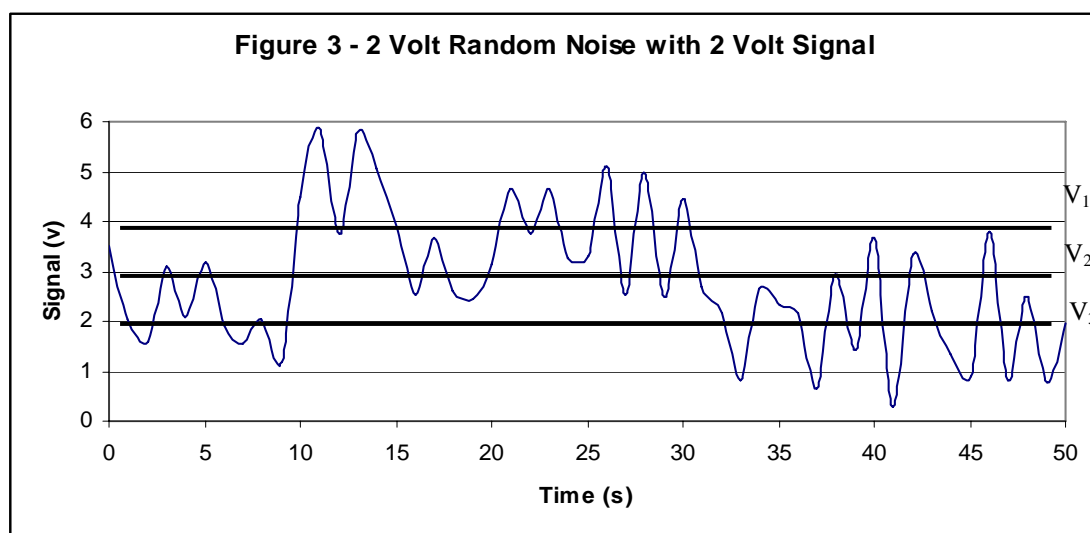
Πίνακας 2-4: Δυαδικός πίνακας απόφασης

		Απόφαση/Υπόθεση με βάση το κατώτατο όριο εντοπισμού	
		Αποδοχή/Υπάρχει σήμα	Απόρριψη/δεν υπάρχει σήμα
Περίπτωση	Υπαρξη σήματος	Σωστή απόφαση $p(D)$	Λάθος εντοπισμού $p(\text{miss})=1-p(D)$
	Δεν υπάρχει σήμα	Λάθος συναγερμός $p(FA)$	Σωστή απόφαση $p(\text{null})=1-p(FA)$

Πηγή : Ed Tsucholski: *Detection theory*
[usna.edu/Users/physics/ejtuchol/Lesson%2015%20Detection%20Theory](http://usna.edu/Users/physics/ejtuchol/Lesson%202015%20Detection%20Theory)

Το όριο εντοπισμού που ορίζεται παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην πιθανότητα εντοπισμού και στην πιθανότητα λάθους συναγερμού. Πιο συγκεκριμένα ένα πολύ υψηλό όριο που ελαχιστοποιεί την πιθανότητα λάθους συναγερμού μειώνει σημαντικά και την πιθανότητα εντοπισμού αφού αυξάνει την πιθανότητα το σύστημα να μη θεωρήσει την ύπαρξη σήματος. Αντίθετα ένα πολύ χαμηλό όριο εντοπισμού αυξάνει σημαντικά την πιθανότητα εντοπισμού αλλά και την πιθανότητα λάθους συναγερμού καθώς το σύστημα απαιτεί πολύ χαμηλή αναλογία σήματος και θορύβου για να θεωρήσει την ύπαρξη σήματος. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ένα διάγραμμα εκροής του σήματος μετά από επεξεργασία στο υδρόφωνο και μετατροπή σε Volt που στη συνέχεια στέλνεται στη μονάδα επεξεργασίας.

Διάγραμμα 2-12: Αναπαράσταση σήματος και θορύβου σε volt



Πηγή: Ed Tsucholski: *Detection theory*
[usna.edu/Users/physics/ejtuchol/Lesson%2015%20Detection%20Theory](http://usna.edu/Users/physics/ejtuchol/Lesson%202015%20Detection%20Theory)

Δείκτης Εντοπισμού (Detection Index)

Ο δείκτης εντοπισμού είναι ουσιαστικά μια αναλογία σήματος και θορύβου εκφρασμένη σε Volt μετά την επεξεργασία του εισερχόμενου σήματος από το υδρόφωνο. Υποθέτοντας ότι το σήμα παραμένει σταθερό στο χρόνο δειγματοληψίας (integration time), ο δείκτης εντοπισμού υπολογίζεται από τις κατανομές πυκνότητας πιθανότητας σήματος και θορύβου⁹ ως εξής:

$$d = \frac{(\mu_{s+n} - \mu_n)^2}{\frac{1}{2}(\sigma_{s+n}^2 + \sigma_n^2)} \quad (2-4)$$

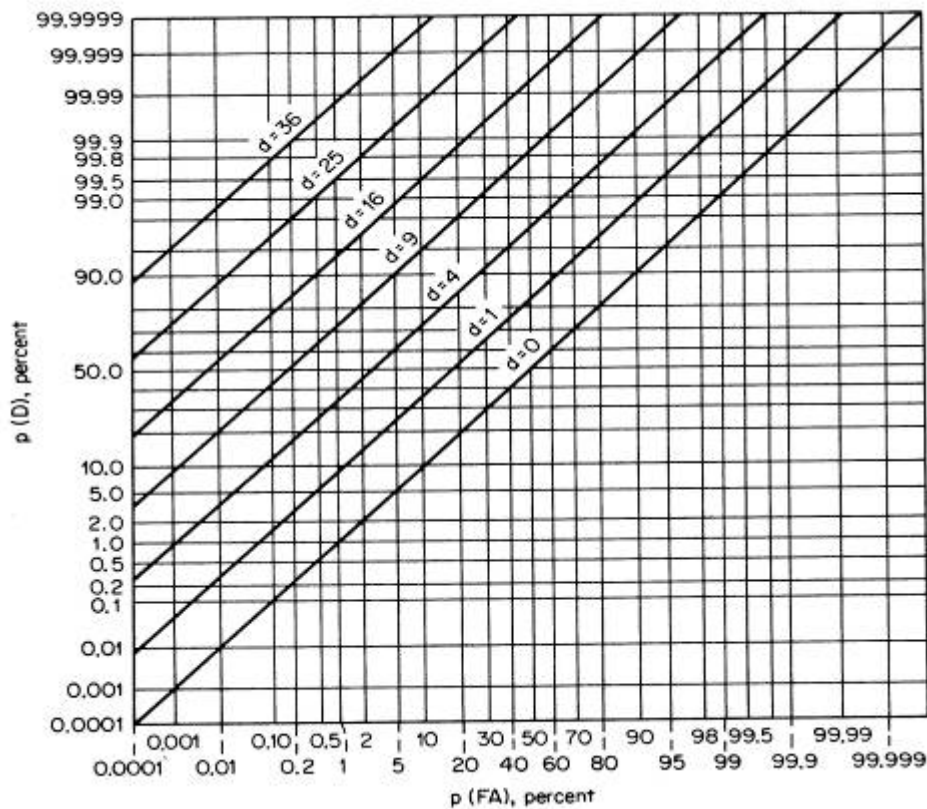
Όπου μ_{s+n} είναι η μέση τιμή σήματος και θορύβου, μ_n είναι η μέση τιμή θορύβου ενώ σ_{s+n}^2 και σ_n^2 είναι οι αντίστοιχες διακυμάνσεις τους. Μεγαλύτερη τιμή του δείκτη σημαίνει μεγαλύτερη αναλογία σήματος και θορύβου που συνεπάγεται μεγαλύτερη πιθανότητα εντοπισμού σε ένα συγκεκριμένο όριο εντοπισμού (Dawe L. Ross, 1997).

Με βάση τα παραπάνω για δεδομένο d , όπως ορίζεται, και ανάλογα με την απόδοση του επεξεργαστή, η επιλογή ενός συγκεκριμένου ορίου εντοπισμού θα έχει αντίκτυπο στις πιθανότητες εντοπισμού και λάθος συναγερμού.

⁹ Θεωρείται ότι ο θόρυβος ακολουθεί κανονική κατανομή όπως και το σήμα. Στην πράξη, αυτό δεν ισχύει πάντα.

Τέλος το διάγραμμα που παρουσιάζει την πιθανότητα εντοπισμού σε συνάρτηση με την πιθανότητα λάθους συναγερμού για διαφορετικούς δείκτες εντοπισμού ονομάζεται καμπύλη λειτουργικών χαρακτηριστικών δέκτη (Receiver Operational Characteristics Curve, ROC). Ένα παράδειγμα καμπύλης λειτουργικών χαρακτηριστικών παρατίθεται από τον Urick (1983).

Διάγραμμα 2-13: Παράδειγμα καμπύλης ROC



Πηγή: Urick, R. J. 1983 *Principles of Underwater Sound*, 3rd ed. McGraw-Hill Book Company. p 383

Στη συγκεκριμένη μελέτη γίνεται η υπόθεση ότι το όριο εντοπισμού τίθεται ώστε η πιθανότητα εντοπισμού να είναι 50% ανά παλμό και η πιθανότητα λάθους συναγερμού 0.1% ανά παλμό (Ping). Οι τιμές αυτές θεωρούνται ρεαλιστική προσέγγιση της λειτουργικής απόδοσης ενός σόναρ (Dawe L. Ross, 1997). Οι τιμές πρέπει να αναπροσαρμόζονται κάθε φορά, ανάλογα με τις πραγματικές περιβαλλοντικές συνθήκες και τις επιδόσεις του υπό εξέταση συστήματος.

Η πιθανότητα ο κίνδυνος να μην εντοπιστεί σύμφωνα με τα παραπάνω μπορεί να οριστεί ως $1 - P(d) = 50\%$ ή 0.5 ανά παλμό.

2.3.2.2. Εκτίμηση στόχου και ακρίβεια πληροφοριών

Η απόδοση του συστήματος είναι επίσης άμεσα συνδεδεμένη με τη δυνατότητα του συστήματος σόναρ για ακριβή εντοπισμό της θέσης και του μεγέθους του στόχου. Η δυνατότητα αυτή ονομάζεται δυνατότητα εκτίμησης στόχου. Για την εκτίμηση της βελτίωσης στις συχνότητες προσαράξεων πρέπει να διαπιστωθεί πόσο συχνά και σε ποιο βαθμό η ανακρίβεια των πληροφοριών που παρέχει το σόναρ συμβάλλει στην αποτυχία της αποφυγής του εμποδίου/στόχου. Στη συγκεκριμένη μελέτη δεν επιχειρείται ανάλυση των δυνατοτήτων εκτίμησης του στόχου.

2.3.2.3 Μέγιστη απόσταση εντοπισμού

Εκτός όμως από την πιθανότητα εντοπισμού ενός στόχου στη μέγιστη απόσταση και σε ρεαλιστικές συνθήκες λειτουργίας μας ενδιαφέρει και η απόσταση στην οποία ένας στόχος μπορεί να εντοπιστεί επιτυχώς. Αυτή η απόσταση διαφέρει από την ονομαστική εμβέλεια του συστήματος που πραγματοποιείται μόνο σε ιδανικές συνθήκες λειτουργίας.

Το κατώτατο όριο εντοπισμού (DT) όπως αναφέρθηκε παραπάνω αποτελεί μόνος ένα κομμάτι της βασικής εξίσωσης του σόναρ όπως ορίζεται παρακάτω.

$$SE = SL - PL - NL + AG - DT - DF_0 \quad (2-5)$$

«Το SE είναι η υπερβολή σημάτων (Signal Excess). Γενικά θεωρείται ότι για $SE = 0.0$ η πιθανότητα της ανίχνευσης είναι 50%. Το SE μετριέται σε μονάδες decibels (DB).

Το SL (Source Level) είναι το επίπεδο πηγής σημάτων. Αυτό ουσιαστικά μετρά τη δύναμη της ηχώ όπως αυτή ανακλάται στο στόχο. Το SL έχει τις μονάδες του DB $\sqrt{\text{Hz}}$ σχετικά με 1 μPA σε 1 μ από την πηγή.

» Η PL (DB) είναι η συνολική απώλεια διάδοσης καθώς το σήμα ταξιδεύει από την πηγή στο δέκτη. Αυτός ο όρος είναι επίσης γνωστός ως απώλεια μετάδοσης (Transmission Loss, TL).

» Το NL (Noise Level) είναι το επίπεδο θορύβου στο δέκτη ενάντια στον οποίο ο παρατηρητής προσπαθεί να ανιχνεύσει το σήμα που προέρχεται από τον στόχο.. Η NL έχει τις μονάδες του DB $\sqrt{\text{Hz}}$ σχετικά με 1 μPA σε εύρος ζώνης 1 Hz.

» Η AG (Array Gain, DB) αντιστοιχεί στη συστοχία και σειράς μετρά τη δυνατότητα της σειράς δεκτών να λάβουν και να διακρίνουν τους εισερχόμενους ήχους.

» Το DT είναι το κατώτατο όριο ανίχνευσης και περιγράφει το επίπεδο απόφασης στο οποίο ο παρατηρητής αποφασίζει «ναι» ή «κανένα» ως προς το εάν ένα σήμα είναι παρόν.

» Το DF0 (DB) είναι ένας σωρευτικός λειτουργικός όρος υποβάθμισης που αντισταθμίζει διάφορες σωρευτικές ατέλειες στη διαμόρφωση όλων των άλλων όρων στη εξίσωση, εκτός από τις ατέλειες στο πρότυπο του DT.»., Ross L. Dawe, 1997: *Detection Threshold Modelling Explained*

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης δεν επιχειρείται αναλυτικός υπολογισμός της μέγιστης απόστασης στην οποία ο στόχος μπορεί να εντοπιστεί. Αντ' αυτού γίνεται η υπόθεση ότι για ένα χαμηλό όριο εντοπισμού και για στόχους με μέγιστη ηχώ σήματος¹⁰ η μέγιστη απόσταση εντοπισμού (SE = 0.0 db) τείνει να ισούται με την ονομαστική μέγιστη εμβέλεια του σόναρ στις περισσότερες συνθήκες λειτουργίας του σόναρ και με πιθανότητα εντοπισμού τουλάχιστον 50%. Η υπόθεση ότι η απόσταση εντοπισμού είναι ίση με 900 μέτρα στις περισσότερες συνθήκες λειτουργίας και με πιθανότητα εντοπισμού τουλάχιστον 50% θεωρείται ρεαλιστική.

Με βάση τα παραπάνω ακολουθεί η ανάλυση της τεχνικής αποτελεσματικότητας του σόναρ ως προς τη δυνατότητα αποφυγής του εμποδίου μετά τον εντοπισμό του.

¹⁰ Εμπόδια όπως ύφαλοι, ναυάγια, πυλώνες θεωρούνται ότι έχουν μεγάλη ηχώ (λόγω ανάκλασης του εκπεμπόμενου σήματος σε μεγάλη επιφάνεια) που αντιστοιχεί σε ένα μεγάλο SL.

3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΡΙΣΚΟΥ ΠΡΟΣΑΡΑΞΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΟΝΑΡ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια εκτίμηση της βελτίωσης που μπορεί να επιφέρει η ενσωμάτωση ενός συστήματος σόναρ σε δεξαμενόπλοια ολικού μήκους μέχρι 197 μέτρα, 300, και 340 μέτρα. Η εκτίμηση πραγματοποιείται με την ανάπτυξη ενός μοντέλου χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία "Ανάλυσης Δέντρου Σφαλμάτων" (Fault Tree Analysis, FTA) και "Ανάλυσης Δέντρου Γεγονότων" (Event Tree Analysis, ETA).

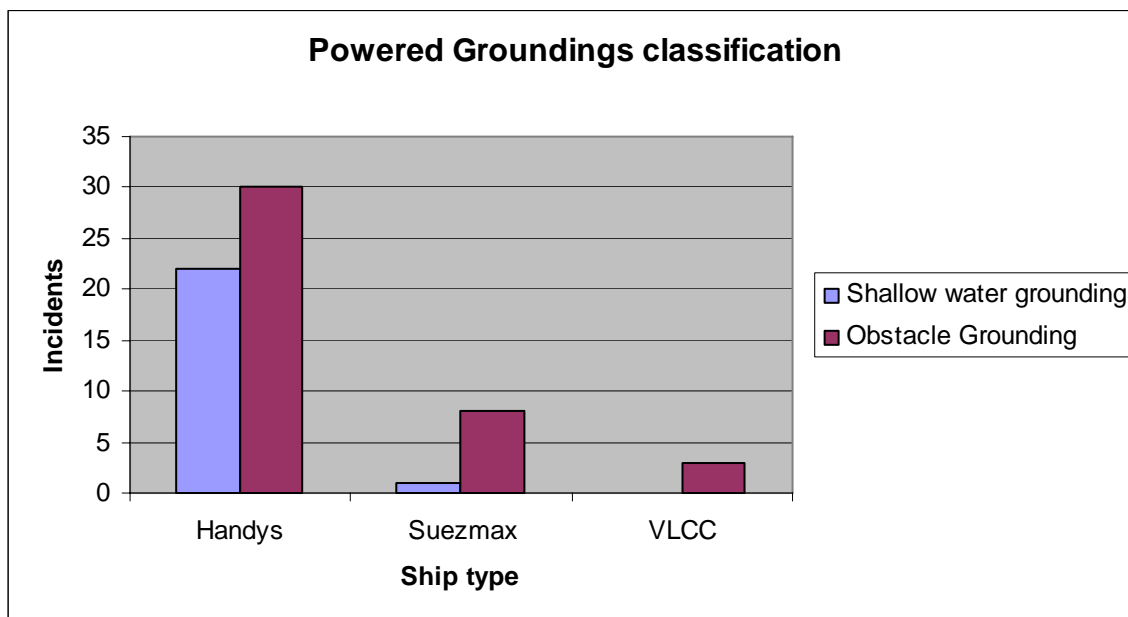
3.1. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΣΑΡΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΕΠΑΦΩΝ ΧΩΡΙΣ ΑΠΩΛΕΙΑ ΠΡΟΩΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΑΙΤΙΟ

Η επιμέρους κατανομή των προσάραξεων χωρίς απώλεια πρόωσης (Powered Groundings) γίνεται σε δυο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά περιστατικά προσάραξης σε αβαθείς περιοχές. Αυτή αφορά κυρίως περιστατικά που έλαβαν χώρα μέσα σε λιμάνια ή κανάλια στα οποία έχει γίνει βυθοκόρηση για τη διατήρηση συγκεκριμένου βάθους, περιστατικά που έλαβαν χώρα σε ποτάμια καθώς και περιστατικά προσάραξης σε αμμώδης ακτές (stranding). Η αιτία προσάραξης είναι η πλοήγηση σε νερά τα οποία ήταν αβαθή και ως αποτέλεσμα μικρές μεταβολές στο βάθος οδήγησαν στη προσάραξη του πλοίου.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει περιστατικά που έλαβαν χώρα σε υφάλους, μεγάλους βράχους, κυματοθραύστες ή βραχώδεις ακτές ποταμών και θαλάσσιων περιοχών ή άλλα εμπόδια ανεξαρτήτως βάθους περιοχής. Κύρια αιτία προσάραξης σε αυτή την περίπτωση θεωρείται η επαφή ή προσάραξη σε εμπόδιο που βρίσκεται στην πορεία του πλοίου.

Η ανάγκη για αυτή τη διάκριση προέρχεται από τον περιορισμό στην μέγιστη εμβέλεια του συστήματος σόναρ για τον εντοπισμό μεταβολών στο βάθος της περιοχής πλεύσης, όταν το πλοίο βρίσκεται σε βάθος κάτω των 100 μέτρων (λόγω του φαινομένων διάδοσης πολλών διαδρομών). Αντίθετα ο εντοπισμός μεγάλων εμποδίων όπως έχει προαναφερθεί δεν επηρεάζεται από το βάθος της περιοχής πλεύσης.

Διάγραμμα 3-1: Κατηγοριοποίηση προσάραξεων χωρίς απώλεια πρόωσης



Πηγή: Από στατιστική ανάλυση

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα στην κατηγορία Handy από τα 52 συνολικά περιστατικά προσάραξης και επαφή, 30 περιστατικά φαίνεται να έλαβαν χώρα λόγω ύπαρξης εμποδίου και ανεξαρτήτως βάθους, ενώ 22 περιστατικά συνέβησαν λόγω πλεύσης σε αβαθή ύδατα. Στην κατηγορία Suezmax από τα 9 περιστατικά μόλις 1 περιστατικό συνέβη λόγω πλεύσης σε αβαθή ύδατα ενώ 8 περιστατικά συνέβησαν λόγω ύπαρξης εμποδίου στην πορεία του πλοίου. Τέλος στη κατηγορία VLCC δεν υπήρξε περιστατικό προσάραξης ή επαφής λόγω πλεύσης σε αβαθή ύδατα.

Με βάση τα νέα δεδομένα θα πρέπει να γίνει μια επανεκτίμηση του ρίσκου προσάραξης και επαφής γι' αυτές τις κατηγορίες πλοίων. Η καινούργια εκτίμηση του ρίσκου γίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3-1: Εκτίμηση ρίσκου προσαράξεων χωρίς απώλεια πρόωσης σε εμπόδια

	Handys	Suezmax	VLCC
Στόλος (πλοία έτη)	10000	1000	1912
Περιστατικά προσάραξης και επαφής χωρίς απώλεια πρόωσης σε εμπόδια	30	8	(0 + 3)= 3
Συχνότητες προσάραξης και επαφής (περιστατικά /στόλος)	0.003 περιστατ./πλοίο	0.006περιστατ./πλοίο	0.001569 περιστατ./πλοίο
Συνολικές διαρροές από προσαράξεις και επαφές χωρίς απώλεια πρόωσης	833.1 τόνοι	1055 τόνοι	9000 τόνοι
Εκτιμώμενη διαρροή ανά περιστατικό προσάραξης (Διαρροή/περιστατικά)	27.77 τόνοι/περιστατ.	131.875 τόνοι/περιστατ.	3000 τόνοι/περιστατ.
Ρίσκο προσάραξης και επαφής ανά πλοίο έτος (Εκτιμώμενες διαρροές ανα περιστατικό *Συχνότητες περιστατικών)	0.0833 τόνοι/πλοίο έτος	1.055 τόνοι/πλοίο έτος	4.707 τόνοι/πλοίο έτος

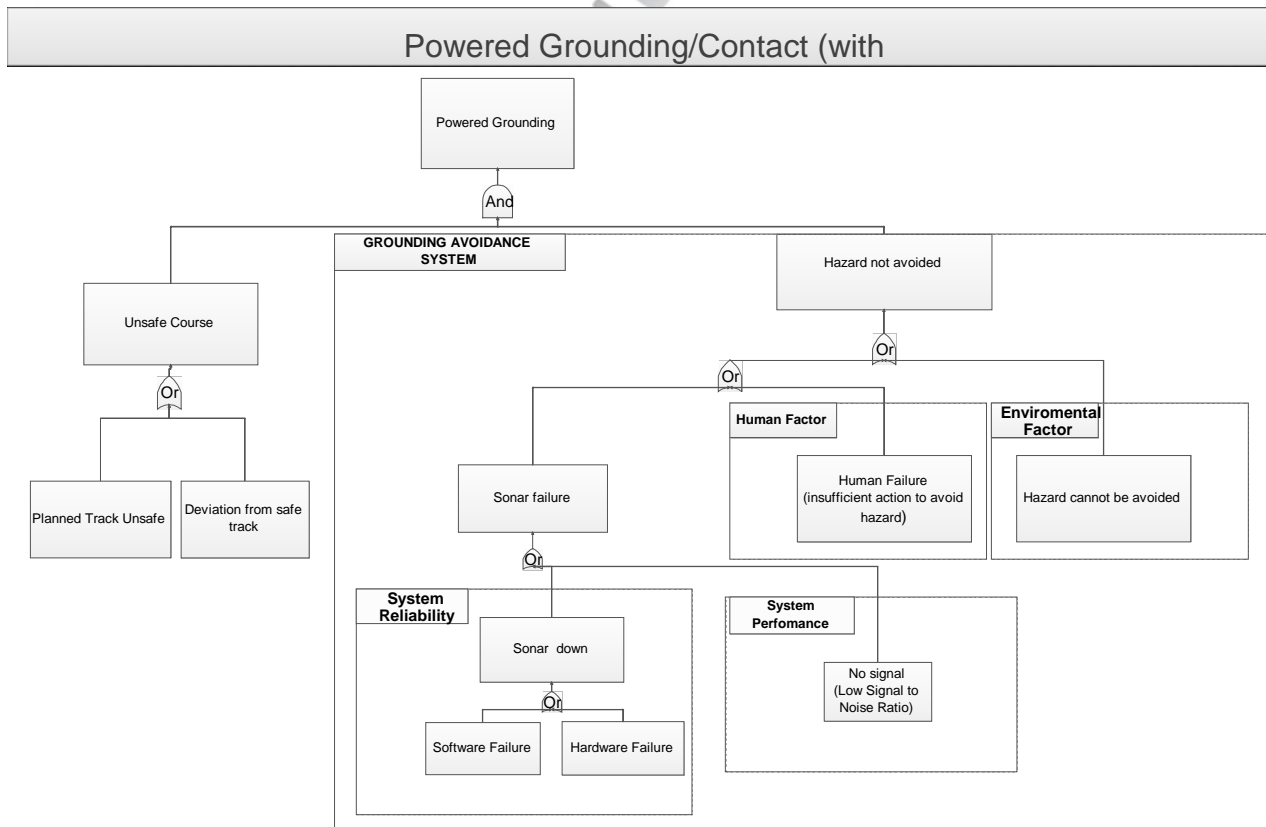
Πηγή: Από ανάλυση

3.2. ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΑΡΑΞΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΟΝΑΡ

Για την εκτίμηση της βελτίωσης στις συχνότητες προσάραξης και επαφής χρησιμοποιήθηκε η «Ανάλυση Δέντρου Σφαλμάτων» η οποία βασίστηκε στο μοντέλο των Brown και Haugene (1998). Τα βασικά ενδεχόμενα εμφάνισης εμποδίου ή κινδύνου στην πορεία του πλοίου αναπτύσσονται κάθετα ώστε να συμπεριληφθεί η πιθανότητα εντοπισμού του κινδύνου από το σύστημα σόναρ μετά την εμφάνιση του τελευταίου.

Σε ορισμένα περιστατικά επαφής και προσάραξης, ο κίνδυνος, μπορεί, ενδεχομένως, να εντοπιστεί και με τη βοήθεια του ραντάρ και/ή από τον αξιωματικό του καταστρώματος μέσω οπτικής επαφής (εμπόδια όπως άλλα πλοία, κυματοθραύστες, βράχοι κ.ά.). Στην ανάλυση και για λόγους απλοποίησης θεωρούμε την πιθανότητα εντοπισμού από το σύστημα ραντάρ και από τον αξιωματικό καταστρώματος ως απίθανη και τα ενδεχόμενα αυτά δεν περιλαμβάνονται στον υπολογισμό της πιθανότητας αποφυγής του κινδύνου, ενώ οποιαδήποτε βελτίωση από τα ήδη υπάρχοντα συστήματα συμπεριλαμβάνεται στις συχνότητες προσαράξεων που υπολογίστηκαν με βάση τα ιστορικά δεδομένα.

Διάγραμμα 3-2: Δέντρο προσάραξης με χρήση σόναρ



Πηγή: Από ανάλυση

Σύμφωνα με τους Haugene και Brown τα βασικά αίτια προσάραξης χωρίς απώλεια πρόωσης είναι λάθη κατά το σχεδιασμό της πορείας, ή παρέκκλιση από την σχεδιασμένη πορεία. Με την ενσωμάτωση του σόναρ προστίθεται ένας ακόμη παράγοντας που πρέπει να συνυπάρξει ώστε να επέλθει ο κίνδυνος στο πλοίο, το ενδεχόμενο αποτυχίας εντοπισμού ή αποφυγής του κινδύνου.

Με βάση την ανάλυση δένδρου συμβάντων του παραπάνω διαγράμματος, η πιθανότητα προσάραξης (και επαφής) δίνεται από τη σχέση:

$$F_{(\text{Grounding})} = P_{(\text{GAS Failure})} * F_{(\text{Unsafe Course})} \quad (3-1)$$

όπου,

$P_{(\text{GAS Failure})}$ είναι η πιθανότητα να μην εντοπιστεί το εμπόδιο από το σύστημα αποτροπής προσαράξεων.

$$P_{(\text{GAS Failure})} = P_{(\text{Sonar Failure})} + P_{(\text{Human Failure})} + P_{(\text{Hazard cannot be safely avoided})} \quad (3-2)$$

Το σύστημα σόναρ εξετάζεται από την άποψη αξιοπιστίας συστήματος (Reliability), από την άποψη απόδοσης συστήματος (Performance) και από την άποψη αλληλεπίδρασης ανθρώπου και μηχανής (Man Machine Interaction). Τέλος ο περιβαλλοντικός παράγοντας εκφράζει το ενδεχόμενο μη αποτροπής του κινδύνου λόγω των γεωλογικών και άλλων περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών της περιοχής.

3.2.1. ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (SYSTEM RELIABILITY)

Ως αξιοπιστία συστήματος θεωρείται η πιθανότητα το σύστημα να λειτουργεί συνεχώς χωρίς βλάβες για μια χρονική περίοδο t . Στη συγκεκριμένη περίπτωση ερευνάται η πιθανότητα το σύστημα, να είναι εκτός λειτουργίας, σε μια χρονική στιγμή t_x κάτι που σχετίζεται άμεσα με την αξιοπιστία του συστήματος.

Με βάση την αξιοπιστία R_t ενός στοιχείου/συστήματος, η συχνότητα αποτυχίας λ_t για ένα χρονικό διάστημα (d_t), είναι η πιθανότητα το συγκεκριμένο στοιχείο/σύστημα να αστοχήσει δεδομένου ότι το στοιχείο/σύστημα λειτουργούσε πριν. Με βάση αυτή τη προσέγγιση το λ_t μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση:

$$\lambda_t = \frac{R_{t,1} - R_{t,2}}{d_t * R_{t,1}} = - \frac{dR_t}{d_t * R_t} \quad (3-3)$$

Με βάση το λ μπορούμε να ορίσουμε το μέγεθος MTBF ως ακολούθως.

Μέσος χρόνος μεταξύ αποτυχιών (Mean Time Between Failures, MTBF)

Μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών (MTBF) είναι ο προβλεπόμενος χρόνος μεταξύ αποτυχιών του συστήματος.

Ο καθορισμός MTBF εξαρτάται από τον καθορισμό του γεγονότος, που θεωρείται αποτυχία του συστήματος. Για σύνθετα συστήματα που μπορούν να επισκευαστούν, οι αποτυχίες θεωρούνται οι αποκλίσεις από τις σχεδιασμένες συνθήκες λειτουργίας, οι οποίες θέτουν το σύστημα σε κατάσταση εκτός λειτουργίας ή επισκευής.

Το MTBF μπορεί να υπολογιστεί με βάση το $\lambda_t = \lambda$ ως εξής¹¹

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt = 1 / \lambda \quad (3-4)$$

Η παραπάνω σχέση ισχύει με βάση την υπόθεση

$$MTBF = MTTR + MTTF$$

και

$$MTTR \ll MTTF$$

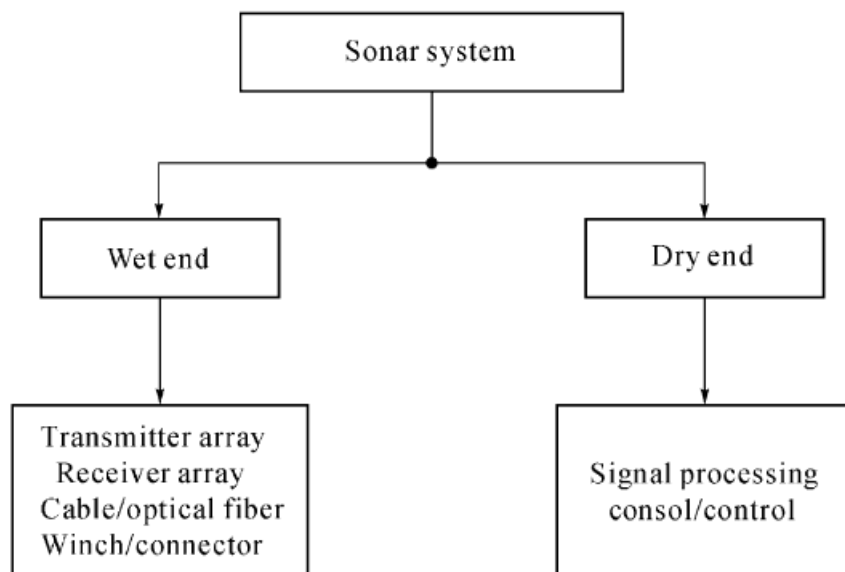
Όπου MTTR είναι ο μέσος χρόνος επισκευής και MTTF είναι ο μέσος χρόνος μέχρι το σύστημα να αποτύχει. Όταν το MTTF είναι πολύ μεγαλύτερο από το αντίστοιχο MTTR τότε θεωρούμε για λόγους απλοποίησης ότι MTBF = MTTF.

Η πιθανότητα αποτυχίας συστήματος

Η πιθανότητα αποτυχίας του συστήματος σόναρ μπορεί να οριστεί ως η πιθανότητα αποτυχίας ενός τουλάχιστον στοιχείου του συστήματος. Το σύστημα σόναρ αποτελείται από δύο κύρια μέρη το μηχανικό μέρος (hardware) και το λογισμικό μέρος (software). Το μηχανικό μέρος ενός συστήματος σόναρ αναλύεται στο παρακάτω διάγραμμα.

¹¹ Qihu Li, 2012: *Digital Sonar design, Principles and application*

Διάγραμμα 3-3: Διαχωρισμός συστήματος σε βρεχόμενο και μη βρεχόμενο μέρος



Πηγή: Qihu Li (2011), *Digital Sonar design in Underwater Acoustics*.

3.2.1.1. Πιθανότητα αποτυχίας υλικού

Το μέρος που είναι εκτεθειμένο στο νερό (wet end) αποτελείται από τον πομπό και τον δέκτη καθώς και το μέσο σύνδεσης με το μέρος του συστήματος που βρίσκεται πάνω στο πλοίο (dry end). Το μέρος που βρίσκεται πάνω στο πλοίο αποτελείται ουσιαστικά από τη συσκευή επεξεργασίας του σήματος.

Ένα πολύπλοκο σύστημα αποτελείται από πολλά στοιχεία που είναι διαταγμένα σειριακά και παράλληλα μέσα στο σύστημα. Η σειριακή διάταξη σημαίνει ότι η απότυχία ενός στοιχείου συνεπάγεται σε αποτυχία ολόκληρου του συστήματος. Σε αυτή την περίπτωση η συνολική συχνότητα αποτυχίας του συστήματος δίνεται από τη σχέση¹²

$$\lambda_t = \sum_{n=i}^I \lambda_n \quad (3-5)$$

όπου i ο αριθμός των σειριακών στοιχείων του συστήματος.

Σε πολλές περιπτώσεις τα επιμέρους σειριακά στοιχεία δεν είναι μοναδικά αλλά αποτελούν ομάδες ίδιων στοιχείων που είναι διαταγμένα παράλληλα. Η παράλληλη

¹² Vito Faraci, 2006: Calculating failure rates for series/parallel networks

διάταξη συνεπάγεται ότι το σύστημα μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί ακόμα και αν ένα μέρος αυτών των στοιχείων πάψει να λειτουργεί.

Αν πρέπει να λειτουργούν τουλάχιστον r εξαρτήματα σε ένα παράλληλα διατεταγμένο σύστημα και κάθε στοιχείο είναι ανεξάρτητο και έχει την ίδια αξιοπιστία τότε¹³.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} * \sum_{j=r}^l \frac{1}{j} \quad (3-6)$$

και επειδή $\lambda_t = 1 / MTBF$

$$\lambda_t = \frac{1}{\frac{1}{\lambda} * \sum_{j=r}^l \frac{1}{j}} \quad (3-7)$$

Σε μια απλοποιημένη προσέγγιση μπορούμε να ορίσουμε την αξιοπιστία και τη συχνότητα αποτυχίας του συστήματος σόναρ με βάση το παράδειγμα του Qihu li (2011). Με βάση το παράδειγμα το βρεχόμενο μέρος του σόναρ (wet end) αποτελείται από ένα υδρόφωνο (hydrophone) και το καλώδιο που καταλήγει σε διαβιβαστές του σήματος (cable and penetrators), ενώ το μη βρεχόμενο μέρος (dry end) αποτελείται από τη μονάδα επεξεργασίας (processing unit). Το υδρόφωνο και το καλώδιο με το διαβιβαστή αποτελούν ένα σειριακό σύστημα.

Η συχνότητα αποτυχίας του υδρόφωνου έχει τιμή $\lambda_1 = 2 * 10^{-5} (h^{-1})$

Η συχνότητα αποτυχίας του καλωδίου και του διαβιβαστή θεωρείται ίση με:

$$\lambda_2 = 0.5 * 10^{-5}$$

Η συνολική συχνότητα αποτυχίας του βρεχόμενου μέρους είναι ίσο με:

$$\lambda_1 + \lambda_2 = 2,5 * 10^{-5} (h^{-1}) \quad (3-8)$$

και $MTBF = 1/\lambda = 40000 \text{ h}$

Αντίστοιχα η συχνότητα αποτυχίας του μη βρεχόμενου μέρους συνοψίζεται στην συχνότητα αποτυχίας της μονάδας επεξεργασίας (processor unit) η οποία ορίζεται ως σειριακό σύστημα και υπολογίζεται βάσει των στοιχείων του πίνακα $777,1 * 10^{-6} (h^{-1})$ και $MTBF = 1287 \text{ h}$

Στοιχεία που δημοσιεύουν εταιρίες κατασκευής παρόμοιων συστημάτων σόναρ όπως το Vanguard της γερμανικής εταιρίας L3 Elac Nautik θέτουν ως MTBF για το

¹³Dr. Jorge Luis Romeu: *Understanding Series and Parallel Systems Reliability*, <http://www.theriac.org/DeskReference/viewDocument.php?id=219#top>

βρεχόμενο μέρος ίσο με 30000 ώρες (h) και για το μη βρεχόμενο μέρος ίσο με 6000 ώρες (h).

Οι τιμές MTBF που επιλέχθηκαν για τη μελέτη είναι 40000 h για το βρεχόμενο και 6000 h για το μη βρεχόμενο μέρος. Για το βρεχόμενο μέρος η τιμή του παραδείγματος επιλέχθηκε με βάση το επιχείρημα ότι το σύστημα που υποθέτουμε δεν περιέχει μηχανικό σύστημα περιστροφής σε αντίθεση με το σύστημα σόναρ Vanguard και ως αποτέλεσμα η τιμή MTBF θεωρείται μεγαλύτερη από 30000 ώρες συνεχούς λειτουργίας. Για το μη βρεχόμενο μέρος η τιμή 6000 ώρες θεωρείται μια αντιπροσωπευτική τιμή.

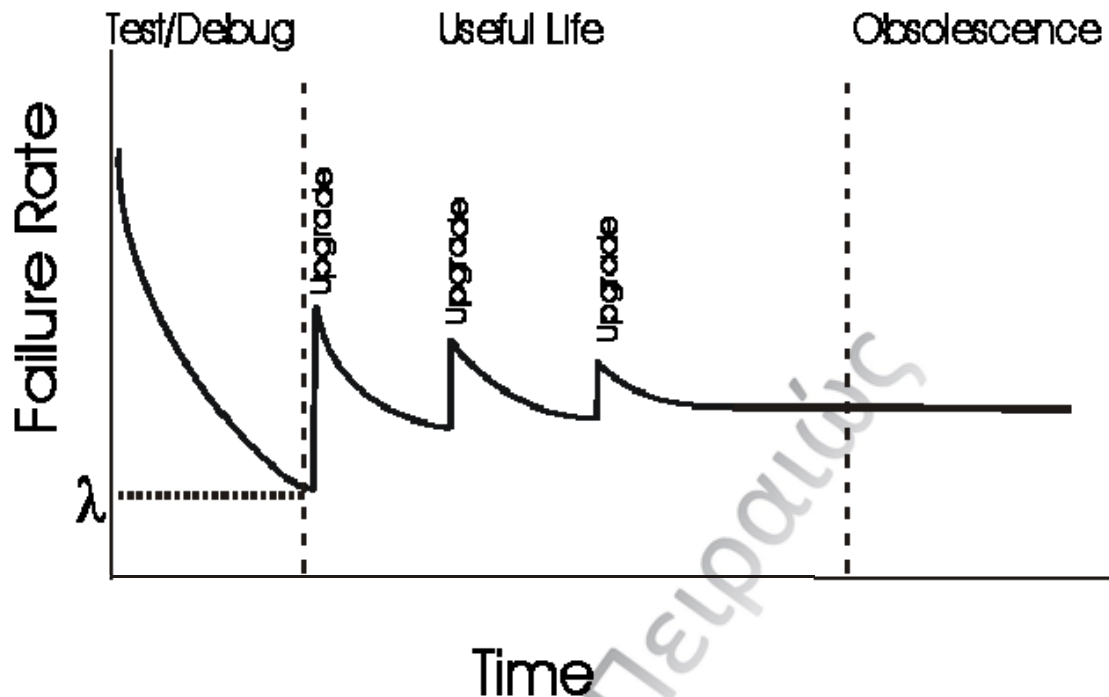
3.2.1.2. Πιθανότητα αποτυχίας Λογισμικού

Σύμφωνα με το Ansi, η αξιοπιστία λογισμικού ορίζεται ως: «Η πιθανότητα της λειτουργίας λογισμικού χωρίς αποτυχία για μια καθορισμένη χρονική περίοδο σε ένα διευκρινισμένο περιβάλλον» (Michael R. Lyu, 1995).

Αν και η αξιοπιστία λογισμικού ορίζεται ως η πιθανότητα λειτουργίας σε σχέση με το χρόνο, σε αντίθεση με την παραδοσιακή λειτουργία μηχανικών συστημάτων, δεν υφίσταται άμεση σχέση μεταξύ αποτυχίας του λογισμικού και χρόνου. Τα ηλεκτρονικά και μηχανικά μέρη υφίστανται γήρανση και φθορές με το χρόνο και τη χρήση, αλλά το λογισμικό δεν σκουριάζει ούτε φθείρεται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Το λογισμικό δεν θα αλλάξει με την πάροδο του χρόνου εκτός αν σκόπιμα αλλαχτεί ή αναβαθμιστεί.

Η βασική διαφορά ανάμεσα στην αποτυχία λογισμικού και στην αποτυχία υλικού είναι ότι η αποτυχία λογισμικού οφείλεται αποκλειστικά σε λάθη κατά το σχεδιασμό ενώ η αποτυχία υλικού μπορεί να ωφείλεται και σε αποτυχία του φυσικού μέρους. Τέλος αντίθετα με το υλικό ο ρυθμός αποτυχίας λογισμικού και η ποιότητά του δεν αλλάζουν από τη στιγμή που εγκαθίσταται και η λειτουργία του ξεκινά, εκτός και αν υπάρξει αναβάθμιση.

Διάγραμμα 3-4: Καμπύλη bathtub λογισμικού



Πηγή: Reliability Analysis Center (RAC), 1996, *Introduction to Software Reliability: A state of the Art Review*.

Πολλά διαφορετικά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί για την ποσοτικοποίηση της αξιοπιστίας του λογισμικού.

Το επιλεγμένο μοντέλο στην παρούσα μελέτη είναι το μοντέλο πρόβλεψης που αποτελεί το πιο διαδεδομένο μοντέλο.

Μοντέλα Πρόβλεψης (Prediction Model)¹⁴

Χρησιμοποιώντας τα πρότυπα πρόβλεψης, η αξιοπιστία λογισμικού μπορεί να προβλεφθεί εξ αρχής, στη φάση ανάπτυξης και η βελτίωσή του μπορεί να ξεκινήσει άμεσα. Τα αντιπροσωπευτικά πρότυπα εκτίμησης περιλαμβάνουν τα πρότυπα εκθετικής διανομής, πρότυπο διανομής Weibull, Thompson και πρότυπο Chelson, κ.λπ. Τα εκθετικά πρότυπα και το πρότυπο διανομής Weibull ονομάζονται συνήθως ως κλασσικά αρίθμησης ελαττωμάτων/πρότυπα εκτίμησης ποσοστού ελαττωμάτων, ενώ

¹⁴ Πηγή: Reliability Analysis Center (RAC), 1996, *Introduction to Software Reliability: A state of the Art Review*.

το πρότυπο Thompson και Chelson ανήκει στα Μπεϋζιανά πρότυπα εκτίμησης ποσοστού ελαττωμάτων.

Ο τομέας έχει ωριμάσει σε τέτοιο σε σημείο ώστε τα πρότυπα λογισμικού μπορούν να εφαρμοστούν σε πρακτικές καταστάσεις και να δώσουν τα σημαντικά αποτελέσματα. Επίσης λόγω της πολυπλοκότητας του λογισμικού, οποιοδήποτε πρότυπο πρέπει να έχει επιπρόσθετες προϋποθέσεις. Όμως μόνο ένας περιορισμένος αριθμός παραγόντων μπορεί να τεθεί για εκτίμηση την κάθε φορά. Άλλα μοντέλα περιλαμβάνουν τα μοντέλα Εκτίμησης (Estimation Model) και τα Μοντέλα Μέτρησης (Measurement model).

Επίσης από τα μετρικά συστήματα έχουν αναπτυχθεί για τη μέτρηση του μεγέθους λογισμικού και των αποτυχιών του, το σύστημα που επιλέχθηκε ως το πιο διαδεδομένο σύστημα είναι οι μετρικές προϊόντος (Product Metrics).

Product metrics¹⁵

Το μέγεθος λογισμικού είναι, ανάλογο της πολυπλοκότητας, της προσπάθειας ανάπτυξης και της αξιοπιστίας. Οι γραμμές κώδικα (LOC), ή χιλιάδες γραμμών (KLOC), είναι μια διαισθητική αρχική προσέγγιση στη μέτρηση του μεγέθους λογισμικού. Αυτή η μέθοδος δεν μπορεί να συγκρίνει πιστά το λογισμικό που δεν γράφεται στην ίδια γλώσσα προγραμματισμού. Η εμφάνιση των νέων τεχνολογιών όπως αυτή της επαναχρησιμοποίησης κώδικα και αυτή της τεχνική παραγωγής κώδικα δημιουργούν επίσης αμφιβολία για την αξιοπιστία αυτής της απλής μετρικής μεθόδου. Άλλα μετρικά συστήματα περιλαμβάνουν τις μετρήσεις διαχείρισης έργων (Project management metrics), τις μετρήσεις διεργασιών (Process metrics) και τις μετρήσεις λαθών και αποτυχίας (Fault and failure metrics).

Η βασική δυσκολία, είναι ο συσχετισμός των σφαλμάτων ανά χιλιάδα κώδικα σε σχέση με το χρόνο. Στο παράδειγμα που ακολουθεί ο συσχετισμός γίνεται με βάση το χρόνο λειτουργίας σε ώρες (operational hour, Oph). Ο χρόνος λειτουργίας σε αυτή την περίπτωση σημαίνει το χρόνο που ουσιαστικά ο χειριστής χειρίζεται το πρόγραμμα, καθώς μόνο κατά την περίοδο αυτή μπορούν να εντοπιστούν τα σφάλματα. Παρ' όλο που αυτό περιορίζει την ακρίβεια του αποτελέσματος αποτελεί μια καλή ένδειξη της συχνότητας αποτυχίας σε σχέση με τον πραγματικό χρόνο λειτουργίας.

¹⁵ Πηγή: Reliability Analysis Center (RAC), 1996, *Introduction to Software Reliability: A state of the Art Review*.

Το παράδειγμα χρησιμοποιεί ένα λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε από το 1999 ως το 2005 και ενσωματώνει τις κύριες λειτουργίες του σόναρ. Αποτυχία κάποιας από αυτές τις λειτουργίες θεωρείται ότι υπονομεύει τη σωστή λειτουργία του συστήματος σε τέτοιο βαθμό που το σύστημα θεωρείται ότι αστόχησε.¹⁶

Ο πίνακας δείχνει την προβλεπόμενη αξιοπιστία του λογισμικού του συστήματος σόναρ που αναπτύχθηκε και εκτιμήθηκε από την STN ATLAS (Dr. Wolfgang Hoppe, 2004).

Πίνακας 3-2: Παράδειγμα MTBF με βάση τις γραμμές κώδικα (KLOCs) για λογισμικό σόναρ

Software Module	KLOCs	MTBF/oph
Signal Generation	25000	19000
Beamformer	22000	22000
Signal Processing	60000	8000
Classification	30000	16000
Control&Interface	40000	12000
HMI	200000	2400
Total System	500000	1000

Πηγή: Dr. Wolfgang Hoppe, (2004) *An Industry Applicable Approach to predict Software Reliability*

- Παραγωγή ηχητικού σήματος (Signal Generation): Η ενότητα που ασχολείται με την παραγωγή του ηχητικού σήματος.
- Διαμόρφωση δέσμης ηχητικού σήματος (Beamforming): Σχετίζεται με την απόστολή και λήψη ηχητικού σήματος σε καθορισμένη κατεύθυνση.
- Επεξεργασία σήματος (Signal processing): Επεξεργάζεται το σήμα που επιστρέφει.
- Κατηγοριοποίηση πληροφοριών (Classification): Κατηγοριοποιεί τις πληροφορίες για εύκολη πρόσβαση.

¹⁶ Θεωρούμε ότι υπάρχει σχέση συχνότητας αποτυχίας και χρόνου λόγω της σχέσης εκτελούμενων γραμμών κώδικα που εκτελούνται για μια διεργασία στη μονάδα του χρόνου και λαθών ανά χιλιάδα εκτελούμενων γραμμών κώδικα.

- Έλεγχος και διασύνδεση (Control and Interface): Αναφέρεται στο λογισμικό έλεγχου των λειτουργιών του σόναρ.
- Διασύνδεση χρήστη και μηχανής (HMI): Αναφέρεται στο λογισμικό που διαμορφώνει το περιβάλλον αλληλεπίδρασης με τον χρήστη όπως οδηγούς μονάδων εισόδου/εξόδου (Input/output device drivers).

Αποτυχία σε μια από τις παραπάνω λειτουργίες θεωρούνται ότι οδηγούν το σύστημα σε άμεση αστοχία. Στην πράξη αυτό είναι μια απλούστευση καθώς σφάλματα κατά την εκτέλεση των διεργασιών μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τη σοβαρότητά τους, από σφάλματα που δεν έχουν αντίκτυπο στη λειτουργία του συστήματος μέχρι πολύ σοβαρά σφάλματα που οδηγούν σε αστοχία.

Ο μέσος χρόνος μεταξύ αποτυχιών λογισμικού ορίστηκε με βάση το παράδειγμα και ίσος με 1000 ώρες λειτουργίας.

3.2.1.3. Πιθανότητα μη διαθεσιμότητας

Ως διαθεσιμότητα αναφέρεται η δυνατότητα το σύστημα να λειτουργήσει σύμφωνα με τις σχεδιασμένες προδιαγραφές του σε μια χρονική στιγμή t_x .

Η διαθεσιμότητα και η μή διαθεσιμότητα συστήματος εκφράζονται ως πιθανότητες. Αν $MTBF = 1/\lambda$ εκφράζει το μέσο χρόνο μεταξύ αποτυχιών του συστήματος και λ εκφράζει τη συχνότητα αποτυχίας στη μονάδα του χρόνου, τότε, η πιθανότητα μη διαθεσιμότητα του συστήματος σε μια τυχαία μονάδα του χρόνου μπορεί να εκφραστεί ως¹⁷.

$$q = \lambda * T_y = \frac{T_y}{MTBF} \quad (3-9)$$

Όπου T_y είναι ο μέσος χρόνος που το σύστημα είναι εκτός λειτουργίας (Downtime)¹⁸.

3.2.2. Ο ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ

Ο ανθρώπινος παράγοντας περιλαμβάνει τις πιθανότητες αποτυχίας εντοπισμού του κινδύνου ή και τη λήψη μέτρων αποφυγής από το πλήρωμα. Το σύστημα σόναρ ως ένα σύστημα αλληλεπίδρασης ανθρώπου και μηχανής (Man Machine Interaction,

¹⁷ Scheer Gary W. (1998): *Answering substation automation questions through Fault Tree Analysis*

¹⁸ Το Downtime τυπικά περιλαμβάνει α) τον μέσο χρόνο αναμονής μέχρι το σύστημα να επισκευαστεί και β) τον μέσο χρόνο επισκευής.

MMI) είναι σημαντικό να εκτιμηθεί η δυνατότητα υποστήριξης αποφάσεων. Οι πιθανότητες αποτυχίας επηρεάζονται και από άλλους παράγοντες όπως εργονομία, οργάνωση κ.ά.

3.2.2.1. ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΑΠΟΤΥΧΙΑΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΠΛΗΡΩΜΑ

Για την εκτίμηση των πιθανοτήτων λαθών για κάθε έργο χρησιμοποιείται η τεχνική ανάλυσης ανθρώπινης αξιοπιστίας (Human reliability analysis).

«Ο όρος “ανθρώπινη αξιοπιστία” ορίζεται συνήθως ως η πιθανότητα ένα πρόσωπο να εκτελεί ορθά κάποια απαιτούμενη από το σύστημα δραστηριότητα κατά τη διάρκεια ενός δεδομένου χρονικού διαστήματος (εάν ο χρόνος είναι ένας περιοριστικός παράγοντας), χωρίς εκτέλεση οποιασδήποτε άλλης δραστηριότητας που μπορεί να υποβιβάσει το σύστημα. Το ιστορικό υπόβαθρο για την ανάπτυξη του συνόλου μεθόδων, που αναφέρονται συνήθως ως ανάλυση ανθρώπινης αξιοπιστίας (HRA), ήταν η ανάγκη να περιγραφούν οι ανακριβείς ανθρώπινες ενέργειες στα πλαίσια της πιθανολογικής αξιολόγησης του κινδύνου (PRA) ή της πιθανολογικής ανάλυσης ασφάλειας (PSA). Η HRA λειτουργεί μέσα στους περιορισμούς που καθορίζονται από PRA/PSA, και συγκεκριμένα μπορεί να παράγει τις ανθρώπινες πιθανότητες δράσης που απαιτούνται από το PRA/PSA» (Erik Hollnagel, 2005: *Human Reliability Assessment in Context*, http://www.ida.liu.se/~eriho/HRA_M.htm).

Η NASA προτείνει τη χρήση τεχνικών ανάλυσης ανθρώπινης αξιοπιστίας σε ζεύγη για την πιο αξιόπιστη εκτίμηση της πιθανότητας ανθρώπινου λάθους. Οι συνδυασμοί παρατίθενται και κατατάσσονται με βάση τα κριτήρια επάρκειας δεδομένων και βαθμού κάλυψης.

Διάγραμμα 3-5: Κατάταξη τεχνικών ανάλυσης ανθρώπινης αξιοπιστίας

Suggested combinations	Data Support	Coverage
THERP + CREAM	**	***
THERP + NARA	***	**
CREAM + NARA	***	***
CREAM + SPAR-H	**	***

Πηγή: Chandler T. Faith, Chang Y.H. James, Mosleh, AliMarble L. Julie, Boring L. Ron, Gertman I. David, (2006): *Human Reliability Analysis Methods Selection Guidance for NASA*

Για τη συγκεκριμένη μελέτη επιλέχθηκε ο συνδυασμός τεχνικών NARA και CREAM που φαίνεται να δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα.

Τεχνική «Εκτίμησης Αξιοπιστίας Πυρηνικών Έργων» (NARA)

Η «Τεχνική Εκτίμησης Αξιοπιστίας Πυρηνικών Έργων» (Nuclear Action Reliability Assessment) που βασίζεται στην τεχνική πρώτης γενιάς «Εκτίμησης και Μείωσης Συχνοτήτων Ανθρώπινων Λαθών» (Human Error Rate Assessment and Reduction, Heart) λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρει ως προς τη μικρή ανάγκη χρήσης πόρων. Ένα σημαντικό μειονέκτημα της μελέτης που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ότι η συγκεκριμένη τεχνική βασίζεται στην Εμπειρογνωμοσύνη (Expert Knowledge) τόσο για τον καθορισμό των αρχικών τιμών των βασικών πιθανοτήτων λάθους όσο και για την επιρροή των ειδικών παραγόντων για την εξαγωγή της τελικής πιθανότητας.

Η τεχνική NARA (Kirwan, 2005) α) έχει καλύτερη εφαρμογή στα πυρηνικά έργα, β) εξετάζει λαθεμένες αποκρίσεις σε σχέση με απλές παραλείψεις, γ) έχει ουσιαστική υποστήριξη με στοιχεία, δ) εξετάζει τα μακροπρόθεσμα σενάρια και ε) έχει καλύτερη καθοδήγηση σχετικά με τη χρήση.

Η τεχνική NARA χρησιμοποιεί την ίδια προσέγγιση με την αντίστοιχη τεχνική HEART για να υπολογίσει HEPs.

Οι κύριες διαφορές μεταξύ των τεχνικών NAPA και βάσης δεδομένων της HEART είναι:

- α) η ομαδοποίηση των γενικών στόχων,
- β) οι συντελεστές βάρους των συνθηκών παραγωγής λάθους, και

γ) η χρήση της CORE-DATA για λάθη στο NAPA.

Η διαδικασία αρχικά ορίζει μια τιμή για κάθε κατηγορία έργου χωρίς να ορίζει συγκεκριμένους τύπους λαθών. Η τιμή καθορίζεται σε σχέση με τα ειδικά χαρακτηριστικά του έργου με τη βοήθεια εμπειρογνώμονα.

Πίνακας 3-3: The generic tasks of NARA

	Generic Task	Basic HEP
A1	Πραγματοποίηση απλής ενιαίας χειρωνακτική δράσης με ανατροφοδότηση, βασισμένη στις ικανότητες και επομένως δεν ακολουθεί απαραίτητα τη διαδικασία.	0.005
A2	Η έναρξη ή μετατροπή ενός συστήματος από το κύριο δωμάτιο ελέγχου μέσα από διαδικασίες με ανατροφοδότηση.	0.001
A3	Η έναρξη ή μετατροπή ενός συστήματος από ένα τοπικό δωμάτιο ελέγχου ακολουθώντας διαδικασίες με ανατροφοδότηση.	0.003
A4	Μετατροπή συστήματος τοπικά χρησιμοποιώντας ειδικό εξοπλισμό, με ανατροφοδότηση. Μπορεί να χρειαστεί μερική ή πλήρης συναρμολόγηση.	0.03
A5	Απαιτείται κρίση για την κατάλληλη διαδικασία που ακολουθείται, βασισμένη στην ερμηνεία των συναγεμίων/ενδείξεων, κατάσταση που καλύπτεται με την κατάρτιση σε κατάλληλα διαστήματα.	0.01
A6	Απόλυτα εξοικειωμένο, καλά σχεδιασμένο και ιδιαίτερα ασκούμενο, στερεότυπο έργο που εκτελείται με τα υψηλότερα πιθανά πρότυπα από ιδιαίτερα παρακινημένο, ιδιαίτερα εκπαιδευμένο και πεπειραμένο προσωπικό, συνολικά ενήμερο	0.0001

Πηγή: Chandler T. Faith, Chang Y.H. James, Mosleh, AliMarble L. Julie, Boring L. Ron, Gertman I. David, (2006): *Human Reliability Analysis Methods Selection Guidance for NASA*

Πίνακας 3-4: Generic tasks of NARA for checking correct plant status and availability of plant resources

	Generic Task	Basic HEP
B1	Στερεότυπος έλεγχος της κατάστασης των εγκαταστάσεων.	0.03
B2	Επαναφορά μέρους του συστήματος ακολουθώντας διαδικασίες	0.007
B3	Εφαρμογή κατάστασης συστήματος με στερεότυπες διαδικασίες και με αυστηρό διοικητικό έλεγχο	0.0007
B4	Ρύθμιση παραμέτρων εξοπλισμού χρησιμοποιώντας διαδικασίες	0.003
B5	Διεξαγωγή ανάλυσης	0.03

Πηγή: Chandler T. Faith, Chang Y.H. James, Mosleh, AliMarble L. Julie, Boring L. Ron, Gertman I. David, (2006): *Human Reliability Analysis Methods Selection Guidance for NASA*

Πίνακας 3-5: The generic tasks of NARA for alarm/indication response

	Generic Task	Basic HEP
C1	Απλή απάντηση σε ένα βασικό συναγερμό ανάμεσα σε μια σειρά συναγερμών/ενδείξεων που παρέχουν τη σαφή ένδειξη της κατάστασης (απλή διάγνωση που απαιτείται). Η αντίδραση μπορεί είναι άμεση εκτέλεση απλής ενέργειας ή έναρξη άλλων ενεργειών που αξιολογούνται χωριστά.	0.0004
C2	Προσδιορισμός της κατάστασης που απαιτεί την ερμηνεία σύνθετου πρότυπου συναγερμών/ ενδείξεων.	0.2

Πηγή: Chandler T. Faith, Chang Y.H. James, Mosleh, AliMarble L. Julie, Boring L. Ron, Gertman I. David, (2006): *Human Reliability Analysis Methods Selection Guidance for NASA*

Πίνακας 3-6: The generic tasks of NARA for communication.

	Generic Task	Basic HEP
D1	Λεκτική επικοινωνία των κρίσιμων για την ασφάλεια στοιχείων	0.006

Πηγή: Chandler T. Faith, Chang Y.H. James, Mosleh, AliMarble L. Julie, Boring L. Ron, Gertman I. David, (2006): *Human Reliability Analysis Methods Selection Guidance for NASA*

Πίνακας 3-7: EPC List.

	Περιγραφή Συνθήκης παραγωγής λαθών.	NARA EPC Effect
1	Η ανάγκη να αντικατασταθεί μια τεχνική από μια άλλη αντίθετης φιλοσοφίας.	24
2	Άγνοια π.χ., μια ενδεχομένως σημαντική κατάσταση που εμφανίζεται μόνο σπάνια ή είναι νέα.	20
3	Χρονική πίεση.	11
4	Χαμηλή αναλογία σήματος θορύβου.	10
5	Οι δυσκολίες που προκαλούνται από τις φτωχές πρακτικές αλλαγής βάρδιας ή/και τα προβλήματα ή την τριβή μεταξύ μελών της ομάδας και απώλεια συντονισμού.	10
6	Μέσα προσπέλασης για τις πληροφορίες ή τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που είναι πάρα πολύ ευπρόσιτα.	9
7	Κανένα προφανές μέσο αναστροφής μια μη προμελετημένης δράση.	9
8	Απειρία χειριστών.	8
9	Υπερφόρτωση πληροφοριών, ιδιαίτερα, μία που προκαλείται από την ταυτόχρονη παρουσίαση των μη-περιττών πληροφοριών.	6
10	Φτωχή διαφορούμενη ή κακώς αντιστοιχισμένη ανατροφοδότηση από το σύστημα.	4
11	Ελλείμματα στην ποιότητα των πληροφοριών που μεταβιβάζεται από τις διαδικασίες.	3
12	Οι χειριστές βρίσκονται κάτω από φορτίο εργασίας /πλήξης.	3
13	Σύγκρουση μεταξύ των άμεσων και των μακροπρόθεσμων στόχων.	2.5
14	Κίνητρο για να χρησιμοποιήσει άλλες πιο επικίνδυνες διαδικασίες.	2
15	Φτωχό περιβάλλον.	8
16	Κανένας προφανής τρόπος ελέγχου της προόδου κατά τη διάρκεια μιας δραστηριότητας.	2
17	Υψηλή συναισθηματική πίεση και επιπτώσεις κακής υγείας.	2
18	Χαμηλό ηθικό εργατικού δυναμικού ή δυσμενές οργανωτικό περιβάλλον.	2

Πηγή: Chandler T. Faith, Chang Y.H. James, Mosleh, AliMarble L. Julie, Boring L. Ron, Gertman I. David, (2006): *Human Reliability Analysis Methods Selection Guidance for NASA*

Ο βασικός τύπος υπολογισμού της τελικής πιθανότητας ανθρώπινου λάθους έχει οριστεί ως:

$$HEP = GTT * \prod_{i=1}^n ((E_i - 1) * P_i) + 1 \quad (3-10)$$

Όπου HEP είναι η τελική πιθανότητα λάθους.

GTT είναι η κατηγορία του έργου.

E συμβολίζει τις επικρατούσες συνθήκες λάθους.

P είναι ο συντελεστής στάθμισης.

Ο παράγοντας P αναφέρεται στο «αξιολογημένο ποσοστό της επίδρασης» (Assessed Portion Of effect, APOA) για τη συγκεκριμένη συνθήκη παραγωγής λάθους. Οι APOA παίρνουν τιμές από 0.1 έως 1. Αν χρησιμοποιηθούν πολλές διαφορετικές συνθήκες παραγωγής λάθους σε συνδυασμό με υψηλά ποσοστά επίδρασης τότε η τελική πιθανότητα (HEP) μπορεί να ξεπεράσει την τιμή 1. Σε αυτή την περίπτωση η συνολική πιθανότητα (HEP) θεωρείται ίση με 1. Τόσο οι συνθήκες όσο και τα ποσοστά επίδρασης καθορίζονται με βάση την υποκειμενική κρίση ενώ δεν υπάρχει συγκεκριμένη διαδικασία αξιολόγησής τους. Ως αποτέλεσμα η τελική HEP είναι ευαίσθητη στην αισιοδοξία ή την απαισιοδοξία του αξιολογητή.

Η τεχνική NARA προσδιορίζει και παρέχει πιο σαφείς ορισμούς για κάθε κατηγορία έργου καθώς και για τις συνθήκες παραγωγής λαθών σε σχέση με την HEART και γι' αυτό έχει προτιμηθεί.

Μέθοδος ανάλυσης γνωστικής αξιοπιστίας και λαθών

(Cognitive Reliability and Error Analysis Method, CREAM)

«Η Μέθοδος ανάλυσης γνωστικής αξιοπιστίας και λαθών» αναπτύχθηκε από τον Hollnagel (1998) για τις γενικές εφαρμογές και είναι βασισμένη στο συμφραζόμενο πρότυπο ελέγχου (COCOM, Hollnagel, 1993), το οποίο προσδιορίζει και ποσοτικοποιεί τα λεγόμενα λάθη γενοτύπου (ή γνωστικά λάθη)» (Chandler T. Faith, Chang Y.H. James, Mosleh, AliMarble L. Julie, Boring L. Ron, Gertman I. David, (2006): *Human Reliability Analysis Methods Selection Guidance for NASA*

Η μέθοδος παρέχει δυνατότητες τόσο για μια απλή παρουσίαση των βασικών έργων (screening) όσο και δυνατότητες για εκτεταμένη ανάλυση και ποσοτικοποίηση

των επιμέρους σταδίων που αποτελούν ένα έργο. Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιείται η εκτεταμένη μέθοδος υπολογισμού

Διαδικασία υπολογισμού ΗΕΡ (εκτεταμένη μέθοδος)

Η εκτεταμένη διαδικασία περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

1. Περιγραφή του στόχου ή τα τμήματα στόχου που αναλύεται και διάκριση των δευτερευουσών ενεργειών που την απαρτίζουν. Κάθε δευτερεύουσα ενέργεια αντιστοιχεί σε μια από τις δεκαπέντε προ-διευκρινισμένες γνωστικές δραστηριότητες (πίνακας 1).

2. Προσδιορισμός του τύπου γνωστικής δραστηριότητας για κάθε δευτερεύουσα ενέργεια.

3. Προσδιορισμός της σχετική ανθρώπινης λειτουργίας σε κάθε δευτερεύουσα ενέργεια. Τέσσερις τύποι ανθρώπινων λειτουργιών προσδιορίζονται: Παρατήρηση, ερμηνεία, σχεδιασμός, και εκτέλεση.

4. Καθορισμός της βασικής ΗΕΡ για όλες τις δευτερεύουσες ενέργειες. Διάφοροι τύποι αποτυχίας προσδιορίζονται. Κάθε τύπος αποτυχίας συνδέεται με τα όρια ενός βασικού ΗΕΡ και συμπεριλαμβάνει όρια αβεβαιότητας (πίνακας 3-10).

5. Καθορισμός των συντελεστών που επηρεάζουν τις τιμές ΗΕΡ στις δευτερεύουσες ενέργειες. Ρύθμιση με πολλαπλασιασμό της βασικής πιθανότητας με τους επιλεγμένους συντελεστές και υπολογισμός των τελικών πιθανοτήτων για κάθε δευτερεύουσα ενέργεια (πίνακας 3-11).

Πίνακας 3-8: Οι δεκαπέντε γνωστικές δραστηριότητες σύμφωνα με την ανάλυση
CREAM

Δευτερεύουσα γνωστική δραστηριότητα	Γενικός ορισμός
Συντονισμός	Ρύθμιση σχέσης καταστάσεων συστημάτων ή/ και ρυθμίσεις ελέγχων που απαιτούνται για να εκτελέσει έναν στοχο ή ένα βήμα στόχου. Διάθεση ή επιλογή των πόρων για την προετοιμασία για έναν στόχο/μια εργασία, βαθμολόγηση εξοπλισμού, κ.λπ.
Επικοινωνία	Αποστολή ή αποδοχή πληροφοριών που απαιτούνται για τη λειτουργία συστημάτων από πρόσωπο σε πρόσωπο είτε προφορικά είτε με ηλεκτρονικά/μηχανικά μέσα.
Σύγκριση	Εξέταση των ιδιοτήτων δύο ή περισσότερων οντοτήτων (μετρήσεις), με στόχο την ανακάλυψη των ομοιοτήτων ή των διαφορών. Η σύγκριση μπορεί να απαιτεί κάποιο είδους υπολογισμό.
Διάγνωση	Αναγνώριση ή καθορισμός της φύσης ή της αιτίας ενός όρου, με τη βοήθεια του συλλογισμού για τα σημάδια ή τα συμπτώματα ή από τα αποτελέσματα κατάλληλων δοκιμών. «Η διάγνωση» είναι πιο λεπτομερής από «την αναγνώριση».
Εκτίμηση	Εκτίμηση ή αξιολόγηση μιας πραγματικής ή υποθετικής κατάστασης, βασισμένη στις διαθέσιμες πληροφορίες χωρίς απαίτηση για πρόσθετες διαδικασίες. Οι σχετικοί όροι είναι «επιθεώρηση» και «έλεγχος».
Εκτέλεση	Εκτέλεση μια προηγουμένως διευκρινισμένης δράσης ή σχεδίου.
Αναγνώριση	Καθιέρωση της ταυτότητας μίας κατάστασης συστήματος ή υποσυστημάτων (στοιχείο, component). Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει συγκεκριμένες διαδικασίες για την ανάκτηση των πληροφοριών και την έρευνα των λεπτομερειών. «Η αναγνώριση» είναι πιο λεπτομερής από «την εκτίμηση».

Συντήρηση	Στήριξη μιας συγκεκριμένης λειτουργικής κατάστασης. (Αυτό είναι διαφορετικό από τη συντήρηση που είναι γενικά μια αποκομμένη από τη ροή των ενεργειών δραστηριότητα.)
Παρακολούθηση	Παρακολούθηση της κατάστασης των συστημάτων στην πάροδο του χρόνου, ή παρακολούθηση της ανάπτυξη ενός συνόλου παραμέτρων.
Παρατήρηση	Έρευνα και ανάγνωση συγκεκριμένων τιμών μέτρησης των ενδείξεων των συστημάτων.
Σχεδιασμός	Διατύπωση ή οργάνωση ενός συνόλου ενεργειών με το οποίο ένας στόχος θα επιτευχθεί επιτυχώς. Το σχέδιο μπορεί να είναι βραχυπρόθεσμο ή μακροπρόθεσμο.
Καταγραφή	Καταγραφή γεγονότων συστημάτων, μετρήσεων, κ.λπ.
Ρύθμιση	Αλλαγή ταχύτητας ή κατεύθυνσης ενός συστήματος ελέγχου προκειμένου να επιτευχθεί ένας στόχος. Ρύθμιση ή τοποθέτηση των συστατικών ή υποσυστημάτων για να επιτευθεί μια κατάσταση.
Σάρωση (έλεγχος)	Γρήγορη ή ταχεία αναθεώρηση των ενδείξεων ή άλλης πηγής πληροφοριών για να λάβει μια γενική εντύπωση της κατάστασης ενός συστήματος/υποσυστήματος.
Επιβεβαίωση	Επιβεβαίωση της ακρίβεια ενός όρου ή μιας μέτρησης συστημάτων, είτε με επιθεώρηση είτε με δοκιμή. Αυτό περιλαμβάνει επίσης ανατροφοδότηση από προγενέστερες διαδικασίες.

Πηγή :Chandler T. Faith, Chang Y.H. James, Mosleh, AliMarble L. Julie, Boring L. Ron, Gertman I. David, (2006): *Human Reliability Analysis Methods Selection Guidance for NASA*

Πίνακας 3-9: Μήτρα για τον καθορισμό των HEPs για τις γνωστικών δραστηριότητες της ανάλυσης CREAM

Τύπος βασικής πιθανότητας λάθους για κάθε τύπο δραστηριότητας	Τύπος ανθρώπινης Δραστηριότητας													
	Παρατήρηση			Ερμηνεία			Σχεδιασμός		Εκτέλεση					
	O1	O2	O3	I	I2	I3	P1	P2	E1	E2	E3	E4	E5	
	1E-3	3E-3	3E-3	2E-1	1E-2	1E-2	1E-2	1E-2	3E-3	3E-3	5E-4	3E-3	3E-2	
Συντονισμός														
Επικοινωνία														
Σύγκριση														
Διάγνωση														
Εκτίμηση														
Εκτέλεση														
Αναγνώριση														
Συντήρηση														
Παρακολούθηση														
Παρατήρηση														
Σχεδιασμός														
Καταγραφή														
Ρύθμιση														
Σάρωση														
Επιβεβαίωση														

*Σκιαγραφημένα κελιά αποτελούν τα πιθανά λάθη για κάθε κατηγορία δραστηριότητας

BHEP: Basic human error probability

- O1: Παρατήρηση λάθους αντικειμένου
 O2: Λάθος αναγνώρισης
 O3: Δεν έγινε παρατήρηση
 I1: Λάθος διάγνωση
 I2: Λάθος απόφαση
 I3: Καθυστερημένη ερμηνεία
 P1: Λάθος προτεραιότητα
 P2: Ανεπαρκές σχέδιο
 E1: Λάθος ενέργεια
 E2: Ενέργεια σε λάθος χρόνο
 E3: Ενέργεια σε λάθος αντικείμενο
 E4: Ενέργεια εκτός ακολουθίας
 E5: Έλλειψη δράσης

Πηγή: Chandler T. Faith, Chang Y.H. James, Mosleh, AliMarble L. Julie, Boring L. Ron, Gertman I. David, (2006): *Human Reliability Analysis Methods Selection Guidance for NASA*.

Πίνακας 3-10: Συντελεστές (PSF) για τη ρύθμιση των Βασικών HEPs.

Τύπος δραστηριότητας	Κατάσταση συντελεστών (PSF)	Τύπος δραστηριότητας			
		OBS	INT	PLAN	EXE
Επάρκεια οργάνωσης	Πολύ αποτελεσματική	1.0	1.0	0.8	0.8
	Αποτελεσματική	1.0	1.0	1.0	1.0
	Αναποτελεσματική	1.0	1.0	1.2	1.2
	Έλλειψη	1.0	1.0	2.0	2.0
Συνθήκες εργασίας	Πλεονεκτικές	0.8	0.8	1.0	0.8
	Συμβατές	1.0	1.0	1.0	1.0
	Ασύμβατες	2.0	2.0	1.0	2.0
Επάρκεια αλληλεπίδρασης ανθρώπου και μηχανής και λειτουργική υποστήριξη	Υποστηρικτική	0.5	1.0	1.0	0.5
	Αρκετή	1.0	1.0	1.0	1.0
	Ανεκτή	1.0	1.0	1.0	1.0
	Ακατάλληλη	5.0	1.0	1.0	2.0
Διαθεσιμότητα διαδικασιών και σχεδίων	Κατάλληλη	0.8	1.0	0.5	0.8
	Αποδεκτή	1.0	1.0	1.0	1.0
	Ακατάλληλη	2.0	1.0	5.0	
Αριθμός ταυτόχρονων στόχων	Λιγότερα της χωρητικότητας	1.0	1.0	1.0	1.0
	Ίση με τη χωρητικότητα	1.0	1.0	1.0	1.0
	Περισσότερα	2.0	2.0	5.0	2.0
Διαθεσιμότητα χρόνου	Αρκετή	0.5	0.5	0.5	0.5
	Μερικές φορές όχι αρκετή	1.0	1.0	1.0	1.0
	Μόνιμα όχι αρκετή	5.0	5.0	5.0	5.0
Ώρα μέρας	Μέρα	1.0	1.0	1.0	1.0
	Νύχτα	1.2	1.2	1.2	1.2
Επάρκεια εκπαίδευσης και προετοιμασίας	Υψηλή εμπειρία και καλή εκπαίδευση	0.8	0.5	0.5	0.8
	Αρκετή εκπαίδευση, λίγη ευπειδία	1.0	1.0	1.0	1.0
	Ανεπαρκής	2.0	5.0	5.0	2.0
Ποιότητα συνεργασίας πληρώματος	Πολύ αποτελεσματική	0.5	0.5	0.5	0.5
	Αποτελεσματική	1.0	1.0	1.0	1.0
	Αναποτελεσματική	1.0	1.0	1.0	1.0

	Ελλειπής	2.0	2.0	2.0	5.0
--	----------	-----	-----	-----	-----

Πηγή: Chandler T. Faith, Chang Y.H. James, Mosleh, AliMarble L. Julie, Boring L. Ron, Gertman I. David, (2006): *Human Reliability Analysis Methods Selection Guidance for NASA*.

Πίνακας 3-11: Όρια αβεβαιότητας για HEPs σύμφωνα με την ανάλυση CREAM

Γνωστική δραστηριότητα	Γενικός τύπος αποτυχίας	Κάτω όριο (5 εκατοστό)	Βασική τιμή	Πάνω όριο (95 εκατοστό)
Παρατήρηση	O1. Παρατήρηση λάθους	$3.0 \cdot 10^{-4}$	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$3.0 \cdot 10^{-3}$
	O2. Λάθος αναγνώριση	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$3.0 \cdot 10^{-3}$	$9.0 \cdot 10^{-3}$
	O3. Δεν έγινε παρατήρηση	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$3.0 \cdot 10^{-3}$	$9.0 \cdot 10^{-3}$
Ερμηνεία	I1. Λάθος	$9.0 \cdot 10^{-2}$	$2.0 \cdot 10^{-1}$	$6.0 \cdot 10^{-1}$
	I2. Λάθος απόφαση	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$1.0 \cdot 10^{-2}$	$1.0 \cdot 10^{-1}$
	I3. Καθυστερημένη ερμηνεία	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$1.0 \cdot 10^{-2}$	$1.0 \cdot 10^{-1}$
Σχεδιασμός	P1. Λάθος προτεραιότητα	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$1.0 \cdot 10^{-2}$	$1.0 \cdot 10^{-1}$
	P2. Ανεπαρκές σχέδιο	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$1.0 \cdot 10^{-2}$	$1.0 \cdot 10^{-1}$
	E1. Ενέργεια λάθος τύπου	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$3.0 \cdot 10^{-3}$	$9.0 \cdot 10^{-3}$
	E2. Ενέργεια σε λάθος χρόνο	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$3.0 \cdot 10^{-3}$	$9.0 \cdot 10^{-3}$
	E3. Ενέργεια σε λάθος	$5.0 \cdot 10^{-5}$	$5.0 \cdot 10^{-4}$	$5.0 \cdot 10^{-3}$
	E4. ενέργεια εκτός ακολουθίας	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$3.0 \cdot 10^{-3}$	$9.0 \cdot 10^{-3}$
	E5. Έλλειψη ενέργειας	$2.5 \cdot 10^{-2}$	$3.0 \cdot 10^{-2}$	$4.0 \cdot 10^{-2}$

Πηγή: Chandler T. Faith, Chang Y.H. James, Mosleh, AliMarble L. Julie, Boring L. Ron, Gertman I. David, (2006): *Human Reliability Analysis Methods Selection Guidance for NASA*.

Τα αποτελέσματα της τεχνικής CREAM είναι πιο αξιόπιστα από αυτά της τεχνικής NARA. Άλλα πλεονεκτήματα είναι η ευκολία προσαρμογής σε συγκεκριμένες εννοιολογικές καταστάσεις, η ευκολία ενσωμάτωσης των αποτελεσμάτων

σε διαδικασίες ασφαλείας που χρησιμοποιείται και η ευκολία αναπαραγωγής της μεθόδου.¹⁹

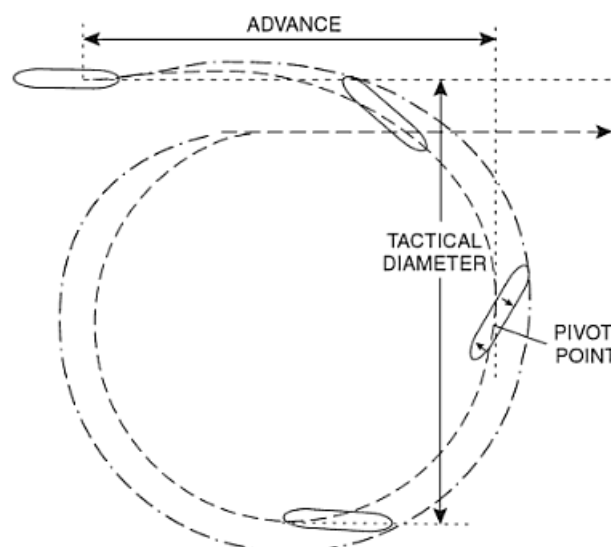
Τέλος, βασικά μειονεκτήματα της τεχνικής CREAM περιλαμβάνουν τα εξής:

1. Η τεχνική απαιτεί ένα υψηλό επίπεδο χρήσης πόρων, συμπεριλαμβανομένου και του υψηλού χρόνου ολοκλήρωσης της ανάλυσης
2. Απαιτεί επίσης μεγάλη εμπειρία στον τομέα των ανθρώπινων παραγόντων για τα αρχικά στάδια της ανάλυσης (HF) προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η τεχνική επιτυχώς και μπορεί επομένως να εμφανιστεί μάλλον σύνθετη σε άπειρους χρήστες.
3. Δεν περιλαμβάνει πιθανά μέσα με τα οποία τα προσδιορισμένα λάθη μπορούν να μειωθούν.
4. Ο χρόνος που απαιτείται για την εφαρμογή της τεχνικής είναι πολύ μεγάλος (αρκετές εβδομάδες).

3.2.3. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΕΜΠΟΔΙΟΥ

Για την αποφυγή του εμποδίου μετά τον εντοπισμό του από το σόναρ, το πλοίο καλείται να πραγματοποιήσει κυκλικό ελιγμό (τουλάχιστον 270°) εντός της ελάχιστης δυνατής απόστασης με βάση το μήκος του και για δεδομένη ταχύτητα πλεύσης.

Εικόνα 3-1: Κυκλικός ελιγμός αποφυγής εμποδίου.



Πηγή: N. Cockcroft, J. N. F. Lameijer, 2012: *A Guide to the Collision Avoidance Rules*, 7th edition, (σελ 174)

¹⁹ Πηγή: <http://en.wikipedia.org/wiki/CREAM>

Αυτό που αρχικά ενδιαφέρει είναι η απόσταση που χρειάζεται το πλοίο για να ξεκινήσει τον ελιγμό (Advance Distance). Αυτή είναι ίδια σε όλες τις περιπτώσεις και ανεξάρτητη από τον ελιγμό που το πλοίο σχεδιάζει να πραγματοποιήσει. Ορίζεται από τους N. Cockcroft, J. και N. F. Lameijer (2012) ως συνάρτηση του μήκους του πλοίου και συγκεκριμένα εκτιμάται ως 3 με 4,5 μήκη πλοίου. Στη συγκεκριμένη μελέτη θεωρείται ότι η απόσταση αυτή είναι ίση με 4 φορές το μήκος του πλοίου.

Με βάση τα παραπάνω το οριακό μήκος πλοίου, L_M , ορίζεται ως αυτό που η εγκατάσταση του συστήματος σόναρ επιτρέπει τόσο τον έγκαιρο εντοπισμό του εμποδίου και την λήψη απόφασης για την έναρξη του ελιγμού αποφυγής του όσο και την επιτυχή ολοκλήρωση του ελιγμού αποφυγής του.

Ο καθορισμός του οριακού μήκους του πλοίου βασίζεται στον συνολικό διαθέσιμο χρόνο για την αποφυγή του εμποδίου, T , που δίδεται από την σχέση:

$$T = T_S + T_M + T_H \quad (3-11)$$

όπου:

T_M = απαιτούμενος χρόνος για τον εντοπισμό του εμποδίου,

T_H = απαιτούμενος χρόνος ανθρώπινης αντίδρασης μετά τον εντοπισμό του εμποδίου.

T_S = απαιτούμενος χρόνος για την επιτυχή εφαρμογή του κυκλικού ελιγμού αποφυγής του εμποδίου μετά τον εντοπισμό του και τη λήψη απόφασης για την έναρξη του ελιγμού αποφυγής του.

Επίσης:

$$T_S = 4 * \frac{L}{V} \quad (3-12)$$

L = ολικό μήκος του πλοίου (m)

και V = ταχύτητα πλεύσης (m/s)

Ο ελάχιστος εκτιμώμενος χρόνος ανθρώπινης αντίδρασης, T_H , μετά τον εντοπισμό του εμποδίου για την έναρξη του ελιγμού αποφυγής του ορίζεται στα 10 δευτερόλεπτα. Ο ελάχιστος χρόνος εντοπισμού από το σύστημα είναι ίσος με το χρόνο που χρειάζεται τουλάχιστον ένας παλμός (ping) να διανύσει την απόσταση των 900 μέτρων προς δύο κατευθύνσεις, και να γίνει η επεξεργασία αυτού από το σύστημα, ο οποίος ορίζεται ίσος με 1.7 δευτερόλεπτα. Συνεπώς ο ελάχιστος χρόνος εντοπισμού από το σύστημα πρέπει να είναι $T_M = 1.7$ δευτερόλεπτα. Επιπλέον αν υποθέσουμε

ότι χρειάζονται τουλάχιστον 3 παλμοί για τον ασφαλή εντοπισμό του εμποδίου τότε $T_M = 5.1$ s.

Επίσης η μέση ταχύτητα πλεύσης ορίζεται στους 14 κόμβους²⁰ και η εμβέλεια του σόναρ ορίζεται στα 900 μέτρα (m) με βάση την διαθέσιμη τεχνολογία. Για ταχύτητα πλεύσης ίση με 14 κόμβους (7.2 m/s), ο χρόνος που απαιτείται για να διανύσει 900 μέτρα (m) είναι 125 δευτερόλεπτα (s).

Συνεπώς, ο ελάχιστος απαιτούμενος χρόνος T_S στον οποίο το πλοίο δύναται να πραγματοποιήσει ελιγμό αποφυγής με ασφάλεια δίνεται με βάση την (3-11):

$$125 - (10 + 5.1) = 109.9 \text{ s}$$

Σύμφωνα με τον τύπο υπολογισμού (3-12) και λύνοντας ως προς L_M , το οριακό μήκος πλοίου για το οποίο ο χρόνος είναι μεγαλύτερος ή ίσος με 109.9 δευτερόλεπτα είναι:

$$\frac{109.9 * 7.2}{4} = 197.8 \text{ m}$$

Συνεπώς για πλοία ολικού μήκους μεγαλύτερου των 197.8 μέτρων και ταχύτητα πλεύσης 14 κόμβων δεν είναι εφικτή η αποφυγή του εμποδίου και η εγκατάσταση του σόναρ κρίνεται τεχνικά αναποτελεσματική στην μείωση του ρίσκου προσάραξης και επαφής²¹. Η κοντινότερη κατηγορία πλοίων για την οποία υπάρχει βελτίωση με βάση τα παραπάνω είναι αυτή των Handymax, με σύνηθες μήκος ίσο μέχρι 183 μέτρα και μέγιστο ολικό μήκος μέχρι και τα 200 περίπου μέτρα.

Αντίστοιχα μπορούμε να υπολογίσουμε την αναγκαία απόσταση εντοπισμού για την οποία ένα πλοίο με μήκος μέχρι και 300 μέτρα (κατηγορία Suezmax), θα μπορούσε να πραγματοποιήσει στροφή 270 μοιρών και να αποφύγει με ασφάλεια τον κίνδυνο.

Με βάση την (3-12) ο χρόνος που χρειάζεται ένα πλοίο 300 μέτρων για την ασφαλή πραγματοποίηση ελιγμού με ταχύτητα 15 κόμβους (7.71m/s) είναι:

$$\frac{4 * 300}{7.71} = 155.64 \text{ s}$$

²⁰ Μέση υπηρεσιακή ταχύτητα

²¹ Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία του στόλου την περίοδο 2004 -2007 και τα στοιχεία περιστατικών προσάραξης, το γεγονός ότι το σόναρ δε παρέχει καμία βελτίωση σε πλοία μήκους μεγαλύτερου των 228 μέτρων, πολύ λίγο επηρεάζει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων όσον αφορά τη συνολική βελτίωση του ρίσκου προσάραξης για τον στόλο.

Σύμφωνα με την (3-11) ο χρόνος ανθρώπινης αντίδρασης είναι 10 s συνεπώς ο χρόνος ανταπόκρισης του πηδαλίου συν το χρόνο ανθρώπινης αντίδρασης είναι 165.64 s. Σε αυτό το χρόνο το πλοίο διανύει 1277 μέτρα με ταχύτητα 7.71 m/s.

Ο ελάχιστος χρόνος εντοπισμού από το σύστημα είναι ίσος με το χρόνο που χρειάζεται τουλάχιστον ένας παλμός (ping) να επιστρέψει και να γίνει επεξεργασία από το σύστημα ο οποίος θεωρείται ίσος με 2.23 δευτερόλεπτα²² (s). Συνεπώς ο ελάχιστος χρόνος εντοπισμού από το σύστημα πρέπει να είναι $T_M = 2.23$ s. Επιπλέον αν υποθέσουμε ότι χρειάζονται τουλάχιστον 3 παλμοί για τον ασφαλή εντοπισμό του εμποδίου τότε $T_M = 6.7$ s.

Επίσης λύνοντας τη (3-11) ως προς T^{23} :

$$155.64 + 10 + 6.7 = 172.4 \text{ s}$$

Με ταχύτητα 7.71 m/s η απόσταση που θα διανύσει σε 172.4 δευτερόλεπτα (s) είναι $7.71 * 172.4 = 1329$ m. Επομένως η μέγιστη απόσταση εντοπισμού του συστήματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 1329 μέτρα ώστε το σύστημα να είναι αποτελεσματικό σε πλοία μέχρι 300 μέτρα (m) ολικό μήκος.

Τέλος μπορούμε να υπολογίσουμε την αναγκαία απόσταση εντοπισμού για την οποία ένα πλοίο με μήκος μέχρι και 340 μέτρα (κατηγορία VLCC), θα μπορούσε να πραγματοποιήσει στροφή έως 270 μοιρών και να αποφύγει με ασφάλεια τον κίνδυνο.

Με βάση την (3-12) ο χρόνος που χρειάζεται ένα πλοίο 340 μέτρων για την ασφαλή πραγματοποίηση ελιγμού με ταχύτητα 15 κόμβους $(7.71 \text{ m/s})^{24}$ είναι:

$$\frac{4 * 340}{7.71} = 176.39 \text{ s}$$

Και πάλι λύνοντας τη (3-11) ως προς T:

$$T = 176.39 + 10 + 7.65 = 194.04$$

Με ταχύτητα 7.71 m/s η απόσταση που θα διανύσει σε 194.04 δευτερόλεπτα (s) είναι $7.71 * 194.04 = 1496.04$ m. Επομένως η μέγιστη απόσταση εντοπισμού του

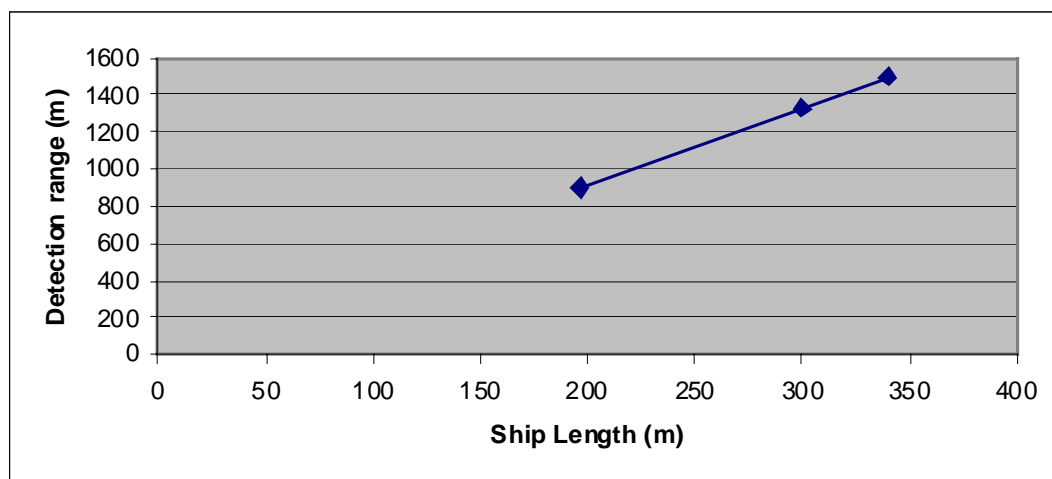
²² Ο χρόνος εντοπισμού από το σύστημα θεωρείται ότι αυξάνεται αναλογικά με την απόσταση που διανύει το σήμα η οποία θεωρείται τουλάχιστον ίση με την απόσταση που διανύει το πλοίο σε χρόνο $T_S + T_H$.

²⁴ Μέση υπηρεσιακή ταχύτητα για πλοία μεγέθους VLCC.

συστήματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 1496 μέτρα ώστε το σύστημα να είναι αποτελεσματικό σε πλοία μέχρι 340 μέτρα (m) ολικό μήκος.

Στο παρακάτω διάγραμμα συνοψίζεται η σχέση μέγιστης απόστασης εντοπισμού σόναρ που απαιτείται και του μήκους κάθε κατηγορίας πλοίου με βάση τα παραπάνω.

Διάγραμμα 3-6: Απαιτούμενη εμβέλεια σόναρ με βάση το μήκος



Πηγή: Από ανάλυση.

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα η σχέση μεταξύ του ολικού μήκους πλοίου και της αναγκαίας απόστασης εντοπισμού είναι σχεδόν ανάλογη.

Εκτός από την απόσταση που χρειάζεται το πλοίο για την εκκίνηση της στροφής πρέπει να υφίσταται και επαρκής χώρος για την ασφαλή ολοκλήρωση του ελιγμού. Αυτή η απόσταση ορίζεται ως τακτική διάμετρο (TD) και αντιστοιχεί την απόσταση που χρειάζεται σε βάθος βυθίσματος ώστε το πλοίο να πραγματοποιήσει τον ελιγμό.

Σύμφωνα με έρευνα της ABS (2006, σελ 34) η τακτική διάμετρος που είναι αναγκαία για τη πραγματοποίηση στροφής 180 μοιρών για ένα τυπικό VLCC είναι ίση με 3.21 φορές το μήκος του και με ταχύτητα πλεύσης μεταξύ 6-8 κόμβων.

Για βύθισμα ίσο με 19.9 μέτρα πρέπει να υφίσταται πλάτος σε βάθος τουλάχιστον 20 μέτρων ίσο με:

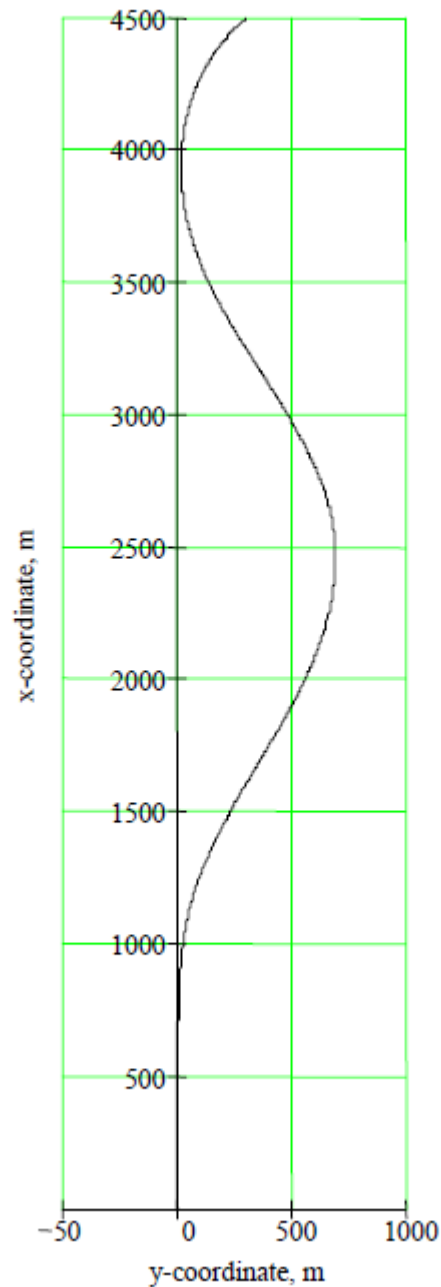
$$3.21 * 340 = 1091.4 \text{ m} \quad (3-13)$$

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι δεν είναι δυνατόν η πραγματοποίηση ελιγμού σε περικλειστά ύδατα (όπως κανάλια).

Σε αυτή την περίπτωση ένας εναλλακτικός τύπος ελιγμού μπορεί να πραγματοποιηθεί (ZigZag Maneuver) που δεν απαιτεί πλήρη στροφή του πλοίου (90 μοίρες και άνω) αλλά μια στροφή μόνο 10-20 μοίρες για την αποφυγή του εμποδίου και επαναφορά στην αρχική του πορεία. Αυτός ο τύπος ελιγμού αποτυπώνεται στο παρακάτω σχήμα:

Εικόνα 3-2: Τροχιά ελιγμού Zig-Zag

20/20 Zig-zag Maneuver: Trajectory



Πηγή: ABS 2006: *Vessel maneuverability study*

Σύμφωνα με την έρευνα της ABS (2006) χρειάζεται μόλις 1.67 φορές το μήκος του πλοίου μέχρι το πλοίο να επιτύχει στροφή 20 μοιρών ενώ το πλάτος που απαιτείται είναι σαφώς μικρότερο από την περίπτωση στροφής για αλλαγή πορείας του πλοίου.

Η εμβέλεια του σόναρ που απαιτεί σε αυτή την περίπτωση για ένα VLCC με ταχύτητα 10 κόμβους²⁵ μπορεί να υπολογιστεί ως ακολούθως.

$$\frac{1.67 * 340}{5.14} = 110.46 \text{ s}$$

Λύνοντας τη (3-11) ως προς T:

$$110.46 + 10 + 5.1 = 125.56 \text{ s}$$

Με ταχύτητα 5.14 m/s η απόσταση που θα διανύσει σε 125.56 δευτερόλεπτα (s) είναι $5.1 * 125.56 = 645.41 \text{ m}$. Επομένως η μέγιστη απόσταση εντοπισμού του συστήματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 646 μέτρα ώστε το σύστημα να είναι αποτελεσματικό σε πλοία μέχρι 340 μέτρα (m) ολικό μήκος.

Όπως φαίνεται για την πραγματοποίηση αυτού του ελιγμού ακόμη και στην περίπτωση ενός VLCC καλύπτεται από την υπάρχουσα εμβέλεια του σόναρ με μέγιστη απόσταση εντοπισμού τα 900 μέτρα, ενώ και το απαιτούμενο πλάτος σε ύψος βυθίσματος είναι σαφώς μικρότερο σε σύγκριση με τον ελιγμό για αλλαγή πορείας.

Σε πολλές περιπτώσεις όμως λόγω των συνθηκών που επικρατούν και της φύσης του εμποδίου μπορεί το πλοίο να μην έχει την επιλογή πραγματοποίησης ελιγμού 20 μοιρών και επαναφορά στην αρχική του πορεία αλλά να είναι αναγκαία η αλλαγή πορείας για την πλήρη αποφυγή αυτού.²⁶

Παρόλα αυτά η βελτίωση στο ρίσκο προσάραξης πρέπει να υπολογιστεί με βάση τις λιγότερο ευνοϊκές συνθήκες και γι' αυτό τον σκοπό εξετάζεται μόνο η βελτίωση που παρέχεται στην περίπτωση ανάγκης πραγματοποίησης ελιγμού αλλαγής πορείας.

²⁵ Μια μικρότερη ταχύτητα έχει υιοθετηθεί ώστε να ανταποκρίνεται στα όρια ταχύτητας που έχουν θεσπιστεί για κανάλια και περικλειστα έσαττα.

²⁶ Σε περίπτωση που δεν υφίστανται οι ανάλογες συνθήκες για την πραγματοποίηση αλλαγής πορείας τότε το εμπόδιο θεωρείται ότι δεν μπορεί να αποφευχθεί.

4. ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΑΡΑΞΗΣ

Για τη διεξαγωγή της ανάλυσης έγινε διαχωρισμός σε τρία σενάρια. Τα διάφορα σενάρια γίνονται με βάση τη κατηγορία μεγέθους του πλοίου για μία πιο αξιόπιστη παρουσίαση της βελτίωσης που επιφέρει το σόναρ σε κάθε κατηγορία μεγέθους.

Το σενάριο A1 αναφέρεται σε περιστατικό εμφάνισης εμποδίου μπροστά από το πλοίο μετά την εγκατάσταση σε αυτό του συστήματος εμπρόσθιου σόναρ. Το μήκος του πλοίου θεωρείται 197 μέτρα και η ενεργή εμβέλεια του συστήματος θεωρείται 900 μέτρα. Αντίστοιχα το σενάριο A2 αντιστοιχεί σε πλοία με μήκος 300 μέτρων και ενεργή εμβέλεια σόναρ 1329 μέτρα, ενώ το σενάριο A3 σε πλοία μήκους 340 μέτρων και ενεργή εμβέλεια σόναρ 1496 μέτρα.

Πίνακας 4-1: Σενάρια βελτίωσης προσαράξεων και επαφών

Σενάριο	A1	A2	A3
Τύπος κινδύνου	Προσάραξη ή επαφή σε εμπόδιο	Προσάραξη ή επαφή σε εμπόδιο	Προσάραξη ή Επαφή σε εμπόδιο
Κατηγορίες μεγέθους πλοίων	Μέχρι 197 μέτρα μήκος	Μέχρι 300 μέτρα μήκος	Μέχρι 340 μέτρα μήκος
Εκτιμώμενο ρίσκο	0.0833 τόνοι ανά πλοίο έτος	1.055 τόνοι ανά πλοίο έτος	4.707 τόνοι ανά πλοίο έτος

Πηγή: Από ανάλυση

4.1. ΣΕΝΑΡΙΟ A1

Το σενάριο A1 αντιστοιχεί σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας του πλοίου (δηλαδή χωρίς απώλεια πρόωσης) και αναφέρεται στην εμφάνιση εμποδίου μπροστά από το πλοίο όπως ύφαλος, βραχώδεις ακτές, πυλώνες, κυματοθραύστες ή άλλα φυσικά και τεχνητά εμπόδια που μπορούν να οδηγήσουν το πλοίο σε προσάραξη ή επαφή (Powered Grounding/Contact).

Για το σενάριο αυτό εφαρμόζονται οι ακόλουθες υποθέσεις:

1. Υπάρχουν τουλάχιστον δύο άτομα στη γέφυρα ανά βάρδια.
2. Στη νυχτερινή βάρδια υφίστανται αυξημένα επίπεδα κούρασης και άγχους.

3. Το πλήρωμα συμβουλευεται τα όργανα πλοήγησης σε τακτά χρονικά διαστήματα, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων σόναρ και ραντάρ.
4. Επιπλέον έχει προβλεφθεί οπτικός και ηχητικός συναγερμός προειδοποίησης του πληρώματος της γέφυρας για επικείμενη προσάραξη, ως επιπλέον μέτρο ασφαλείας.
5. Το πηδάλιο του πλοίου λειτουργεί μέσω του αυτόματου πιλότου.
6. Οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες (κυματισμός, άνεμος, υπόγεια ρεύματα, ορατότητα) κρίνονται καλές.
7. Το εμπόδιο εμφανίζεται μπροστά από το πλοίο, ενώ το τελευταίο κινείται ευθύγραμμα προς αυτό.

Το ολικό μήκος του πλοίου ορίστηκε ίσο με 197 μέτρα, ενώ η μέση ταχύτητα πλεύσης ορίστηκε στους 14 κόμβους (knots). Η επιλογή του μήκους πλοίου και της μέσης ταχύτητας υπαγορεύεται από την ανάγκη προσδιορισμού του χρόνου για ένα πλοίο που αντιπροσωπεύει την κατηγορία μεγέθους που εξετάζεται. Για αυτό το σκοπό επιλέχθηκε το άνω άκρο της κατηγορίας μεγέθους Handymax. Τέλος, η μεγιστη εμβέλεια εντοπισμού του σόναρ, ορίζεται στα 900 μέτρα, ενώ υφίσταται ακουστικός συναγερμός του οποίου η ενεργοποίηση γίνεται σε απόσταση μεταξύ πλοίου και εμποδίου ίση με 875.52 μέτρα²⁷.

Με βάση αυτά τα δεδομένα ταχύτητας του πλοίου και εμβέλειας εντοπισμού του σόναρ, ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ εντοπισμού του εμποδίου και προσάραξης (T) προσεγγίζει τα 125 δευτερόλεπτα (s).

Ο ελάχιστος απαιτούμενος χρόνος T_s σε δευτερόλεπτα (s) για την αποφυγή εμποδίου από πλοίο ταχύτητας V σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/s) και μήκους L σε μέτρα (m) δίδεται από την σχέση:

$$T_s = 4 * \frac{L}{V} \quad (4-1)$$

Για πλοίο ταχύτητας 14 κόμβων (7.2 m/s) και μήκους 197 μέτρων (m)

$$T_s = 4 * \frac{197}{7.2} = 109.4 \text{ s}$$

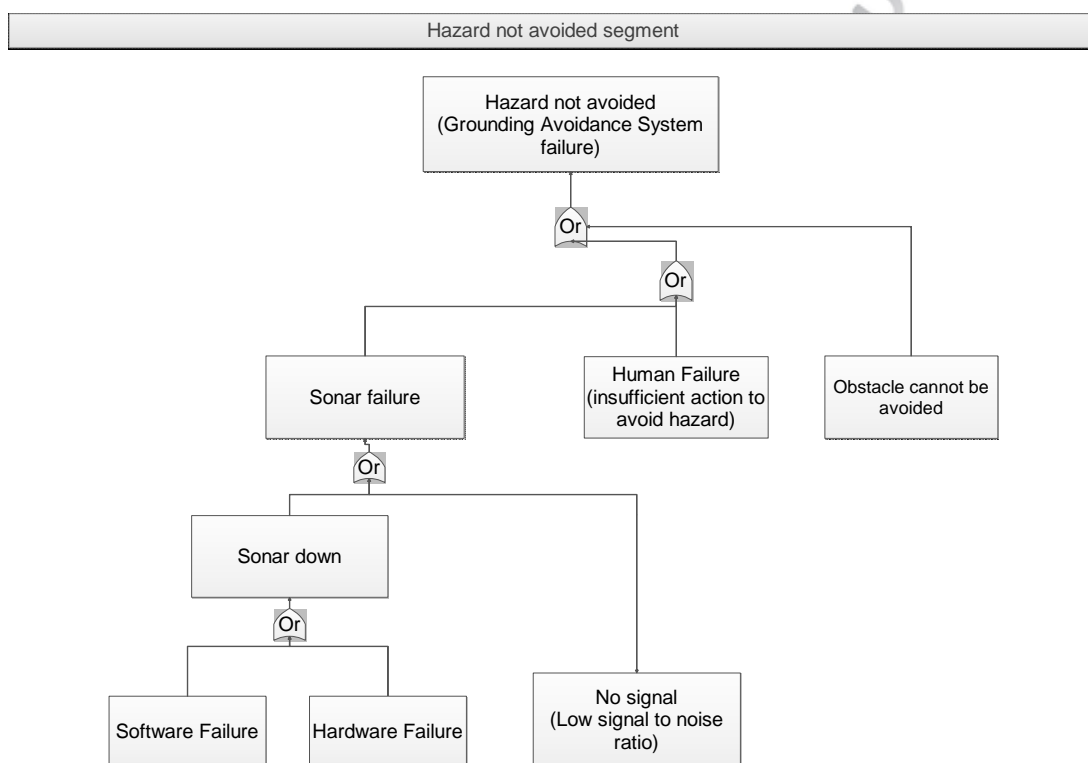
²⁷ Η ρύθμιση για ενεργοποίηση συναγερμού του σόναρ στα όρια της μέγιστης εμβέλειάς του (δηλ_1021 αυξάνει την πιθανότητα λάθους συναγερμών σε συνθήκες συνθήκες και ως εκ τούτου η απόσταση των 950 μέτρων κρίνεται καταλληλότερη.

Επιπρόσθετα, ο χρόνος που απαιτείται για την αντίδραση του πληρώματος του πλοίου (T_H) ορίζεται σε 10 δευτερόλεπτα²⁸

Με βάση αυτά τα δεδομένα, ανθρώπινης αντίδρασης και ανταπόκρισης του πλοίου, το πλεόνασμα χρόνου (T_M) που παρέχει το σόναρ υπό αυτές τις συνθήκες λειτουργίας για την αποτροπή της προσάραξης ισούται με:

$$T_M = T - (T_S + T_H) = 125 - (109.4 + 10) = 5.6 \text{ s} \quad (4-2)$$

Διάγραμμα 4-1 : Δέντρο αποτυχίας αποφυγής κινδύνου



Πηγή: Από ανάλυση

Με βάση την ανάλυση δένδρου συμβάντων του παραπάνω διαγράμματος, η συνολική συχνότητα προσάραξης δίνεται από τη σχέση:

$$P_{(\text{hazard not avoided})} = (P_{(\text{Sonar Failure})} + P_{(\text{insufficient action})}) + P_{(\text{Obstacle unavoidable})} \quad (4-3)$$

όπου,

²⁸ Σύμφωνα με γνώμη εμπειρογνώμονα ο χρόνος θεωρείται υπεραρκετός για τη λήψη μέτρων αποφυγής δεδομένου ότι ακολουθούνται τα πρότυπα ασφαλούς διαχείρισης.

1. $P_{(\text{hazard not avoided})}$ είναι το ενδεχόμενο ο κίνδυνος να μην αποφευχθεί παρά την εγκατάσταση του συστήματος σόναρ.
2. $P_{(\text{sonar failure})}$ είναι το ενδεχόμενο μην εντοπιστεί το εμπόδιο από το σύστημα σόναρ.
3. $P_{(\text{insufficient action})}$ είναι το ενδεχόμενο να μην γίνουν οι απαραίτητες ενέργειες για την αποφυγή του κινδύνου μετά τον εντοπισμό του.
4. $P_{(\text{obstacle unavoidable})}$ είναι το ενδεχόμενο άλλοι παράγοντες να μην επιτρέπουν την αποφυγή του εμποδίου με ασφάλεια.

4.1.1. ΑΠΟΤΥΧΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΣΟΝΑΡ $P_{(\text{Sonar Failure})}$

Τα βασικά ενδεχόμενα μη εντοπισμού του εμποδίου από το σόναρ είναι α) το σύστημα να μην λειτουργεί, β) να μην εντοπιστεί ο κίνδυνος λόγω χαμηλής αναλογίας σήματος/θορύβου. Τα ενδεχόμενα εκφράζονται από τη παρακάτω σχέση:

$$P_{(\text{SonarFailure})} = P_{(\text{SonarDown})} + P_{(\text{No Signal})} \quad (4-4)$$

όπου,

α. $P_{(\text{Sonar Down})}$ είναι η πιθανότητα το σύστημα να μη λειτουργεί τη χρονική στιγμή t η οποία ισοδυναμεί με τη μη διαθεσιμότητα του συστήματος ίση με $q = D_T / \text{MTBF}$, όπου D_T είναι ο χρόνος που χρειάζεται για τον εντοπισμό και την επιδιόρθωση του συστήματος και MTBF είναι ο μέσος χρόνος μεταξύ αποτυχιών του συστήματος.

Η συνολική πιθανότητα το σύστημα να μην είναι διαθέσιμο σε μια τυχαία χρονική στιγμή είναι το άθροισμα των πιθανοτήτων μη διαθεσιμότητας του υλικού και του λογισμικού.

Η πιθανότητα μη διαθεσιμότητας του υλικού διαχωρίζεται σε βρεχόμενο και μη βρεχόμενο μέρος. Για το βρεχόμενο μέρος η πιθανότητα να μην είναι διαθέσιμο²⁹ είναι ίση με $48/40000 = 0.0012$ ενώ για το μη βρεχόμενο μέρος είναι ίση με $48/6000 = 0.008$ και η συνολική πιθανότητα να μην είναι διαθέσιμο είναι ίση με $0.0012 + 0.008 = 0.0092$ για το υλικό μέρος.

²⁹ Η επισκευή του βρεχόμενου μέρους θεωρείται ότι γίνεται εν πλω όπως και του μη βρεχόμενου μέρους λόγω στεγανοποίησής του μέσα στο βολβοειδές τόξο.

Για το λογισμικό η πιθανότητα να μην είναι διαθέσιμο (να μην λειτουργεί) σε μια χρονική στιγμή t είναι $2/1000 = 0.002$

Συνεπώς η συνολική πιθανότητα το σύστημα να μην λειτουργήσει κατά τη εμφάνιση του εμποδίου ($P_{(\text{system fail})}$) είναι ίση με $1 - ((1 - 0.0092 * (1 - 0.002))) = 0.0111$

β. $P_{(\text{No Signal})}$ είναι η πιθανότητα ο κίνδυνος να μην εντοπιστεί εξαιτίας χαμηλής αναλογίας σήματος-θορύβου (χαμηλό SNR). Υποθέτοντας ότι η πιθανότητα εντοπισμού ανά παλμό (P_{ing}) είναι σταθερή και ίση με 0.5 και ότι ο χρόνος ανάμεσα σε δύο παλμούς είναι ίσος με 1.7 δευτερόλεπτα, τότε με βάση το χρόνο που έχει το σύστημα στη διάθεσή του για τον εντοπισμό του κινδύνου, θα παράγει έναν αριθμό παλμών ίσο με $5.6/1.7 = 3$ παλμούς.

$$(1 - P_{(\text{pulse})})^n = (1 - 0.5)^3 = 0.125 \quad (4-5)$$

όπου $P_{(\text{pulse})}$ η πιθανότητα να εντοπιστεί σε ένα παλμό και n ο αριθμός των παλμών³⁰

Η ολική πιθανότητα το σύστημα να μην εντοπίσει τον κίνδυνο λόγω χαμηλής αναλογίας σήματος/θορύβου (SNR) θα είναι:

$$P_{t(\text{No Signal})} = 1 - P_{(\text{Sonar Down})} * P_{(\text{No Signal})} \quad (4-6)$$

$$0.9888 * 0.125 = 0.1236$$

Η συνολική πιθανότητα αποτυχίας ορθού εντοπισμού από το σόναρ θα είναι τότε με βάση την ισότητα (4-4):

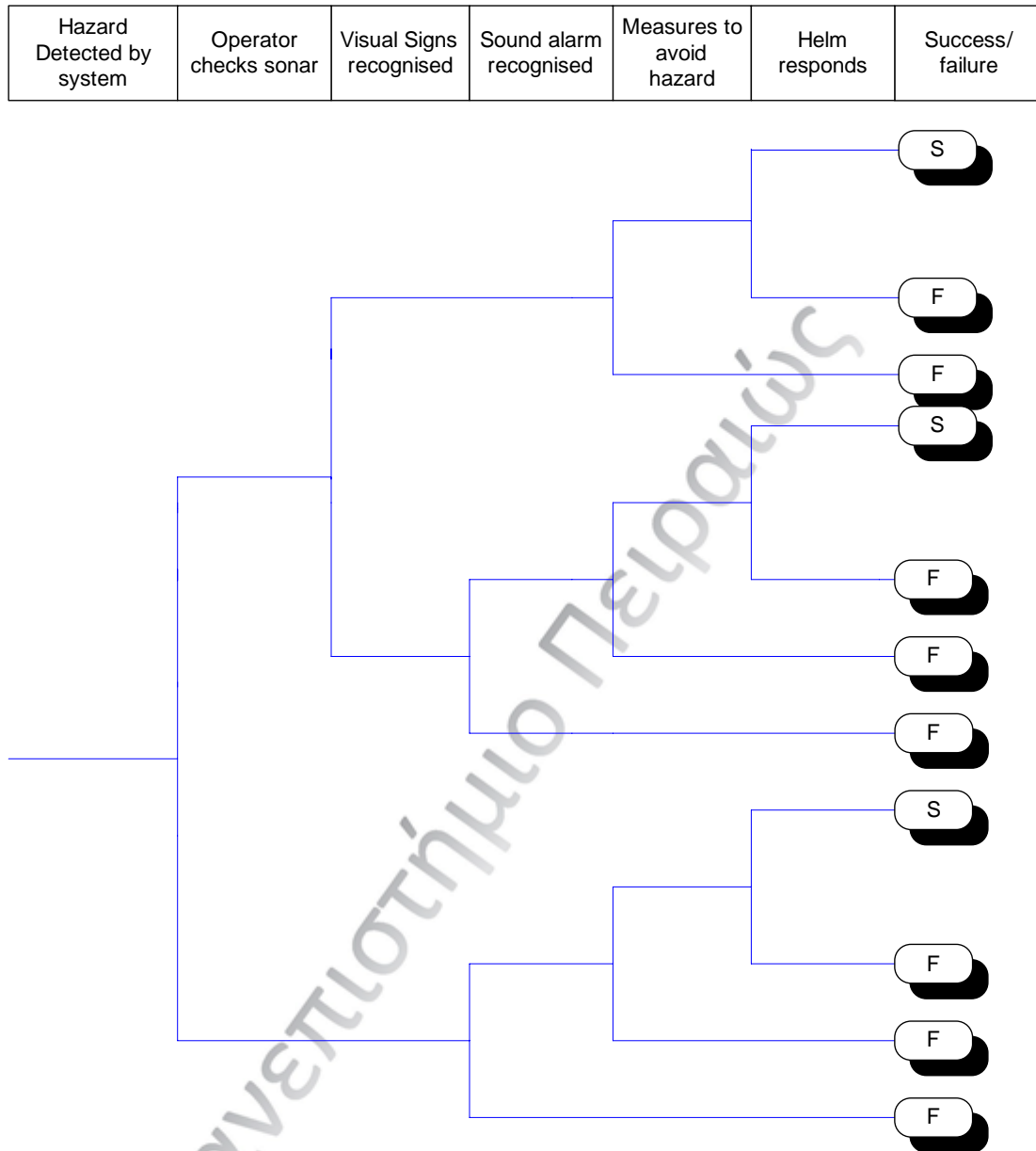
$$0.0111 + 0.1236 = 0.1347$$

4.1.2. ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ $P_{(\text{Human Failure})}$

Ο καταμερισμός σε έργα και ο εντοπισμός των πιθανών αποτυχιών γίνεται με τη χρήση της τεχνικής ανάλυσης δέντρου γεγονότων (Event tree analysis). Στη συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα ανάλυσης ενεργειών.

³⁰ Σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας η απόφαση εντοπισμού με βάση έναν μόνο παλμό αυξάνει την πιθανότητα λάθους συναγερμού (False Alarm). Οι επιπτώσεις λαθών συναγερμών και τα ωφέλη ελαχιστοποίησης αυτών δεν συνυπολογίζονται στη παρούσα μελέτη. Παρόλα αυτά έχει γίνει μέριμνα μέσω της επιλογής χαμηλού ορίου εντοπισμού, και, μιας μικρής πιθανότητας εντοπισμού που έχει ως αποτέλεσμα και μια ελάχιστη πιθανότητα λάθους συναγερμού (μικρότερη του 0.01).

Διάγραμμα 4-2: Ενέργειες για την αποφυγή του κινδύνου



Πηγή: Από ανάλυση

Για τον εντοπισμό και την ποσοτικοποίηση των πιθανοτήτων ανθρώπινου λάθους για κάθε ενέργεια χρησιμοποιούνται οι τεχνικές NARA και CREAM. Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση των τιμών για την επιλογή της πιο αντιπροσωπευτικής τιμής

4.1.2.1. Κατηγοριοποίηση και ποσοτικοποίηση των πιθανοτήτων χρησιμοποιώντας την τεχνική NARA.

Σε αυτό το μέρος γίνεται εκτίμηση των πιθανοτήτων ανθρωπίνου λάθους με βάση τη θεωρία της τεχνικής NARA (κεφάλαιο 3.2.2, μέρος Α).

Ο τύπος υπολογισμού της NARA είναι:

$$HEP = GTT * \prod_{i=1}^n (((E_i - 1) * P_i) + 1) \quad (4-7)$$

Με βάση τον παραπάνω τύπο γίνεται υπολογισμός της πιθανότητας λάθους για κάθε έργο (Διάγραμμα 3-2) ως ακολούθως:

1. Η πιθανότητα λάθους ή αμέλειας κατά την ανάγνωση οπτικών ενδείξεων

Πίνακας 4-2: Κκατάταξη έργου ανάγνωσης οπτικών ενδείξεων

Έργο	Κατάταξη	Βασική πιθανότητα ανθρωπίνου λάθους
Εντοπισμός και αναγνώριση οπτικών ενδείξεων κινδύνου (οπτικός συναγερμός).	B1: Στερεότυπος έλεγχος της κατάστασης των εγκαταστάσεων.	0.03

Πηγή: Από ανάλυση

Πίνακας 4-2: Συνθήκες παραγωγής λαθών για το έργο ανάγνωση οπτικών ενδείξεων

Συνθήκες παραγωγής λαθών (EPC)	Τιμή
Οι χειριστές βρίσκονται κάτω από-φορτίο εργασίας /πλήξης.	3

Πηγή: Από ανάλυση

Τότε με βάση τη σχέση (4-7):

$$0.03 * (((3 - 1) * 1) + 1) = 0.09$$

2. Πιθανότητα λάθους η αμέλειας κατά την ανταπόκριση και αναγνώριση ακουστικού συναγερμού

Πίνακας 4-3: Κατάταξη έργου αναγνώρισης και αντίδρασης σε ακουστικό συναγερμό

Έργο	Κατάταξη	Βασική πιθανότητα ανθρωπίνου λάθους
Εντοπισμός και αναγνώριση ακουστικού συναγερμού.	C1: Απλή απάντηση σε ένα βασικό συναγερμό ανάμεσα σε μια σειρά συναγερμών/ενδείξεων που παρέχουν τη σαφή ένδειξη της κατάστασης (απλή διάγνωση που απαιτείται). Η αντίδραση μπορεί είναι άμεση εκτέλεση απλής ενέργειας ή έναρξη άλλων ενεργειών που αξιολογούνται χωριστά.	0.0004
Διαδικασίες διάγνωσης και εκτίμησης κινδύνου.	Εφαρμογή κατάστασης συστήματος με στερεότυπες διαδικασίες και με αυστηρό διοικητικό έλεγχο.	0.0007

Πηγή: Από ανάλυση

Πίνακας 4-4: Συνθήκες παραγωγής λαθών ανταπόκρισης στον ακουστικό συναγερμό

Συνθήκες παραγωγής λαθών (EPC) C1	Τιμή
Οι χειριστές βρίσκονται κάτω από-φορτίο εργασίας /πλήξης.	3

Πηγή: Από ανάλυση

Πίνακας 4-5: Συνθήκες παραγωγής λαθών αναγνώρισης ακουστικού συναγερμού

Συνθήκες παραγωγής λαθών (EPC) B3	Τιμή
Απειρία χειριστών	8
Υπερφόρτωση πληροφοριών, ιδιαίτερα μια που προκαλείται από την ταυτόχρονη παρουσίαση των μη-περιττών πληροφοριών.	6

Πηγή: Από ανάλυση

Τότε με βάση τη σχέση (4-7):

$$0.0004 * (((3 - 1) * 0.7) + 1) + 0.0007 * (((8 - 1) * 0.6) + 1) * (((6 - 1) * 0.5) + 1) = 0.0137$$

3. Πιθανότητα λάθους κατά τη λήψη μέτρων αποφυγής

Πίνακας 4-6: Κατάταξη έργου λήψης μέτρων αποφυγής

Έργο	Κατάταξη	Βασική πιθανότητα ανθρωπίνου λάθους
Εντολές ελιγμών για την αποφυγή κινδύνων.	A5: Απαιτείται κρίση για την κατάλληλη διαδικασία που ακολουθείται, βασισμένη στην ερμηνεία των συναγερμών/ενδείξεων, κατάσταση που καλύπτεται με κατάρτιση σε κατάλληλα χρονικά διαστήματα.	0.01

Πηγή: Από ανάλυση

Πίνακας 4-7: Συνθήκες παραγωγής λαθών για το έργο λήψης μέτρων αποφυγής

Συνθήκες παραγωγής λαθών (EPC)	Τιμή
Χρονική πίεση	11

Πηγή: Από ανάλυση

Τότε με βάση τη σχέση (4-7):

$$0.01 * (((11 - 1) * 0.1) + 1) = 0.02$$

4. Πιθανότητα λάθους κατά την ανταπόκριση του πηδαλιούχου.³¹

Πίνακας 4-8: κατάταξη έργου ανταπόκρισης πηδαλιούχου

Έργο	Κατάταξη	Βασική πιθανότητα ανθρωπίνου λάθους
Ανταπόκριση πηδαλιούχου.	A2: Η έναρξη ή μετατροπή ενός συστήματος από το κύριο δωμάτιο ελέγχου μέσα από διαδικασίες με ανατροφοδότηση πληροφοριών	0.001

Πηγή: Από ανάλυση

Πίνακας 4-9: συνθήκες παραγωγής λαθών για το έργο ανταπόκριση πηδαλιούχου

Συνθήκες παραγωγής λαθών (EPC)	Τιμή
Υπερφόρτωση πληροφοριών ιδιαίτερα μια που προκαλείται από την ταυτόχρονη παρουσίαση των μη-περιττών πληροφοριών.	6
Χρονική Πίεση	11

Πηγή: Από ανάλυση

³¹ Η απενεργοποίηση του αυτόματου πιλότου και η έναρξη ελιγμών με χρήση του πηδαλίου θεωρούνται ένα ενιαίο έργο σε αυτήν την ανάλυση.

Τότε με βάση τη σχέση (4-7):

$$0.001 * (((6 - 1) * 0.5) + 1) * (((11 - 1) * 0.5) + 1) = 0.021$$

4.1.2.2. Κατηγοριοποίηση και ποσοτικοποίηση των πιθανοτήτων χρησιμοποιώντας την τεχνική CREAM

Σε αυτό το μέρος γίνεται εκτίμηση των πιθανοτήτων λάθους για τα έργα εντοπισμού και αποφυγής του εμποδίου με βάση τη θεωρία της τεχνικής CREAM (κεφάλαιο 3.2.2, μέρος Β).

1. Η πιθανότητα λάθους ή αμέλειας κατά τον εντοπισμό και την αναγνώριση οπτικών ενδείξεων:

Πίνακας 4-10: Αναγνώριση οπτικών ενδείξεων, ανάλυση δευτερευουσών δραστηριοτήτων

Δευτερεύουσα δραστηριότητα	Τύπος ενέργειας	Κατηγορία λάθους
Σάρωση	Παρατήρηση	O2, O3
Αναγνώριση	Ερμηνεία	I1, I3
Επικοινωνία	Εκτέλεση	E5

Πηγή: Από ανάλυση

Πίνακας 4-11: Συντελεστές PSFs που επιλέχθηκαν για κάθε δευτερεύουσα δραστηριότητα

Σάρωση	Αναγνώριση	Επικοινωνία
Συνθήκες Εργασίας: (συμβατές)	Επάρκεια εκπαίδευσης και προετοιμασίας (καλή εκπαίδευση, μεγάλη εμπειρία)	Διαθεσιμότητα χρόνου (αρκετός)
Ωρα ημέρας (νύχτα)	Επάρκεια αλληλεπίδρασης	Ποιότητα συνεργασίας

	ανθρώπου και μηχανής και λειτουργική υποστήριξη (υποστηρικτική)	πληρώματος (πολύ αποτελεσματική)
Επάρκεια Οργάνωσης (αποτελεσματική)	Ώρα ημέρας (νύχτα)	Ώρα ημέρας (νύχτα)
		Διαθεσιμότητα διαδικασιών και σχεδίων (Κατάλληλη)

Πηγή: Από ανάλυση

Πίνακας 4-12: Συνολική πιθανότητα λάθους για κάθε δευτερεύουσα ενέργεια

Τύπος Λάθους	Κατηγορία	Δευτερεύουσα ενέργεια	Τιμή
Λάθος αναγνώρισης	O2	Σάρωση	0.0036
Δεν έγινε παρατήρηση	O3	Σάρωση	0.0036
Λάθος διάγνωσης	I1	Αναγνώριση	0.12
Καθυστερημένη Ερμηνεία	I3	Αναγνώριση	0.006
Έλλειψη ενέργειας	E5	Επικοινωνία	0.0072

Πηγή: Από ανάλυση

Η ολική πιθανότητα για το έργο υπολογίζεται:

$$\begin{aligned}
 & (P_{(\text{Detect Error})} + P_{(\text{Not Detected})} + (1 - (P_{(\text{Detect Error})} + P_{(\text{Not Detected})})) * (P_{(\text{Diagnostic Error})} + P_{(\text{Delayed Diagnosis})} - \\
 & (P_{(\text{Diagnostic Error})} * P_{(\text{Delayed Diagnosis})})) + (1 - (P_{(\text{Detect Error})} + P_{(\text{Not Detected})})) * \\
 & (1 - P_{(\text{Diagnostic Error})} + P_{(\text{Delayed Diagnosis})} - (P_{(\text{Diagnostic Error})} * P_{(\text{Delayed Diagnosis})})) * P_{(\text{No Action})}
 \end{aligned} \quad (4-8)$$

$$\begin{aligned}
 & 2 * (0.0036) + ((1 - 0.0072) * (0.12 + 0.006 - (0.12 * (0.006)))) + \\
 & (1 - ((1 - 0.0072) * (0.12 + 0.006 - (0.12 * (0.006))))) * (0.0072) = 0.1378
 \end{aligned}$$

5. Η πιθανότητα λάθους ή αμέλειας κατά την αναγνώριση και αντίδραση σε ακουστικό συναγερμό

Πίνακας 4-13: Ανταπόκριση και αναγνώριση ακουστικού συναγερμού, ανάλυση δευτερευουσών δραστηριοτήτων

Δευτερεύουσα δραστηριότητα	Τύπος ενέργειας	Κατηγορία λάθους
Αναγνώριση	Ερμηνεία	I3
Επικοινωνία	Εκτέλεση	E5

Πηγή: Από ανάλυση

Πίνακας 4-14: Συντελεστές PSFs που επιλέχθηκαν για κάθε δευτερεύουσα δραστηριότητα

Αναγνώριση	Επικοινωνία
Επάρκεια εκπαίδευσης και προετοιμασίας (καλή εκπαίδευση, μικρή εμπειρία)	Διαθεσιμότητα χρόνου (αρκετός)
	Ποιότητα συνεργασίας πληρώματος (πολύ αποτελεσματική)
Ωρα ημέρας (νύχτα)	Ωρα ημέρας (νύχτα)
Επάρκεια αλληλεπίδρασης ανθρώπου και μηχανής και λειτουργική υποστήριξη (υποστηρικτική)	Διαθεσιμότητα διαδικασιών και σχεδίων (Αποδεκτή)

Πηγή: Από ανάλυση

Πίνακας 4-15: Η συνολική πιθανότητα λάθους για κάθε δευτερεύουσα ενέργεια

Τύπος Λάθους	Κατηγορία	Δευτερεύουσα ενέργεια	Τιμή
Καθυστερημένη ερμηνεία	I3	Ερμηνεία	0.012
Έλλειψη ενέργειας	E5	Εκτέλεση	0.009

Πηγή: Από ανάλυση

Η συνολική πιθανότητα για το έργο υπολογίζεται:

$$P_{(\text{Delayed Response})} + (1 - P_{(\text{Delayed Response})}) * P_{(\text{No Action})} \quad (4-9)$$

$$0.012 + ((1 - 0.012) * 0.009) = 0.0209$$

6. Η πιθανότητα λάθους κατά τη διαταγή μέτρων αποφυγής του κινδύνου

Πίνακας 4-16: Διαταγή λήψης μέτρων αποφυγής του κινδύνου, ανάλυση δευτερευουσών ενεργειών

Δευτερεύουσα δραστηριότητα	Τύπος ενέργειας	Κατηγορία λάθους
Σχεδιασμός	Σχεδιασμός	P1, P2
Επικοινωνία	Εκτέλεση	E1, E2, E3

Πηγή: Από ανάλυση

Πίνακας 4-17: Συντελεστές PSFs που επιλέχθηκαν για κάθε δευτερεύουσα δραστηριότητα

Σχεδιασμός	Επικοινωνία
Επάρκεια εκπαίδευσης και προετοιμασίας (καλή εκπαίδευση, μεγάλη εμπειρία)	Διαθεσιμότητα χρόνου (μερικές φορές όχι αρκετός)
Διαθεσιμότητα χρόνου (Μερικές φορές όχι αρκετός)	Επάρκεια Οργάνωσης (αποτελεσματική)
Ώρα ημέρας (νύχτα)	Ώρα ημέρας (νύχτα)
Διαθεσιμότητα διαδικασιών και σχεδίων (αποδεκτή)	Ποιότητα συνεργασίας πληρώματος (πολύ αποτελεσματική)
Επάρκεια Οργάνωσης (αποτελεσματική)	

Πηγή: Από ανάλυση

Πίνακας 4-18: Συνολική πιθανότητα λάθους για κάθε δευτερεύουσα ενέργεια

Τύπος Λάθους	Κατηγορία	Δευτερεύουσα ενέργεια	Τιμή
Λάθος προτεραιότητας	P1	Σχεδιασμός	0.06
Ανεπαρκές σχέδιο	P2	Σχεδιασμός	0.006
Ενέργεια λάθους τύπου	E1	Εκτέλεση	0.0018
Ενέργεια σε λάθος χρόνο (καθυστερημένη ή πρόωρη ενέργεια)	E2	Εκτέλεση	0.0018

Πηγή: Από ανάλυση

Η συνολική πιθανότητα για το έργο υπολογίζεται:

$$\begin{aligned}
 & P_{(Priority\ Error)} + P_{(Insufficient\ Plan)} - P_{(Priority\ Error)} * P_{(Insufficient\ Plan)} + \\
 & \left(1 - \left(P_{(Priority\ Error)} + P_{(Insufficient\ Plan)} - P_{(Priority\ Error)} * P_{(Insufficient\ Plan)} \right) \right) * \quad (4-10) \\
 & \left(P_{(Wrong\ Action)} + P_{(Wrong\ Timing)} - P_{(Wrong\ Action)} * P_{(Wrong\ Timing)} \right)
 \end{aligned}$$

$$2 * (0.006) - (0.006)^2 + ((1 - 0.0119) * (2 * (0.0018) - ((0.0018)^2))) = 0.155$$

7. Πιθανότητα λάθους ανταπόκρισης πηδαλιούχου

Πίνακας 4-19 : Ανταπόκριση πηδαλιούχου ανάλυση δευτερευουσών ενεργειών

Δευτερεύουσα δραστηριότητα	Τύπος ενέργειας	Κατηγορία λάθους
Εκτέλεση	Εκτέλεση	E1, E5

Πηγή: Από ανάλυση

Πίνακας 4-20: Συντελεστές PSFs που επιλέχθηκαν για κάθε δευτερεύουσα δραστηριότητα

Εκτέλεση
Επάρκεια Οργάνωσης (αποτελεσματική)
Διαθεσιμότητα χρόνου (μερικές φορές όχι αρκετός)
Επάρκεια εκπαίδευσης και προετοιμασίας (Υψηλή εμπειρία και επαρκής εκπαίδευση)
Ωρα ημέρας (νύχτα)
Διαθεσιμότητα διαδικασιών και σχεδίων (αποδεκτή)

Πηγή: Από ανάλυση

Πίνακας 4-21: Συνολική πιθανότητα λάθους για κάθε δευτερεύουσα ενέργεια

Τύπος Λάθους	Κατηγορία	Δευτερεύουσα Ενέργεια	Τιμή
Ενέργεια λάθους τύπου	E1	Εκτέλεση	0.00288
Έλλειψη ενέργειας	E5	Εκτέλεση	0.0288

Πηγή: Από ανάλυση

Η συνολική πιθανότητα για το έργο υπολογίζεται:

$$P_{(Wrong\ Action)} + P_{(No\ Action)} - (P_{(Wrong\ Action)} * P_{(No\ Action)}) \quad (4-11)$$

$$0.00288 + 0.0288 - (0.00288 * (0.0288)) = 0.031$$

4.1.2.3. Σύγκριση των τιμών των πιθανοτήτων που παράχθηκαν με τις μεθόδους NARA και CREAM

Πίνακας 4-22: Συνολικές τιμές λάθους για κάθε έργο

ΕΡΓΟ	Τιμή NARA	Τιμή CREAM
Αναγνώριση οπτικού συναγερμού	0.09	0.139
Ανταπόκριση και αναγνώριση ακουστικού συναγερμού	0.0137	0.0209
Λήψη μέτρων αποφυγή	0.02	0.0155
Ανταπόκριση πηδαλιούχου	0.021	0.031

Πηγή: Από ανάλυση

Συγκρίνοντας τις τιμές της τεχνικής NARA και της τεχνικής CREAM παρατηρούνται μικρές αποκλίσεις. Συγκεκριμένα η τεχνική NARA φαίνεται να παρουσιάζει μικρότερες τιμές για έργα που περιλαμβάνουν αναγνώριση κατάστασης και σχεδιασμού ενώ οι τιμές CREAM εμφανίζονται ενδεικτικά μικρότερες για τα έργα που χρειάζονται εκτέλεση πράξης χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις σε ικανότητες αλλά ακολουθώντας διαδικασίες.

Για τα έργα «αναγνώριση οπτικών ενδείξεων» και «ακουστικού συναγερμού» επιλέχθηκαν οι μεγαλύτερες τιμές που παρέχονται από την τεχνική CREAM ενώ για τα έργα «διαταγή μέτρων αποφυγής» επιλέχθηκε η τιμή NARA (μεγαλύτερη τιμή). Για το έργο «ανταπόκριση πηδαλιούχου» επιλέχθηκε η τιμή CREAM (μεγαλύτερη τιμή).

4.1.2.4. Υπολογισμός Πιθανότητας ανεπαρκούς δράσης

Με βάση το διάγραμμα, η πιθανότητα να μην γίνουν οι απαραίτητες ενέργειες, εκφράζεται ως εξής:

$$P_{\text{(Hazard Detected by Sonar)}} * P_{t \text{ (Human Failure)}} \quad (4-12)$$

Η πιθανότητα το σύστημα να εντοπίσει τον κίνδυνο είναι:

$$P_{\text{(Hazard Detected By Sonar)}} = (1 - (P_{\text{(Sonar Failure)}})) \quad (4-13)$$

$$(1 - 0.1347) = 0.8653$$

Η πιθανότητα $P_{t(\text{Human Failure})}$ θα είναι

$$P_{t(\text{Visual Signs not Recognised})} * P_{t(\text{Alarm not Recognised})} + P_{t(\text{Measures Error})} + P_{t(\text{Helm Response Error})} \quad (4-14)$$

Με βάση την υπόθεση ότι ο χειριστής παρακολουθεί τις ενδείξεις στο σόναρ σε τακτά χρονικά διαστήματα (συχνότητα ενός (1') λεπτού) και λαμβάνοντας υπόψη ότι ο συναγερμός είναι ρυθμισμένος να ενεργοποιηθεί περίπου 10 δευτερόλεπτα μετά τον εντοπισμό τού εμποδίου, ο χειριστής θα ελέγξει το σύστημα, το περισσότερο, μια φορά.

Η πιθανότητα ο χειριστής να ελέγξει τις ενδείξεις στο σύστημα σε ένα διάστημα 10 δευτερολέπτων είναι:

$$P_{(\text{check})} = \frac{10}{60} = 0.1666 \quad (4-15)$$

Οι συνολικές πιθανότητες για κάθε ένα από τα έργα υπολογίζεται με βάση το δέντρο γεγονότων :

$$P_{t(\text{Visual Signs not Recognised})} = 1 - (P_{(\text{Sonar Failure})} * P_{(\text{Check})} * P_{(\text{Visual Signs not Recognised})}) \quad (4-16)$$

$$0.8653 * 0.1666 * 0.139 = 0.02$$

$$P_{t(\text{Alarm not Recognised})} = (1 - P_{(\text{Sonar Failure})}) * (1 - P_{(\text{Check})}) * P_{(\text{Alarm not Recognised})}^2 + (1 - P_{(\text{Sonar Failure})}) * P_{(\text{Check})} * P_{(\text{Visual Signs not Recognised})} * P_{(\text{Alarm not Recognised})}^2 \quad (4-17)$$

$$0.8653 * 0.8444 * 0.0209^2 + 0.8653 * 0.1666 * 0.139 * 0.0209^2 = 0.0003$$

$$P_{t(\text{Measures Error})} = (1 - P_{t(\text{Visual Signs not Recognised})}) * P_{(\text{Measures Error})} + P_{t(\text{Visual Signs not Recognised})} * (1 - P_{t(\text{Alarm not Recognised})}) * P_{(\text{Measures Error})} \quad (4-18)$$

$$(1 - 0.02) * 0.02 + (0.02 * (1 - 0.0003)) * 0.02 = 0.0199 \quad (4-19)$$

$$P_{t(\text{Helm Response Error})} = 1 - P_{t(\text{Measures Error})} * P_{(\text{Helm Response Error})} \quad (4-20)$$

$$(1 - 0.0199) * 0.031 = 0.03$$

Και σύμφωνα με τη (4-13):

$$0.02 * 0.0013 + 0.0199 + 0.03 = 0.0499$$

4.1.3. ΤΟ ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΟ ΤΟ ΕΜΠΟΔΙΟ ΝΑ ΜΗΝ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΑΠΟΦΕΥΧΘΕΙ $P(\text{obstacle unavoidable})$

Αυτή η πιθανότητα εκφράζει το ενδεχόμενο το πλοίο αν και το πλοίο έχει εντοπίσει το κίνδυνο να υπάρχουν φυσικοί περιορισμοί που να εμποδίζουν την ασφαλή αποφυγή αυτού. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν εμφανίζεται εμπόδιο κατά την πλεύση του πλοίου σε περικλειστα ύδατα.

Η πιθανότητα αυτή εκτιμήθηκε βάσει της ανάλυσης των στατιστικών στοιχείων σχετικά με τον αριθμό των ατυχημάτων στα οποία το εμπόδιο που θα ήταν αδύνατο να αποφευχθούν με ελιγμό αλλαγής πορείας έστω και αν αυτό είχε εντοπιστεί.

Συγκεκριμένα στη κατηγορία Handys εντοπίστηκαν 4 ατυχήματα από 30 συνολικά στα οποία το εμπόδιο θα ήταν αδύνατο να αποφευχθεί. Η πιθανότητα $P(\text{obstacle unavoidable})$ υπολογίζεται παρακάτω.

$$P_{(\text{obstacle unavoidable})} = \frac{4}{30} = 0.13 \quad (4-21)$$

4.1.4. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣΑΡΑΞΗΣ (P' (Grounding))

Η Πιθανότητα προσάραξης μετά την ενσωμάτωση του συστήματος σόναρ δίδεται από τη σχέση (4-3)

$$P_{(\text{Hazard Not Avoided})} = 0.1347 + 0.0499 + 0.13 - ((0.1347 + 0.0499) * (0.13)) = 0.2906 \quad (4-22)$$

Σύμφωνα με το δέντρο ανάλυσης σφαλμάτων ισχύει:

$$F'_{(\text{Powered Grounding})} = F_{(\text{Unsafe Course})} * P_{(\text{Hazard not Avoided})} = 0.2906 * F_{(\text{Unsafe Course})} \quad (4-23)$$

Όμως, σύμφωνα με τους Brown και Haugene, χωρίς το σύστημα σόναρ, το ενδεχόμενο η πορεία του πλοίου να είναι επικίνδυνη είτε λόγω λάθους σχεδιασμού είτε λόγω παρέκκλισης οδηγεί αναπόφευκτα σε προσάραξη.

Συνεπώς:

$$P_{(\text{Unsafe Course})} = P_{(\text{Powered Grounding})} \quad (4-24)$$

συνεπάγεται ότι

$$F'_{(\text{Powered Grounding})} = 0.2906 * F_{(\text{Grounding})} \quad (4-25)$$

Η ποσοστιαία βελτίωση στην πιθανότητα προσάραξης είναι με βάση την (4-23):

$$(1 - 0.3146) * \frac{F_{(\text{Powered Grounding})}}{F_{(\text{Powered Grounding})}} * 100 \quad (4-26)$$

$$(1 - 0.2906) * 100 = 71.94\%$$

4.2. ΣΕΝΑΡΙΟ A2

Όπως και στο σενάριο A1 το σενάριο αντιστοιχεί σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας του πλοίου (δηλαδή χωρίς απώλεια πρόωσης) και αναφέρεται στην εμφάνιση εμποδίου μπροστά από το πλοίο όπως ύφαλος, βραχώδεις ακτές, πυλώνες, κυματοθραύστες ή άλλα φυσικά και τεχνητά εμπόδια που μπορούν να οδηγήσουν το πλοίο σε επαφή ή προσάραξη (Powered Contact/Grounding).

Οι ίδιες υποθέσεις ισχύουν όπως και στο σενάριο A1.

Το ολικό μήκος του πλοίου ορίζεται στα 300 μέτρα. Η εμβέλεια του σόναρ ορίζεται στα 1329 μέτρα ενώ η ενεργοποίηση του συναγερμού γίνεται σε απόσταση μεταξύ πλοίου και εμποδίου ίση με 1294 μέτρα. Τέλος η μέση ταχύτητα πλεύσης εκτιμήθηκε ως 15 κόμβοι³².

Για να διανύσει 1329 μέτρα με ταχύτητα 15 κόμβους (7.71 m/s) χρειάζεται 172.4 δευτερόλεπτα (s). Αυτός αποτελεί και το συνολικό χρόνο που έχει στη διάθεσή του το πλοίο για την εκτέλεση ελιγμού ασφαλής αποφυγής του κινδύνου (T)

Ο μέγιστος απαιτούμενος χρόνος T_s σε δευτερόλεπτα (s) για την αποφυγή εμποδίου από πλοίο ταχύτητας V σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/s) και μήκους L σε μέτρα (m) δίδεται από την σχέση³³:

$$T_s = 4 * \frac{L}{V} \quad (4-27)$$

Για πλοίο ταχύτητας 14 κόμβων (7.2 m/s) και μήκους 300 μέτρων (m)

$$T_s = 4 * \frac{300}{7.71} = 155.6 \text{ s}$$

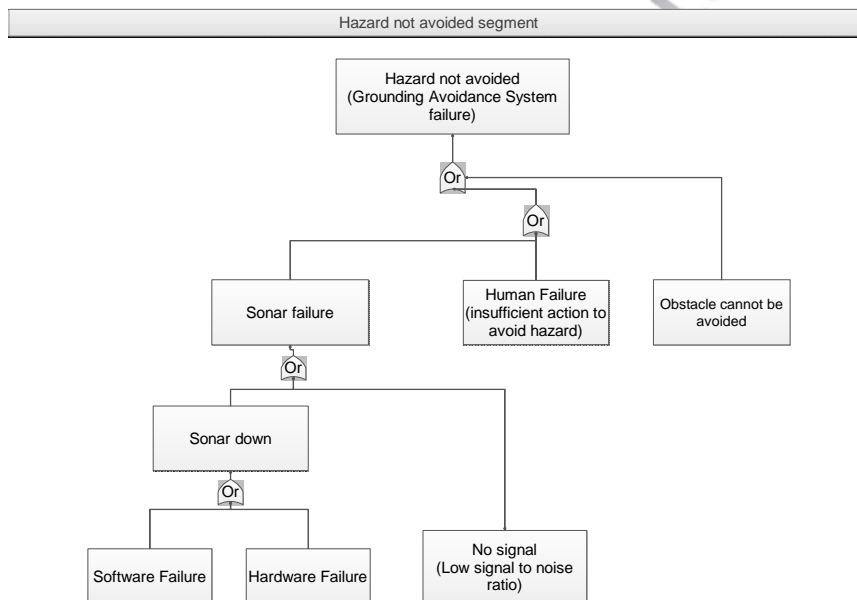
³³ Dr. Alexander Yakubovskiy, Signal Processing Manager FarSounder, Inc. November, 2010: *Navigation Sonar for the Ship Operator: Forward Looking Sonars and Multibeam Echosounders Explained*.

Επιπρόσθετα, ο χρόνος που απαιτείται για την αντίδραση του πληρώματος του πλοίου (T_H) ορίζεται σε 10 δευτερόλεπτα³⁴

Με βάση τα δεδομένα αυτά (ανθρώπινη αντίδραση και ανταπόκρισης του πλοίου), το πλεόνασμα χρόνου (T_M) που παρέχει το σόναρ υπό αυτές τις συνθήκες λειτουργίας για την αποτροπή της προσάραξης ισούται με:

$$T_M = T - (T_S + T_H) = 172.4 - (155.6 + 10) = 6.8 \text{ s} \quad (4-28)$$

Διάγραμμα 4-3: Δέντρο αποτυχίας αποφυγής κινδύνου



Πηγή: Από ανάλυση

Με βάση την ανάλυση δένδρου συμβάντων του παραπάνω διαγράμματος, η συνολική συχνότητα προσάραξης δίνεται από τη σχέση:

$$P_{(\text{hazard not avoided})} = (P_{(\text{Sonar Failure})} + P_{(\text{insufficient action})}) + P_{(\text{Obstacle unavoidable})} \quad (4-29)$$

όπου,

$P_{(\text{hazard not avoided})}$ είναι το ενδεχόμενο ο κίνδυνος να μην αποφευχθεί παρά την εγκατάσταση του συστήματος σόναρ.

³⁴ Σύμφωνα με γνώμη εμπειρογνώμονα ο χρόνος θεωρείται υπεραρκετός για τη λήψη μέτρων αποφυγής, δεδομένου ότι ακολουθούνται τα πρότυπα ασφαλούς διαχείρισης.

$P_{(\text{sonar failure})}$ είναι το ενδεχόμενο μην εντοπιστεί το εμπόδιο από το σύστημα σόναρ.

$P_{(\text{insufficient action})}$ είναι το ενδεχόμενο να μην γίνουν οι απαραίτητες ενέργειες για την αποφυγή του κινδύνου μετά τον εντοπισμό του.

$P_{(\text{obstacle unavoidable})}$ είναι το ενδεχόμενο άλλοι παράγοντες να μην επιτρέπουν την αποφυγή του εμποδίου με ασφάλεια.

4.2.1. ΑΠΟΤΥΧΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΣΟΝΑΡ $P_{(\text{Sonar Failure})}$

Τα βασικά ενδεχόμενα μη εντοπισμού του εμποδίου από το σόναρ είναι α) το σύστημα να μη λειτουργεί, β) να μην εντοπιστεί λόγω ανθρώπινου λάθους ή αμέλειας και γ) να μην εντοπιστεί ο κίνδυνος λόγω ανεπαρκούς απόδοσης του συστήματος. Τα ενδεχόμενα εκφράζονται από τη παρακάτω σχέση:

$$P_{(\text{SonarFailure})} = P_{(\text{SonarDown})} + P_{(\text{No Signal})} \quad (4-30)$$

όπου,

α) $P_{(\text{Sonar Down})}$ είναι η πιθανότητα το σύστημα να μη λειτουργεί τη χρονική στιγμή t η οποία ισοδυναμεί με τη μη διαθεσιμότητα του συστήματος ίση με $q = D_T / \text{MTBF}$ όπου D_T είναι ο χρόνος που χρειάζεται για τον εντοπισμό και την επιδιόρθωση του συστήματος και MTBF είναι ο μέσος χρόνος μεταξύ αποτυχιών του συστήματος.

Η συνολική πιθανότητα το σύστημα να μην είναι διαθέσιμο σε μια τυχαία χρονική είναι ίση με 0.0111 όπως και στο σενάριο A1.

β. $P_{(\text{No Signal})}$ είναι η πιθανότητα ο κίνδυνος να μην εντοπιστεί εξαιτίας χαμηλής αναλογίας σήματος-θορύβου (χαμηλό SNR). Υποθέτοντας ότι η πιθανότητα εντοπισμού ανά παλμό (Ping) είναι σταθερή και ίση με 0.5 και ότι ο χρόνος ανάμεσα σε δύο παλμούς είναι ίσος με 2.26 δευτερόλεπτα, τότε με βάση το χρόνο που έχει το σύστημα στη διάθεσή του για τον εντοπισμό του κινδύνου, θα παράγει έναν αριθμό παλμών ίσο με $6.8 / 2.26 = 3$ παλμούς.

$$(1 - P_{(\text{pulse})})^n = (1 - 0.5)^3 = 0.125 \quad (4-31)$$

όπου $P_{(\text{pulse})}$ η πιθανότητα να εντοπιστεί σε ένα παλμό και n ο αριθμός των παλμών

Η ολική πιθανότητα το σύστημα να μην εντοπίσει τον κίνδυνο λόγω χαμηλής αναλογίας σήματος/θορύβου (SNR) θα είναι:

$$P_{t(\text{No Signal})} = 1 - P_{(\text{Sonar Down})} * P_{(\text{No Signal})} \quad (4-32)$$

$$0.9889 * 0.125 = 0.1236$$

Η συνολική πιθανότητα αποτυχίας ορθού εντοπισμού από το σόναρ θα είναι τότε με βάση την ισότητα (4-29):

$$0.0111 + 0.1236 = 0.1347$$

4.2.2. ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ $P_{(Human Failure)}$

Υπολογισμός Πιθανότητας ανεπαρκούς δράσης

Όπως και στο σενάριο A1 ισχύει

$$P_{(Hazard Detected by Sonar)} * P_t (Human Failure) \quad (4-33)$$

Η πιθανότητα το σύστημα να εντοπίσει τον κίνδυνο είναι:

$$P_{(Hazard Detected By Sonar)} = (1 - (P_{(Sonar Failure)})) \quad (4-34)$$

$$(1 - 0.1347) = 0.8653$$

Η πιθανότητα $P_{(Human Failure)}$ θα είναι

$$P_t (Visual Signs not Recognised) * P_t (Alarm not Recognised) + P_t (Measures Error) + P_t (Helm Response Error) \quad (4-35)$$

Με βάση την υπόθεση ότι ο χειριστής παρακολουθεί τις ενδείξεις στο σόναρ σε τακτά χρονικά διαστήματα (συχνότητα ενός (1') λεπτού) και λαμβάνοντας υπόψη ότι ο συναγερμός είναι ρυθμισμένος να ενεργοποιηθεί περίπου 3.4 δευτερόλεπτα μετά τον εντοπισμό του εμποδίου, ο χειριστής θα ελέγξει το σύστημα, το περισσότερο, μια φορά.

Η πιθανότητα ο χειριστής να ελέγξει τις ενδείξεις στο σύστημα σε ένα διάστημα 4.5 δευτερολέπτων είναι:

$$P_{(check)} = \frac{4.5}{60} = 0.075 \quad (4-36)$$

Οι συνολικές πιθανότητες για κάθε ένα από τα έργα υπολογίζεται με βάση το δέντρο γεγονότων (Διάγραμμα 4-2):

$$P_t (Visual Signs not Recognised) = 1 - (P_{(Sonar Failure)} * P_{(Check)} * P_{(Visual Signs not Recognised)}) \quad (4-37)$$

$$0.8653 * 0.075 * 0.139 = 0.009$$

$$P_{t(\text{Alarm not Recognised})} = (1 - P_{(\text{Sonar Failure})}) * (1 - P_{(\text{Check})}) * P_{(\text{Alarm not Recognised})}^2 + (1 - P_{(\text{Sonar Failure})}) * P_{(\text{Check})} * P_{(\text{Visual Signs not Recognised})} * P_{(\text{Alarm not Recognised})}^2 \quad (4-38)$$

$$0.8653 * 0.925 * 0.0209^2 + 0.8653 * 0.075 * 0.139 * 0.0209^2 = 0.0003$$

$$P_{t(\text{Measures Error})} = (1 - P_{t(\text{Visual Signs not Recognised})}) * P_{(\text{Measures Error})} + P_{t(\text{Visual Signs not Recognised})} * (1 - P_{t(\text{Alarm not Recognised})}) * P_{(\text{Measures Error})} \quad (4-39)$$

$$(1 - 0.009) * 0.02 + (0.009 * (1 - 0.0003)) * 0.02 = 0.0199$$

$$P_{t(\text{Helm Response Error})} = 1 - P_{t(\text{Measures Error})} * P_{(\text{Helm Response Error})} \quad (4-40)$$

$$(1 - 0.0199) * 0.031 = 0.03$$

Και σύμφωνα με τη (4-33):

$$0.009 * 0.0003 + 0.0199 + 0.03 = 0.0499$$

4.2.3. ΤΟ ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΟ ΤΟ ΕΜΠΟΔΙΟ

ΝΑ ΜΗΝ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΑΠΟΦΕΥΧΘΕΙ $P(\text{obstacle unavoidable})$

Η πιθανότητα αυτή εκτιμήθηκε βάσει της ανάλυσης των στατιστικών στοιχείων σχετικά με τον αριθμό των ατυχημάτων στα οποία το εμπόδιο που θα ήταν αδύνατο να αποφευχθούν με ελιγμό αλλαγής πορείας έστω και αν αυτό είχε εντοπιστεί όπως και στο σενάριο A1.

Συγκεκριμένα στη κατηγορία Suezmax εντοπίστηκαν 2 ατυχήματα από 8 συνολικά στα οποία το εμπόδιο θα ήταν αδύνατο να αποφευχθεί. Η πιθανότητα $P(\text{obstacle unavoidable})$ υπολογίζεται παρακάτω.

$$P_{(\text{obstacle unavoidable})} = \frac{2}{8} = 0.25 \quad (4-41)$$

4.2.4. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣΑΡΑΞΗΣ P' (Grounding)

Η Πιθανότητα προσάραξης μετά την ενσωμάτωση του συστήματος σόναρ δίδεται από τη σχέση (4-3

$$P_{(\text{Hazard Not Avoided})} = 0.1236 + 0.0499 + 0.25 - ((0.1236 + 0.0499) * (0.25)) = 0.3801 \quad (4-42)$$

Σύμφωνα με το δέντρο ανάλυσης σφαλμάτων ισχύει:

$$P'_{(\text{Powered Grounding})} = P_{(\text{Unsafe Course})} * P_{(\text{Hazard not Avoided})} = 0.3801 * P_{(\text{Unsafe Course})} \quad (4-43)$$

Όπως και στο σενάριο A1, χωρίς το σύστημα σόναρ, το ενδεχόμενο η πορεία του πλοίου να είναι επικίνδυνη είτε λόγω λάθους σχεδιασμού είτε λόγω παρέκκλισης οδηγεί αναπόφευκτα σε προσάραξη.

Συνεπώς:

$$P_{(\text{Unsafe Course})} = P_{(\text{Powered Grounding})} \quad (4-44)$$

συνεπάγεται ότι:

$$F'_{(\text{Powered Grounding})} = 0.3801 * F_{(\text{Grounding})} \quad (4-45)$$

Η ποσοστιαία βελτίωση στην πιθανότητα προσάραξης είναι με βάση την (4-42):

$$(1 - 0.4235) * \frac{F_{(\text{Powered Grounding})}}{F_{(\text{Powered Grounding})}} * 100 \quad (4-46)$$

$$(1 - 0.3801) * 100 = 62.99\%$$

4.3. ΣΕΝΑΡΙΟ A3

Όπως και στα σενάρια A1 και A2 το σενάριο αντιστοιχεί σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας του πλοίου (δηλαδή χωρίς απώλεια πρόωσης) και αναφέρεται στην εμφάνιση εμποδίου μπροστά από το πλοίο όπως ύφαλος, βραχώδεις ακτές, πυλώνες, κυματοθραύστες ή άλλα φυσικά και τεχνητά εμπόδια που μπορούν να οδηγήσουν το πλοίο σε επαφή ή προσάραξη (Powered Contact/Grounding).

Οι ίδιες υποθέσεις ισχύουν όπως και στο σενάριο A1.

Το ολικό μήκος του πλοίου ορίζεται στα 340 μέτρα. Η εμβέλεια του σόναρ ορίζεται στα 1496 μέτρα ενώ η ενεργοποίηση του συναγερμού γίνεται σε απόσταση μεταξύ πλοίου και εμποδίου ίση με 1456.66 μέτρα. Τέλος η μέση ταχύτητα πλεύσης εκτιμήθηκε ως 15 κόμβοι.

Για να διανύσει 1496 μέτρα με ταχύτητα 15 κόμβους (7.71 m/s) χρειάζεται 194 δευτερόλεπτα (s). Αυτός αποτελεί και το συνολικό χρόνο που έχει στη διάθεσή του το πλοίο για την εκτέλεση ελιγμού ασφαλής αποφυγής του κινδύνου (T_S)

Ο μέγιστος απαιτούμενος χρόνος T_S σε δευτερόλεπτα (s) για την αποφυγή εμποδίου από πλοίο ταχύτητας V σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/s) και μήκους L σε μέτρα (m) δίδεται από την σχέση³⁵:

$$T_S = 4 * \frac{L}{V} \quad (4-47)$$

Για πλοίο ταχύτητας 14 κόμβων (7.2 m/s) και μήκους 300 μέτρων (m)

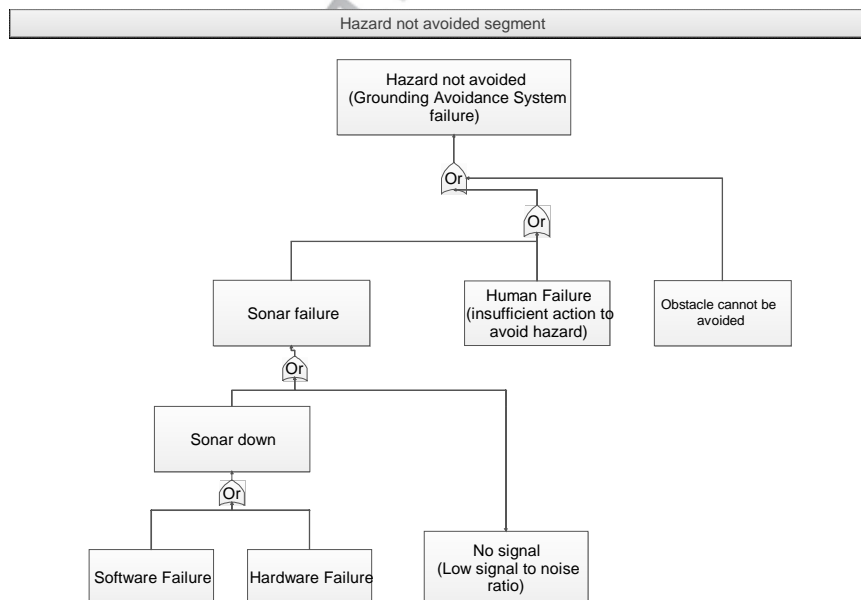
$$T_S = 4 * \frac{340}{7.71} = 176.39s$$

Επιπρόσθετα, ο χρόνος που απαιτείται για την αντίδραση του πληρώματος του πλοίου (T_H) ορίζεται σε 10 δευτερόλεπτα.

Με βάση αυτά τα δεδομένα, ανθρώπινης αντίδρασης και ανταπόκρισης του πλοίου, το πλεόνασμα χρόνου (T_M) που παρέχει το σόναρ υπό αυτές τις συνθήκες λειτουργίας για την αποτροπή της προσάραξης ισούται με:

$$T_M = T - (T_S + T_H) = 194 - (176.39 + 10) = 7.64 s \quad (4-48)$$

Διάγραμμα 4-4: Δέντρο εμφάνισης κινδύνου με σόναρ



Πηγή: Από ανάλυση

³⁵ Dr. Alexander Yakubovskiy, Signal Processing Manager FarSounder, Inc. November, 2010: *Naviga-tion Sonar for the Ship Operator: Forward Looking Sonars and Multibeam Echosounders Explained.*

$$P_{(\text{hazard not avoided})} = (P_{(\text{Sonar Failure})} + P_{(\text{insufficient action})}) + P_{(\text{Obstacle unavoidable})} \quad (4-49)$$

όπου,

$P_{(\text{hazard not avoided})}$ είναι το ενδεχόμενο ο κίνδυνος να μην αποφευχθεί παρά την εγκατάσταση του συστήματος σόναρ

$P_{(\text{sonar failure})}$ είναι το ενδεχόμενο μην εντοπιστεί το εμπόδιο από το σύστημα σόναρ.

$P_{(\text{insufficient action})}$ είναι το ενδεχόμενο να μην γίνουν οι απαραίτητες ενέργειες για την αποφυγή του κινδύνου μετά τον εντοπισμό του,

$P_{(\text{obstacle unavoidable})}$ είναι το ενδεχόμενο άλλοι παράγοντες να μην επιτρέπουν την αποφυγή του εμποδίου με ασφάλεια.

4.3.1. ΑΠΟΤΥΧΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΣΟΝΑΡ $P_{(\text{sonar failure})}$

Τα βασικά ενδεχόμενα μη εντοπισμού του εμποδίου από το σόναρ είναι α) το σύστημα να μην λειτουργεί, β) να μην εντοπιστεί λόγω ανθρώπινου λάθους ή αμέλειας και γ) να μην εντοπιστεί ο κίνδυνος λόγω ανεπαρκούς απόδοσης του συστήματος. Τα ενδεχόμενα εκφράζονται από τη παρακάτω σχέση:

$$P_{(\text{SonarFailure})} = P_{(\text{SonarDown})} + P_{(\text{No Signal})} \quad (4-50)$$

όπου,

α. $P_{(\text{Sonar Down})}$ είναι η πιθανότητα το σύστημα να μη λειτουργεί τη χρονική στιγμή t η οποία ισοδυναμεί με τη μη διαθεσιμότητα του συστήματος ίση με $q = D_T / MTBF$ όπου D_T είναι ο χρόνος που χρειάζεται για τον εντοπισμό και την επιδιόρθωση του συστήματος και $MTBF$ είναι ο μέσος χρόνος μεταξύ αποτυχιών του συστήματος.

Η συνολική πιθανότητα το σύστημα να μην είναι διαθέσιμο σε μια τυχαία χρονική είναι ίση με 0.0111 όπως και στα σενάρια A1, A2.

β. $P_{(\text{No Signal})}$ είναι η πιθανότητα ο κίνδυνος να μην εντοπιστεί εξαιτίας χαμηλής αναλογίας σήματος-θορύβου (χαμηλό SNR). Υποθέτοντας ότι η πιθανότητα εντοπισμού ανά παλμό (Ping) είναι σταθερή και ίση με 0.5 και ότι ο χρόνος ανάμεσα σε δύο παλμούς είναι ίσος με 1.7 δευτερόλεπτα, τότε με βάση το χρόνο που έχει το σύστημα στη διάθεσή του για τον εντοπισμό του κινδύνου, θα παράγει έναν αριθμό παλμών ίσο με $7.65 / 2.55 = 3$ παλμούς.

$$(1 - P_{(\text{pulse})})^n = (1 - 0.5)^3 = 0.125$$

όπου $P_{(\text{pulse})}$ η πιθανότητα να εντοπιστεί σε ένα παλμό και n ο αριθμός των παλμών

Η ολική πιθανότητα το σύστημα να μην εντοπίσει τον κίνδυνο λόγω χαμηλής αναλογίας σήματος/θορύβου (SNR) θα είναι:

$$P_{t(\text{No Signal})} = 1 - P_{(\text{Sonar Down})} * P_{(\text{No Signal})} \quad (4-51)$$

$$0.9909 * 0.125 = 0.1238$$

Η συνολική πιθανότητα αποτυχίας ορθού εντοπισμού από το σόναρ θα είναι τότε με βάση την ισότητα (3-49):

$$0.0111 + 0.1238 = 0.1349$$

4.3.2. ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ $P_{(\text{Human Failure})}$

Υπολογισμός Πιθανότητας ανεπαρκούς δράσης

Όπως και στα σενάρια A1, A2 ισχύει

$$P_{(\text{Hazard Detected by Sonar})} * P_{t(\text{Human Failure})} \quad (4-52)$$

Η πιθανότητα το σύστημα να εντοπίσει τον κίνδυνο είναι:

$$P_{(\text{Hazard Detected By Sonar})} = (1 - (P_{(\text{Sonar Failure})})) \quad (4-53)$$

$$(1 - 0.1349) = 0.8651$$

Η πιθανότητα $P_{t(\text{Human Failure})}$ θα είναι

$$P_{t(\text{Visual Signs not Recognised})} * P_{t(\text{Alarm not Recognised})} + P_{t(\text{Measures Error})} + P_{t(\text{Helm Response Error})} \quad (4-54)$$

Με βάση την υπόθεση ότι ο χειριστής παρακολουθεί τις ενδείξεις στο σόναρ σε τακτά χρονικά διαστήματα (συχνότητα ενός (1') λεπτού) και λαμβάνοντας υπόψη ότι ο συναγερμός είναι ρυθμισμένος να ενεργοποιηθεί περίπου 5.1 δευτερόλεπτα μετά τον εντοπισμό του εμποδίου, ο χειριστής θα ελέγξει το σύστημα, το περισσότερο, μια φορά.

Η πιθανότητα ο χειριστής να ελέγξει τις ενδείξεις στο σύστημα σε ένα διάστημα 3.4 δευτερολέπτων είναι:

$$P_{(\text{check})} = \frac{5.1}{60} = 0.085 \quad (4-55)$$

Οι συνολικές πιθανότητες για κάθε ένα από τα έργα υπολογίζεται με βάση το δέντρο γεγονότων (Διάγραμμα 4-2):

$$P_{t(\text{Visual Signs not Recognised})} = 1 - (P_{(\text{Sonar Failure})} * P_{(\text{Check})} * P_{(\text{Visual Signs not Recognised})}) \quad (4-56)$$

$$0.8651 * 0.085 * 0.139 = 0.01$$

$$P_{t(\text{Alarm not Recognised})} = (1 - P_{(\text{Sonar Failure})}) * (1 - P_{(\text{Check})}) * P_{(\text{Alarm not Recognised})}^2 + (1 - P_{(\text{Sonar Failure})}) * P_{(\text{Check})} * P_{(\text{Visual Signs not Recognised})} * P_{(\text{Alarm not Recognised})}^2 \quad (4-57)$$

$$0.8651 * 0.915 * 0.0209^2 + 0.8671 * 0.085 * 0.139 * 0.0209^2 = 0.0003$$

$$P_{t(\text{Measures Error})} = (1 - P_{t(\text{Visual Signs not Recognised})}) * P_{(\text{Measures Error})} + P_{t(\text{Visual Signs not Recognised})} * (1 - P_{t(\text{Alarm not Recognised})}) * P_{(\text{Measures Error})} \quad (4-58)$$

$$(1 - 0.01) * 0.02 + (0.01 * (1 - 0.0003)) * 0.02 = 0.0199$$

$$P_{t(\text{Helm Response Error})} = 1 - P_{t(\text{Measures Error})} * P_{(\text{Helm Response Error})} \quad (4-59)$$

$$(1 - 0.0199) * 0.031 = 0.03$$

Και σύμφωνα με τη (4-53):

$$0.01 * 0.0003 + 0.0199 + 0.03 = 0.0499$$

4.3.3. ΤΟ ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΟ ΤΟ ΕΜΠΟΔΙΟ ΝΑ ΜΗΝ ΜΠΟΡΕΙ

ΝΑ ΑΠΟΦΕΥΧΘΕΙ P' (*obstacle unavoidable*)

Η πιθανότητα αυτή εκτιμήθηκε βάσει της ανάλυσης των στατιστικών στοιχείων σχετικά με τον αριθμό των ατυχημάτων στα οποία το εμπόδιο που θα ήταν αδύνατο να αποφευχθούν με ελιγμό αλλαγής πορείας έστω και αν αυτό είχε εντοπιστεί όπως και στο σενάρια A1, A2.

Συγκεκριμένα στη κατηγορία Suezmax εντοπίστηκαν 1 ατυχήματα από 3 συνολικά στο οποίο το εμπόδιο θα ήταν αδύνατο να αποφευχθεί. Η πιθανότητα $P(\text{obstacle unavoidable})$ υπολογίζεται παρακάτω.

$$P_{(\text{obstacle unavoidable})} = \frac{1}{3} = 0.3 \quad (4-60)$$

4.3.4. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΠΡΟΣΑΡΑΞΗΣ/ΕΠΑΦΗΣ

P'(Grounding)

Η Πιθανότητα προσάραξης μετά την ενσωμάτωση του συστήματος σόναρ δίδεται από τη σχέση (4-3

$$P_{(\text{Hazard Not Avoided})} = 0.1349 + 0.0499 + 0.3 - ((0.1349 + 0.0499) * (0.3)) = 0.4293$$

Σύμφωνα με το δέντρο ανάλυσης σφαλμάτων ισχύει:

$$P'_{(\text{Powered Grounding})} = P_{(\text{Unsafe Course})} * P_{(\text{Hazard not Avoided})} = 0.4293 * P_{(\text{Unsafe Course})} \quad (4-61)$$

Σύμφωνα με τους Brown και Haugene, χωρίς το σύστημα σόναρ, το ενδεχόμενο η πορεία του πλοίου να είναι επικίνδυνη είτε λόγω λάθους σχεδιασμού είτε λόγω παρέκκλισης οδηγεί αναπόφευκτα σε προσάραξη.

Συνεπώς:

$$P_{(\text{Unsafe Course})} = P_{(\text{Powered Grounding})} \quad (4-62)$$

συνεπάγεται ότι

$$F'_{(\text{Powered Grounding})} = 0.4293 * F_{(\text{Grounding})} \quad (4-63)$$

Η ποσοστιαία βελτίωση στην πιθανότητα προσάραξης είναι με βάση την (4-55):

$$(1 - 0.4293) * \frac{F_{(\text{Powered Grounding})}}{F_{(\text{Powered Grounding})}} * 100 \quad (4-64)$$

$$(1 - 0.4293) * 100 = 58.07\%$$

Ακολουθεί μια σύνοψη των αποτελεσμάτων των σεναρίων βελτίωσης από την ενσωμάτωση συστήματος σόναρ στις κατηγορίες Handys, Suezmax και VLCC.

Πίνακας 4-22 : Βελτίωση ρίσκου προσάραξης και επαφή από την ενσωμάτωση συστήματος σόναρ

	Handys	Suezmax	VLCC
Αρχικό ρίσκο	0.0833 τόνοι/πλοίο έτος	1.055 τόνοι/πλοίο έτος	4.707 τόνοι/πλοίο έτος
Ποσοστιαία βελτίωση	71.94%	62.99%	58.07%
Απόλυτη βελτίωση	0.0599 τόνοι/πλοίο έτος	0.6645 τόνοι/πλοίο έτος	2.733 τόνοι/πλοίο έτος

Πηγή: Από ανάλυση

Όπως φαίνεται στο παραπάνω πίνακα υπάρχει μια αντίστροφη σχέση μεταξύ βελτίωσης και μεγέθους πλοίου που οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι τα μεγαλύτερα πλοία έχουν λιγότερες πιθανότητες να αποφύγουν το εμπόδιο έστω και αν αυτό εντοπιστεί εγκαίρως.

5. ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΡΟΠΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΕΝΟΣ ΤΟΝΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ (COST OF AVERTING A TON OF OIL SPILLED, CATS)

Το κριτήριο CATS (Cost of Averting a Ton of oil Spilled) χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της οικονομικής αποτελεσματικότητας του προτεινόμενου συστήματος σόναρ στην αποτροπή προσαράξεων και επαφών των πλοίων υπό συνθήκες μη απώλειας πρόωσης ή πλοήγησης (Powered Grounding). Το σύστημα ορίζεται ως οικονομικά αποτελεσματικό, εφόσον, σε συνάρτηση με το ιδιωτικό κόστος της εφαρμογής του, επιφέρει μείωση του ρίσκου που ικανοποιεί το κριτήριο CATS. Σύμφωνα με τους Skjong (2007) και Vanem (2007b; 2008b) το κριτήριο περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά ενός ιδεατού κριτηρίου για τη διεξαγωγή της ανάλυσης το οποίο είναι:

- «Επιστημονικά επαληθεύσιμο.»
- «Εύκολο στην κατανόηση από ένα ευρύ ακροατήριο.»
- «Σχετίζεται με κάτι που είναι σημαντικό στους εταίρους.»
- «Εξελίσσεται σε σχέση με το χρόνο και τη γεωγραφική περιοχή, κατά τρόπο ώστε να είναι ενδεικτικό των βραχυπρόθεσμων, μεσοπρόθεσμων ή/και μακροπρόθεσμων αποτελεσμάτων ανάλογα με την περίπτωση.»

Πηγή: Psarros George, Skjong Rolf, Vanem Erik 2010: *Risk acceptance criterion for tanker oil spill risk reduction measures*

Το κριτήριο CATS έχει χρησιμοποιηθεί για τη διεξαγωγή της Τυπικής Αξιολόγησης Ασφάλειας (Formal Safety Assessments, FSA) από τον IMO που αποσκοπεί στην εκτίμηση της οικονομικής αποτελεσματικότητας των διαφόρων μέτρων ελέγχου του ρίσκου στη ναυτιλία.

Το κριτήριο βασίζεται στην αρχή:

$$\text{Costs of Averting a Spill} < F * \text{Cost of Spill (DMA \& RDANH, 2002)} \quad (5-1)$$

Το κόστος μιας διαρροής ορίζεται ως το άθροισμα του κόστους καθαρισμού και του κόστους αποκατάστασης των ζημιών (αποζημίωσης).

Το F είναι ένας παράγοντας διασφάλισης και εκφράζει την προθυμία της κοινωνίας (willingness-to-pay, WTP) να προσφέρει περισσότερους οικονομικούς πόρους σε

μέτρα αποτροπής της ρύπανσης αντί σε μέτρα θεραπείας (δηλαδή καθαρισμού και αποζημιώσεων).

Σύμφωνα με την ανάλυση κόστους οφέλους που χρησιμοποιήθηκε στην OPA 90 (USDOT, 2001), το κριτήριο το F ορίζεται στο 1.5 (Skjong et al., 2007; Vanem et al., 2007b; 2008b). Πρόσφατα, με βάση τα claims σε P&I clubs, οι Psarros, Skjong και Vanem (2010) κατέληξαν σε τιμές F από 1.25 μέχρι 1.75 και μέσο όρο 1.46 μια τιμή που είναι πολύ κοντά στην τιμή που προτάθηκε από τους Skjong και Vanem (2007).

Όπως έχει προαναφερθεί, το κριτήριο CATS αντιπαραβάλλεται με το λόγο του κόστους του προτεινόμενου μέτρου (δηλαδή του συστήματος σόναρ) προς τη μείωση του ρίσκου που αυτό παρέχει, σύμφωνα με τη σχέση:

$$CATS \geq \frac{\Delta C}{\Delta R} \quad (5-2)$$

όπου,

ΔC αντιστοιχεί στο κόστος εφαρμογής του μέτρου μείωση της ρύπανσης ανά πλοίο σε καθαρή παρούσα αξία. Το κόστος αυτό αποτελείται από το αρχικό κόστος και το ετήσιο λειτουργικό κόστος του μέτρου.

ΔR εκφράζει τη μείωση του ρίσκου ρύπανσης λόγω της εφαρμογής του μέτρου ανά πλοίο.

Γενικά ισχύει ότι το ρίσκο, R , ενός ατυχήματος εκφράζεται ως:

$$R = F * C \quad (5-3)$$

όπου,

F είναι η πιθανότητα ατυχήματος (π.χ. προσaráξεις ή επαφές ανά πλοίο-έτος)

C είναι η επίπτωση του ατυχήματος (π.χ. τόνοι διαρροής ανά προσάραξη ή επαφή)

Ως αποτέλεσμα της εφαρμογής του προτεινόμενου συστήματος, η μείωση του ρίσκου, ΔR ανά έτος ($\Delta R/\text{year}$) δίδεται από τη σχέση:

$$\Delta R_i = R_1 - R_2 = (P_2 * C_2) - (P_1 * C_1) = (\% \text{ Reduction}) * (P_1 * C_1) \quad (5-4)$$

Για διάρκεια ζωής του πλοίου ίση με H (έτη), η μείωση του ρίσκου, ΔR_T , ισούται με:

$$\Delta R_T = \Delta R_i * H \quad (5-5)$$

Σύμφωνα με τους Psarros, Skjong, Vanem (2010) προτείνεται η τιμή CATS = 80,000 USD/ton και η τιμή αυτή επιλέχθηκε και στην παρούσα ανάλυση.

5.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔC/ΔR **ΓΙΑ ΝΕΟΤΕΥΚΤΑ ΠΛΟΙΑ**

Για τον υπολογισμό του ΔC χρησιμοποιείται ο τύπος της καθαρής παρούσας αξίας (Net Present Value, NPV)³⁶

$$\Delta C, NPV = A_i + \sum_{i=1}^H \frac{x_i}{(1+r)^i} \quad (5-6)$$

όπου:

A_i είναι το αρχικό κόστος του μέτρου και περιλαμβάνει το κόστος αγοράς, εγκατάστασης και αρχικής εκπαίδευσης.

H είναι η διάρκεια ωφέλιμης ζωής των δεξαμενόπλοιων, και ορίζεται στα 25 έτη για νεότευκτα πλοία.

x_i είναι το λειτουργικό κόστος του μέτρου σε ετήσια βάση. Αυτό περιλαμβάνει το κόστος συντήρησης, επισκευής, ανταλλακτικών και το κόστος περιοδικής εκπαίδευσης και πιστοποίησης.

r είναι η ετήσια απόσβεση ίση με 5%.³⁷

Η ανάλυση του κόστους του προτεινόμενου συστήματος σόναρ παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

³⁶ INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, 2009: *FORMAL SAFETY ASSESSMENT*
FSA – Dangerous Goods Transport with Open-Top container vessels, Submitted by Denmark

³⁷ Το 5% είναι μια συνήθης τιμή απόσβεσης που επιλέγεται για τον υπολογισμό της παρούσας αξίας στις FSA.

Πίνακας 5-1: Στοιχεία κόστους συστήματος σόναρ.

Τύπος Κόστους	Κόστος Αγοράς (USD)	Κόστος εγκατάστασης (USD)	Κόστος εκπαίδευσης (USD/person)	Κόστος επιθεώρησης /συντήρησης (USD)	Κόστος ανταλλακτικών και επισκευής (USD)
Αρχικό	165,000	7,000	-	-	-
Ετήσιο Λειτουργικό	-	-	200	500	1112 + 1000

Πηγή: Από ανάλυση

Τα συνολικό κόστος αγοράς και εγκατάστασης ορίστηκε με βάση τα στοιχεία κόστους του συστήματος σόναρ FS - 3ER της εταιρίας Farsounder το οποίο συγκλίνει ως προς τις προδιαγραφές του προτεινόμενου συστήματος σόναρ. Το αρχικό κόστος εκπαίδευσης θεωρείται μηδενικό καθώς περιλαμβάνεται στην τιμή αγοράς.

Όσον αφορά το επιπρόσθετο κόστος εκπαίδευσης αυτό εκτιμήθηκε σε 800 USD ανά άτομο με βάση το κόστος εκπαίδευσης σε αντίστοιχα προγράμματα εν πλω (550-1,660 USD³⁸ ανά διημέριο). Με βάση ότι το πρόγραμμα εκπαίδευσης έχει τετραετή περιοδικότητα και καλύπτει έξι (6) μέλη του πληρώματος με το συνολικό ετήσιο κόστος να ανέρχεται σε 1200 USD³⁹.

Τέλος, το ετήσιο κόστος επιθεώρησης και συντήρησης ορίστηκε σε 500 USD, το κόστος ανταλλακτικών και επισκευής τού μη βρεχόμενου μέρους σε 1000 USD ανά βλάβη⁴⁰, ενώ το κόστος για επισκευές του βρεχόμενου μέρους του συστήματος ανά βλάβη θεωρήθηκε περίπου 8,000 USD (USD). Αυτού του τύπου επισκευές αφορούν κυρίως την αντικατάσταση του βρεχόμενου μέρους. Για MTBF ίσο με 40000 ώρες (h) και μέσο χρόνο λειτουργίας ανά έτος ίσο με 6000 ώρες (h) (= 250 * 24), η πιθανότητα αντικατάστασης είναι:

³⁸ Vanem, E., Eide, M.S., Gravir, G., Skjong, R., 2007a: *Cost-effectiveness of preventing grounding with ECDIS*.

³⁹ Denmark, Finland, Norway and Sweden, (2007) *Study on the effect of ENC coverage on ECDIS Risk reduction*.

⁴⁰ Denmark (2008) *FORMAL SAFETY ASSESSMENT FSA – Crude Oil Tankers*, σελ 108

$$1 - e^{-\lambda * T} \quad (5-7)$$

$$1 - e^{-\frac{1}{40000} * 6000} = 0.139$$

Θεωρώντας ότι το μέσο κόστος επισκευής του βρεχόμενου μέρους είναι 8,000 USD, τότε το ετήσιο κόστος επισκευής είναι = 0.139 * 8,000 = 1112 USD/year.

Για το μη βρεχόμενο μέρος το ετήσιο κόστος υπολογίζεται:

$$1 - e^{-\frac{1}{6000} * 6000} = 0.6321$$

Θεωρώντας ότι το μέσο κόστος επισκευής του μη βρεχόμενου μέρους είναι 1000 USD, τότε το ετήσιο κόστος επισκευής είναι = 0.6321 * 1000 = 632 USD/year.

Συνεπώς, το συνολικό κόστος εγκατάστασης σε παρούσα αξία μπορεί να εκφραστεί για νεότευκτα με βάση την (5-6):

$$165,000 + 7,000 + \sum_{i=1}^{25} \frac{(1,112 + 1,200 + 500 + 632)}{(1 + 0.05)^i} = 220,539 \text{ USD/ship}$$

Αντίστοιχα οι τιμές ΔR έχουν υπολογιστεί από τα σενάρια και με βάση τα Δέντρα Ανάλυσης Σφαλμάτων (Fault Tree Analysis, FTA) συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5-2: Βελτίωση ρίσκου προσάραξης ανά κατηγορία μεγέθους

Κατηγορία μεγέθους	Handys	Suezmax	VLCC
Απαιτούμενη εμβέλεια σόναρ	900 m	1329 m	1496 m
ΔR (πλοίο έτος)	0.0599 τόνοι/πλοίο έτος	0.6645 τόνοι/πλοίο έτος	2.733 τόνοι/πλοίο έτος
ΔR (πλοίο)	1.4975 τόνοι/πλοίο	16.125 τόνοι/πλοίο	68.325 τόνοι/πλοίο

Πηγή: Από ανάλυση

5.1.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔC/ΔR

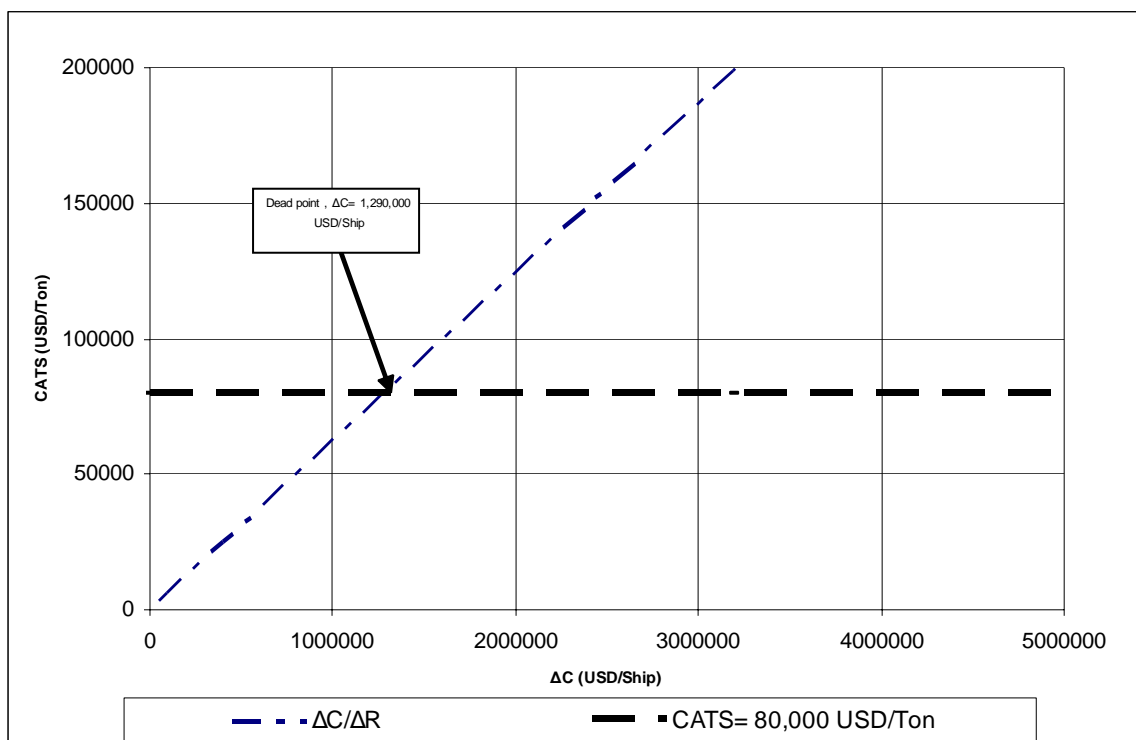
Με βάση τα παραπάνω υπολογίζεται η τιμή ΔC/ΔR για το σύστημα με εμβέλεια 900 μέτρων που αντιστοιχεί στην κατηγορία μεγέθους Handys.

$$\frac{220,539 \text{ USD/Ship}}{1.4975 \text{ Ton/Ship}} = 147,271.45 \text{ USD/Ton}$$

Σύμφωνα όμως με τους Psarros, Skjong, Vanem πρέπει ΔC/ΔR ≤ 80,000 USD/Ton. Άρα η εφαρμογή του συστήματος σόναρ σε πλοία Handys με σκοπό την αποφυγή των προσaráξεων και των επαφών κρίνεται οικονομικά αναποτελεσματική με βάση το κριτήριο CATS.

Η ελάχιστη απαιτούμενη εμβέλεια του σόναρ για την αποτροπή της προσάραξης σε πλοία μεγέθους Suezmax και VLCC ισούται με 1329 και 1496 μέτρα αντίστοιχα και δεν είναι εμπορικά διαθέσιμη. Συνεπώς, στο βαθμό που το κόστος εφαρμογής αυτών των συστημάτων είναι άγνωστο, η ανάλυση που ακολουθεί αποσκοπεί στην εκτίμηση του κόστους (ΔC/ΔR) και καθ' επέκταση του ΔC που καθιστά την εφαρμογή αυτών των σόναρ οικονομικά αποτελεσματική για κάθε μία από τις κατηγορίες μεγέθους πλοίων με βάση το κριτήριο CATS = 80,000 USD/Ton.

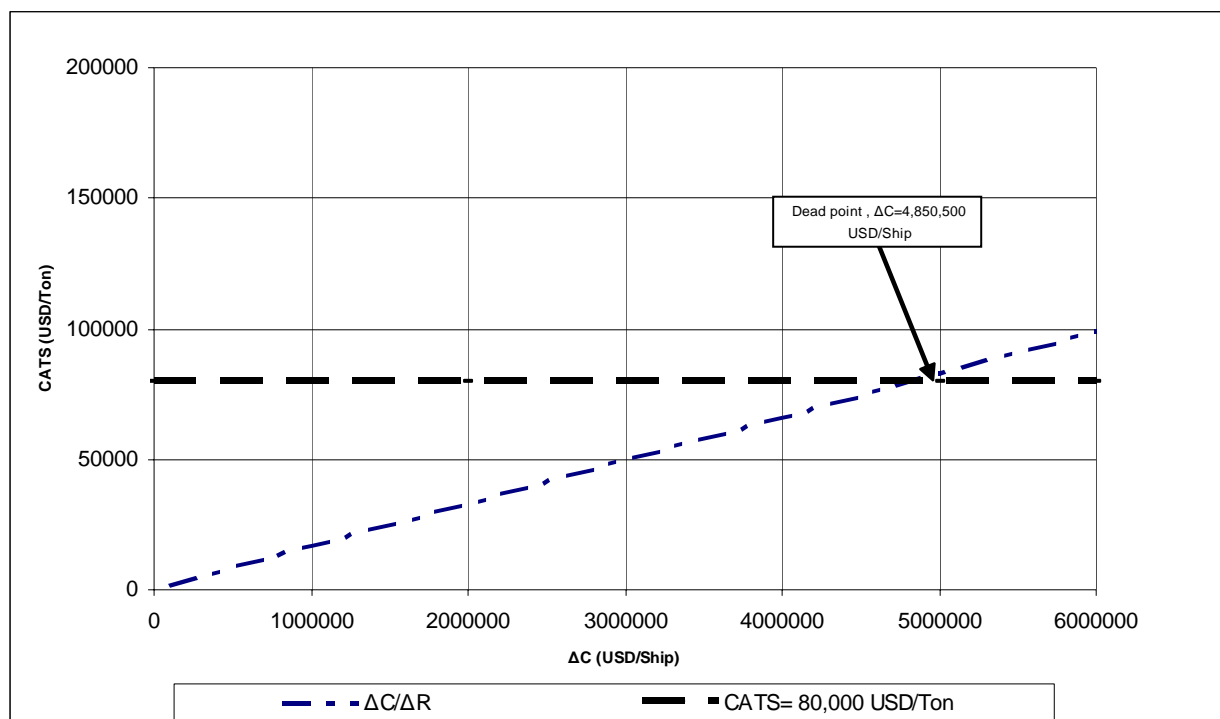
Διάγραμμα 5-1: Ανάλυση ευαισθησίας με βάση τη τιμή ΔC για πλοία μεγέθους Suezmax.



Πηγή: Από ανάλυση

Για τα πλοία Suezmax η εφαρμογή του σόναρ με εμβέλεια τουλάχιστον 1329 μέτρων κρίνεται οικονομικά αποτελεσματική εφόσον το ΔC είναι μικρότερο ή ίσο με 1,290,000 USD/Ship.

Διάγραμμα 4-2: Ανάλυση ευαισθησίας με βάση τη τιμή ΔC για πλοία μεγέθους VLCC.



Πηγή: Από ανάλυση

Αντίστοιχα για πλοία VLCC, η εφαρμογή του σόναρ κρίνεται οικονομικά από-τελεσματική όταν το ΔC είναι μικρότερο ή ίσο με 4,850,000 USD/Ship.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία γίνεται μία λεπτομερής ανάλυση της οικονομικής αποτελεσματικότητας ενός πρωαίου συστήματος σόναρ για τη μείωση των περιστατικών προσάραξης και επαφής (υπό συνθήκες πρόωσης), σε δεξαμενόπλοια μεταφοράς πετρελαϊκών υδρογονανθράκων και τον συνεπαγόμενο περιορισμό του ρίσκου ρύπανσης.

Αρχικά έγινε στατιστική ανάλυση των περιστατικών προσάραξης και επαφής για το σύνολο του στόλου δεξαμενόπλοιων κατά την περίοδο 2004-2007 και εφαρμόστηκε η τεχνική ALARP ώστε να διαπιστωθεί για ποιες κατηγορίες πλοίων το ρίσκο προσάραξης και επαφής υπερβαίνει το προκαθορισμένο όριο ανεκτικότητας. Ακολούθως, έγινε εκτίμηση της μείωσης των συχνοτήτων προσαράξεων λόγω της εφαρμογής του σόναρ μέσω της χρήσης Δένδρων Ανάλυσης Αστοχιών ή Συμβάντων (Fault Tree Analysis - FTA ή Event Tree Analysis - ETA).

Τα περιστατικά προσάραξης και επαφής, χωρίς απώλεια πρόωσης του πλοίου, διαχωρίστηκαν σε: α) προσάραξη ή επαφή με εμπόδια και β) προσάραξη ή επαφή με το βυθό λόγω πλεύσης σε αβαθή ύδατα.

Οι προδιαγραφές των εξεταζόμενων συστημάτων σόναρ είναι κυρίως βασισμένες στο εμπορικά διαθέσιμο μοντέλο Fs-3ER της εταιρίας Farsounder, με πραγματική εμβέλεια του σόναρ 900 μέτρων που ικανοποιεί την τεχνική απαίτηση αποτροπής προσάραξης για όλα τα πλοία μέχρι του μεγέθους Handymax, ενώ αντίστοιχες προδιαγραφές εφαρμόστηκαν και στα υποθετικά (μη διαθέσιμα) συστήματα με εμβέλεια 1329 και 1496 μέτρων για πλοία μεγέθους Suezmax και VLCC, αντίστοιχα. Το αρχικό κόστος του διαθέσιμου συστήματος (εμβέλεια 900 μέτρα) εκτιμήθηκε στα 172,000 USD, ενώ το ετήσιο λειτουργικό του κόστος σε 2,812 USD ετησίως. Για τα συστήματα μεγαλύτερης εμβέλειας (1329 και 1496 μέτρα) δεν υπάρχουν δεδομένα κόστους, αλλά γίνεται η υπόθεση ότι το κόστος τους δεν μπορεί να είναι χαμηλότερο του σόναρ εμβέλειας 900 μέτρων.

Για τον υπολογισμό της οικονομικής αποτελεσματικότητας των συστημάτων σόναρ χρησιμοποιείται η ανάλυση με βάση το κριτήριο C.A.T.S. που εκφράζει το μέσο κόστος αποτροπής ενός τόνου διαρροής πετρελαίου και ισούται με το κόστος καθαρισμού και αποζημίωσης αυτής της διαρροής. Για το κριτήριο εκτιμήθηκε μια

τιμή ίση με 80,000 USD/ton σύμφωνα με την έρευνα των Psarros, Skjong, Vanem (2010).

Με βάση τα ευρήματα της παραπάνω μεθοδολογίας, τα κύρια συμπεράσματα είναι:

- Το ρίσκο ρύπανσης των πλοίων μεγέθους Handys (Handysize & Handymax), Suezmax και VLCC βρίσκεται άνω του ανεκτού ορίου.
- Το μέγιστης εμβέλειας (900 μέτρων) εμπορικά διαθέσιμο σόναρ καθιστά τεχνικά εφικτή την αποτροπή προσάραξης σε πλοία μεγέθους Handys (ολικού μήκους μέχρι 197 μέτρα) με ταχύτητα πλεύσης μέχρι και 14 κόμβους.
- Για την αποτροπή προσάραξης πλοίων μεγέθους Suezmax και VLCC με ταχύτητα πλεύσης 15 κόμβων εκτιμήθηκε μια απαιτούμενη εμβέλεια σόναρ ίση με 1329 και 1496 μέτρα, αντίστοιχα.
- Όσον αφορά τη βελτίωση συχνότητων προσάραξης και επαφής σε αβαθή εκτιμήθηκε ότι το σόναρ δεν βελτιώνει τις συχνότητες προσαράξεων για καμία κατηγορία πλοίων λόγω της μεγάλης επίπτωσης του βάθους στην εμβέλεια χαρτογράφησης του συστήματος.
- Η μείωση των συχνότητων προσάραξης και επαφής για τα πλοία Handys εκτιμήθηκε ίση 71.94 %, για τα πλοία Suezmax ίση 62.99 % και για τα πλοία VLCC ίση 58.07%.
- Σύμφωνα με την ανάλυση της οικονομικής αποτελεσματικότητας των σόναρ με κριτήριο τιμή C.A.T.S. ίση με 80,000 USD/ton, διαπιστώθηκε ότι:
 - α) η εφαρμογή του σόναρ σε νεότευκτα πλοία Handys κρίνεται οικονομικά αναποτελεσματική με βάση τη σχέση του κόστους και μείωσης του ρίσκου.
 - β) η εφαρμογή μεγαλύτερης εμβέλειας σόναρ, τεχνικά επαρκή, για την απότροπή της προσάραξης στα μεγαλύτερου μεγέθους νεότευκτα πλοία Suezmax και VLCC, βρέθηκε να είναι οικονομικά αποτελεσματική υπό την προϋπόθεση το κόστος του σόναρ είναι $\leq 1,290,000$ και με $4,850,000$ USD/Ship, αντίστοιχα.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι η παρούσα εργασία κρίνει την οικονομική αποτελεσματικότητα της εφαρμογής του πρωραίου σόναρ ως μέτρου αποτροπής προσaráξεων και επαφών σε δεξαμενόπλοια, και, της συνεπαγόμενης από αυτές ρύπανσης μόνο με βάση το κόστος διαρροής πετρελαίου ή παραγώγων του (δηλ. το κριτήριο CATS). Όμως, στα περιστατικά προσάραξης δεν αποκλείονται τόσο η διαρροή άλλων ρυπαντικών φορτίων (π.χ. χημικών) καθώς και οι περιπτώσεις απώλειας ζωής ή τραυματισμού του πληρώματος, επιπτώσεις που αναπόφευκτα θα παρήγαγαν ένα σημαντικά υψηλότερο κριτήριο οικονομικής αποτελεσματικότητας του σόναρ.

Επιπρόσθετα, σε ότι έχει σχέση με την πλευρά του ιδιωτικού κόστους, στην παρούσα εργασία δεν γίνεται εκτίμηση για την αποτροπή οικονομικών συνεπειών (δηλ. τα οφέλη) που σχετίζονται με προσaráξεις ή επαφές του πλοίου, όπως η απώλεια εισοδήματος και φορτίου, το κόστος επισκευής του κ.α. Στην περίπτωση αυτή προκύπτει ένα «καθαρό» κόστος εφαρμογής του σόναρ (ΔC) αρκετά χαμηλότερο, που δύναται να καταστήσει την εφαρμογή του οικονομικά αποτελεσματική έναντι του κριτηρίου CATS ή και αρνητικό (δηλ. τα οφέλη υψηλότερα του κόστους εφαρμογής) με συνέπεια την επαλήθευση της οικονομικής του αποτελεσματικότητας ανεξαρτήτως κριτηρίου.

Τέλος, σύμφωνα με έρευνες που έχουν εκπονηθεί, μεγάλο ποσοστό των ατυχημάτων που συμβαίνουν παγκοσμίως δεν αναφέρονται στις αρμόδιες αρχές και συνεπώς δεν συμπεριλαμβάνονται στις βάσεις δεδομένων, ενώ σε πολλά περιστατικά που αναφέρθηκαν οι ποσότητες διαρροής πετρελαϊκών υδρογονανθράκων δεν έχει κατέστη εφικτό να υπολογιστούν. Συγκεκριμένα έχει υποστηριχθεί ότι κατά μέσο όρο το 50% των ατυχημάτων της περιόδου 2005-2009 δεν έχουν αναφερθεί (Martin HusseI, 2010). Η πληρέστερη συμμετοχή των ατυχημάτων στην ανάλυση αναπόφευκτα οδηγεί σε μεγαλύτερη μείωση του ρίσκου ρύπανσης (ΔR) και βελτιώνει την οικονομική αποτελεσματικότητα της εφαρμογής του σόναρ.

Η συνεκτίμηση όλων αυτών των παραγόντων μπορεί να καταστήσει οικονομικά συμφέρουσα την εφαρμογή του εμπορικά διαθέσιμου σόναρ στα Handys.

Τέλος πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η περίοδος που εξετάζεται (2004 - 2007) η ναυτιλιακή αγορά ήταν σε άνοδο το οποίο συνεπάγεται περισσότερα ταξίδια ανά πλοίο και μεγαλύτερη χρήση του στόλου. Με περισσότερα ταξίδια ανά πλοίο έτος

αυξάνονται αναλογικά και οι πιθανότητες προσάραξης και συνεπώς το ρίσκο προσάραξης.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ABS (2006), *Guide for vessel maneuverability*
- Alan Brown and Benedikte Haugene, (1998) *Assessing the Impact of Management and Organizational Factors on the Risk of Tanker Grounding*
- Alexander Yakubovskiy, (2010) *Navigation Sonar for the Ship Operator: Forward Looking Sonars and Multibeam Echosounders Explained*
- American Bureau of Shipping, (2006) *GUIDE FOR VESSEL MANEUVERABILITY*
- Arsham Mazaheri, (2009) *PROBABILISTIC MODELING OF SHIP GROUNDING: A review of the literature*
- Center For Tankship Excellence (www.c4tx.org), τελευταία επίσκεψη: 7/9/2012
- Chandler T. Faith, Chang Y.H. James, Mosleh, AliMarble L. Julie, Boring L. Ron, Gertman I. David, (2006): *Human Reliability Analysis Methods Selection Guidance for NASA*
- Denmark (2008) *FORMAL SAFETY ASSESSMENT FSA – Crude Oil Tankers*
- Denmark, Finland, Norway and Sweden, (2007) *Study on the effect of ENC coverage on ECDIS Risk reduction.*
- DMA and RDANH, 2002, “*Risk Analysis of Navigational Safety in Danish Waters*
- Ed Tucholski: *Detection theory*, usna.edu/Users/physics/ejtuchol/Lesson%2015%20Detection%20Theory, τελευταία επίσκεψη: 4/7/2012
- ELAC Nautik, (2011) *Navigation and Detection Sonar VANGUARD Optimum Protection for Surface Vessels*
- Erik Hollnagel, 2005: *Human Reliability Assessment in Context*, http://www.ida.liu.se/~eriho/HRA_M.htm, Τελευταία επίσκεψη 11/7/2012
- Ge Wang, American Bureau of Shipping; Dajiu Jiang, American Bureau of Shipping; Yung Shin, American Bureau of Shipping (2003) *Consideration of Collision and Contact Damage Risks in FPSO Structural Designs*
- George Psarros, Rolf Skjong, Erik Vanem (2010) *Risk acceptance criterion for tanker oil spill risk reduction measures*
- Hervé Abdi (2007) *Encyclopedia of Measurement and Statistics, Signal Detection Theory (SDT)*
- <http://en.wikipedia.org/wiki/CREAM>, τελευταία επίσκεψη: 10/7/2012
- http://www.clarksons.net/sin2010/markets/Feature.aspx?news_id=27363, τελευταία επίσκεψη: 4/7/2012
- http://www.farsounder.com/files/f31566_3d-sonar-brochure_3.0.pdf, τελευταία επίσκεψη: 6/6/2012

http://www.farsounder.com/multimedia/install_gallery, τελευταία επίσκεψη: 15/11/2012

International Tanker Owners Pollution Federation Limited (<http://www.itopf.com/information-services/>), τελευταία επίσκεψη: 10/7/2012

Jonathan I. McGregor, Colin S. Moore, Jonathan Downes, Seref Aksu, (2010) *Evaluation of the Environmental Risk of Aframax Tankers*

Jorge Luis Romeu: *Understanding Series and Parallel Systems Reliability*,
<http://www.theriac.org/DeskReference/viewDocument.php?id=219#top>, τελευταία επίσκεψη: 10/8/2012

Lloyds Casualty Week Μάιος 2004 – Δεκέμβριος 2007

MAN Diesel, (2009) *Propulsion Trends in Tankers*

Martin Hassel (2010) *Underreporting of maritime accidents to vessel accident databases*

Michael D. Amrozowicz, Alan Brown, Michael Golay, (1997) *A Probabilistic Analysis Of Tanker Groundings*

Michael R. Lyu, (1995) *software fault tolerance*, John Wiley & Sons, Inc.

N. Cockcroft, J. N. F. Lameijer, 2012: *A Guide to the Collision Avoidance Rules, 7th edition*, (σελ 174)

Qihu Li (2011), *Digital Sonar design in Underwater Acoustics*.

Reliability Analysis Center (RAC), (1996) *Introduction to Software Reliability: A state of the Art Review*.

Ross L. Dawe, (1999) *Detection Threshold Modelling Explained*

Scheer Gary W. (1998) *Answering substation automation questions through Fault Tree Analysis*

Trondheim, 2010

Urlick, R. J. 1983 *Principles of Underwater Sound*, 3rd ed. McGraw-Hill Book Company. p 383

Wolfgang Hoppe, (2004) *An Industry Applicable Approach to predict Software Reliability*

www.intertanko.com/upload/.../Time-s-Excel-Tanker-incidents.xls, τελευταία επίσκεψη: 4/7/2012

www.intertanko.com/upload/23184/Casual-Excel-Casualties-2010.xls, τελευταία επίσκεψη: 4/7/2012

www.marinetraffic.com, τελευταία επίσκεψη: 4/7/2012

www.shipspotting.com, τελευταία επίσκεψη: 4/7/2012

Παράρτημα 1: Προσαράξεις δεξαμενοπλοίων 2004 - 2007

Vessel name	Vessel Type	LOA	Date of grounding	Type of grounding	Spill reported	Area	Average Depth of area
Navion Stavenger	Crude Oil tanker	277 m	Jan 15 2004	Powered	No	-	-
Metin Ka	Chemical Tanker	100 m	Jan 23 2004	Powered	No	Near the Halilyat Islands, north-east of Salalah	-
Aleksandr Pokryshkin	Crude oil Tanker	243 m	Feb 23 2004	Powered	No	Puerto Cortes Harbour	-
Astro Phoenix	Crude Oil Tanker	274 m	Feb 29 2004	Powered	No	Suez Canal	-
Mario	Chemical/Product Tanker	About 176 m	Mar 20 2004	Unknown	No	Grounded near Buyukliman	-
Adeilaida L.	Oil/Chemical Tanker	100 m	14 April 2004	Powered	No	Parana river	10.5
Front Symphony	Crude Oil tanker	272 m	16 Apr 2004	Powered	No	Suez Canal	21
Elena X.	Product Tanker	>100 m	Jun 2 2004	Powered	No	West of Rio Antirio bridge	-
Attilio Ievoli	Chemical Tanker	116 m	Jun 3 2004	Powered	No	Entrance to Lymington Harbour.	-
Sea Splendor	Product Tanker	About 176 m	Jun 3 2004	Drift	No	Everingen C. anchorage River Scheldt	-
British Enterprise	Chemical/oil Tanker	182 m	Jun 29 2004 and Jul 1 2004	Powered	No	Beira access channel	11m
Shohei Maru	Product Tanker	>100 m	Jul 4 2004	Powered	93 tons	Fukuoka shore reef	-
No.1 Dae Bu	Chemical/oil Tanker	>100 m	Jul 4 2004	Drift	No	W-a anchorage Yosukorea	-
Nelson	Non specific Tanker	110 m	Aug 17 2004	Powered	No	Rhine river koblez	1 to 8m
Chembulk Singapore	Chemical Tanker	141 m	Aug 20 2004	Powered	No	Mokha port entrance, Red sea	7-10m
Rheinstern	Chemical/Oil Tanker	161 m	Sep 2 2004	Powered*	No	Nord-Ostsee-Kanal bank	11m
Cape Banks	Chemical/oil Tanker	179 m	Sep 4 2004	Powered	No	Mersin port	14m

Lucky Lady	Crude Oil Tanker	200 m	Sep 10 2004	Powered	1200 tons	Cilacap port	15m
Commodore	Chemical Tanker	About 180 m	Sep 11 2004	Unknown	No	River scheldt buoy 75	13m
Torm Gerd	Product Tanker	185 m	21 sep 2004	Powered	No	chesapeake and Delaware Canal just east of the St. Georges Bridge	11m
Cristallo	Chemical Tanker	125 m	Sep 26 2004	Powered	No	Mirmigia Selinion Salamis	-
Yukon	Tanker	176 m	Sep 27 2004	Drift	No	Yokosuka Naval Base	-
Bellona	Product Tanker	87 m	Oct 6 2004	Drift	No	Alleged engine average, went in reverse and grounded in river	20,5m
Fotini Lady	Crude oil Tanker	228 m	Oc1 2004	Powered	No	Hatter rev area, kattegat	20m
Nysa	Crude oil Tanker	176 m	Sep 29 2004	Drift	Unknown	Freeport bahamas	14m
Luzon spirit	Crude oil Tanker	244 m	Oct 13 2004	Drift	No	Fredericia	-
Kristin Poling	Product Tanker	88 m	Nov 2 2004	Powered	No	Newark bay Arthur Kill channel	12-13m
Tropic Brilliance	Crude oil Tanker	274 m	Nov 7 2004	Drift	No	Suez Canal	21m
Ilona	Non specific Tanker	About 176 m	Nov 16 2004	Powered	No	Buoy 29 River Scheldt	13m
Centaurus	Product Tanker	About 100 m	Nov 23 2004	Drift	No	Stanley Harbour	7-9m
Yakit I	Product Tanker	>100 m	Nov 19 2004	Unknown	Unknown	Istanbul Bosphorus	-
Montana sun	Chemical/ Oil Tanker	176 m	Nov 19 2004	Powered	Unknown	Entrance to Zarzis	12-14m
Gullmartank / Ex. Brevik	Chemical Tanker	47 m	Nov 25 2004	Powered	No	Slottoen, Trollhatte Canal	6m
Atlantic Transport	Non specific tanker	>100 m	Nov 29 2004	Powered	No	River Scheldt	13m
Kissho Maru	Chemical/oil Tanker	59 m	Dec 5 2004	Drift	No	Coast of Chiba Prefecture	-

Stolt Tern	Chemical Tanker	96 m	Dec 1 2004	Powered	No	Holyhead harbour breakwater	15m
British Enterprise	Chemical/Oil tanker	182 m	Dec 11 2004	Powered	Unknown	lat 40 56 07N, long 28 50 08E	-
Dragon 1	Bunker Tanker	>100 m	Dec 31 2004	Powered	170 tons	Rock at Pattaya coast Between kho kram and kho sak	-
Orfeo	Product Tanker	>100 m	Jan 14 2005	Drift	No	Port of Coatzacoalcos channel	15m
Minerva Eleonora	Crude oil Tanker	244 m	Jan 24 2005	Unknown	No	Zeebrugge Antwerp Port Channel	13m
Regensburg	Inland Tanker	95 m	Jan 21 2005	Powered	No	Touched ground near Nackenheim	-
Red point	Chemical Tanker	192 m	Feb 3 2005	Powered	No	Entrance to river Amazon	45m
Fantasy	Product Tanker	>100 m	Feb 25 2005	Unknown	No	Mile 117, River Mississippi	-
Chembulk New Orleans	Chemical Tanker	174 m	Mar 7 2005	Unknown	No	Cartagena	-
Python	Inland non specific Tanker	>100 m	Mar 18 2005	Powered	No	River scheldt	13m
Konemu	Product Tanker	>100 m	Apr 1 2005	Drift	Unknown	Wadra Reef, Isle of Pine	-
Arteaga	Crude oil Tanker	275 m	Apr 2 2005	Powered	180 tons	Port of Dalian	25m
Georg. Essberger	Chemical Tanker	100 m	Apr 1 2005	Powered	No	Sandbar Off Uusikapunki	-
Ivyan	Chemical/ oil Tanker	125 m	Apr 11 2005	Powered	No	Rocks at Azophic sea Erdek, Balikesir	7m
Spica	Chemical/ oil Tanker	178 m	Apr 7 2005	Powered	No	Section 105, Montreal dock, Quebec City	9.5m
Saetta	Crude oil Tanker	178 m	Apr 20 2005	Powered Bottom contact	25 tons	Coral reef in Cartagena, two miles off Bocachica	13m

Chinook	Product tanker	189 m	Apr 21 2005	Drift	No	Dardanelles	-
Volgoneft 107	Product Tanker	100 m	May 18 2005	Drift	No	Neva river	8-11m
Brienzersee	Inland Tanker	110 m	Jun 12 2005	Drift	No	River Rhine near Oestrich	23m
Therassia	Crude oil Tanker	263 m	Jun 13 2005	Powered	No	Southwest Pass new orleans, Mississippi	14m
Nicholas M.	Product Tanker	100 m	Jun 21 2005	Unknown	No	Grounded while transiting Dardanelles near Dogan Aslan	-
Loyalty	Product Tanker	229 m	Jul 18 2005	Drift	No	New York, Ambrose Channel	16m
Agios Georgios	Chemical /oil Tanker	59 m	Aug 8 2005	Powered	No	Ag. Georgios, Skiathos	-
Strymon	Chemical tanker	182 m	Aug 9 2005	Powered	No	Bottom while docking in Montreal	9- 11 m
Sea star	Chemical / Oil Tanker	>100 m	Aug 16 2005	Unknown	No	Singapore straits near Palau Hantu	-
Halifax	Product Tanker	176 m	Aug 19 2005	Powered	No	Gluckstadt on the River Elb	16m
Baltic Captain I	Chemical/ Oil Tanker	183 m	Sep 2 2005	Unknown	No	Pelican Island, Houston Ship Channel.	13m
Cora	Product Tanker	About 100 m	Sep 13 2005	Drift	No	River Weser close to the port of Brake	-
Durgandini	Product Tanker	183 m	Oct 5 2005	Powered	Unknown	Cilacap water buoy 2	-
Sten Embla	Chemical oil Tanker	134 m	Oct 5 2005	Powered	No	Duplin port	-
Tasco 1	Asphalt Tanker	104 m	Oct 12 2005	Unknown	No	Luhuashan waters near the estuary of the Yangtze River	-
Torill Knudsen	Chemical / oil Tanker	142 m	Oct 7 2005	Powered	No	Embakment near	11m

						Gruenthal Bridge and Fischerhuetten, in the Kiel Canal	
Phillip Essberger	Chemical/ oil Tanker	100 m	Oct 27 2005	Drift	No	Oostgat near Westduin	-
Venlo	Inland Tanker	86 m	Oct 23 2005	Powered	No	River IJssel near Deventer	2.5m
Alfa Italia	Crude oil Tanker	250 m	Oct 27 2005	Drift	No	Hamburg port	15m
Kera	Product Tanker	>100 m	Oct 29 2005	Drift	No	Freeport,	14m
Yemen Star 1	Non specific Tanker	>100 m	Oct 24 2005	Powered	No	Haulaf beach, in Socotra	-
Stainless Dolphin	Chemical/ oil Tanker	98 m	Nov 3 2005	Powered	No	Islet Agios Nikolaos, two nautical miles from the area of Glifas	-
Overseas Colmar	Crude oil Tanker	191 m	Nov 16 2005	Drift	No	Port of Okruzhnoye	-
Sperchios	Product Tanker	236 m	Nov 21 2005	Powered	No	17 57.69N, 66 46.06W	-
Kition	Crude oil Tanker	243 m	Dec 5 2005	Powered	No	Houston Ship Channel and the Intracoastal Waterway junction	13m
Sunny Blossom	Chemical/ oil Tanker	About 100 m	Dec 6 2005	Drift	No	Elbe river	16m
Blackfriars	Product Tanker	70 m	Dec 21 2005	Drift	No	Kyle of Lochalsh in the west Highlands of Scotland	-
Eagle Carina	Crude oil Tanker	246 m	Dec 18 2005	Drift	No	Bozcaada	-
Ledastern	Chemical / oil Tanker	124 m	Dec 15 2005	Powered	No	Belfast harbour, oil berth 1	8.5m
Archangelos Gabriel	Product Tanker	228 m	Dec 26 2005	Unknown	No	Near Glaveston island	-
Gudrun	Product Tanker	58 m	Dec 28 2005	Powered	No	Scharhorn Reef,	-

						in the Elbe estuary	
Red Wing	Chemical/ oil Tanker	119 m	Dec 28 2005	Powered	No	Landskrona, 3.6 km from shoreline at Vastflacket	About 17m
Syndstraum	Chemical tanker	-	Dec 28 2005	Unknown	No	Lat 54 42.6N. long 10 56.4E	-
Taiho Maru	Product tanker	79 m	Dec 28 2005	Unknown	No	Lat 34 03.5N, long 132 27.3E.	-
Chemtrans ray	Product tanker	227 m	Jan 3 2006	Unknown	No	Lower Mississippi	-
Overseas Fran	Crude oil Tanker	250 m	Jan 4 2006	Unknown	No	Port of Tallinn	5m
Presidente Arturo Umberto Illia	Product tanker	215 m	Jan 4 2006	Powered	No	Km 13.6 of Canal Emilio Mitre	-
Desh Rakshak	Crude oil tanker	244 m	Jan 12 2006	Powered	No	inbound for Geelong	11- 12m
Erik Spirit	Crude oil Tanker	250 m	Jan 16 2006	Drift	No	Lower Mississippi river	-
Kojima Maru No. 52	Chemical tanker	>100 m	Jan 13 2006	Drift	No	Mutsurejima anchorage	-
Kerfons	Product tanker	115 m	Jan 16 2006	Powered	No	Entrance of Degrad de Cannes	5-6m
Kim Jacob	Crude oil Tanker	274 m	Jan 31 2006	Powered	No	Sandbank at Isla borracha	-
Christos	Product Tanker	76 m	Feb 3 2006	Unknown	No	east of island Halki	-
Tugen	Product Tanker	115 m	Feb 3 2006	Drift	No	Morondava roads, Madagascar	-
Seabulk Pride	Product tanker	183 m	Feb 2 2006	Drift	2.6 tons	Alaska Port	-
High Rider	Product Tanker	181 m	Feb 20 2006	Drift	No	Proceeding to San Lorenzo	-
Eiltank 5	Non Specific Tanker	>100 m	Feb 19 2006	Drift	No	Left side of the Rhine were it stuck fast, close to the bunker station Lobith	-
Yeosu Pioneer	Chemical /oil	69 m	Feb 21	Unknown	No	Lat 63 40N,	-

No.2	Tanker		2006			long 20 20E	
Pandion	Asphalt Tanker	117 m	Mar 4 2006	Unknown	Unknown	Near Holmsund	-
Sanko Breeze	Crude oil Tanker	270 m	Mar 10 2006	Powered	No	Lower mississippi marker 128	-
Azov Mariner	Product Tanker	130 m	Mar 22 2006	Powered	No	Shoal near Malmo port	10m
Weserstern	Chemical/ oil carrier	127 m	Apr 3 2006	Drift	No	Port of Porvoo	20m
Margara	Product Tanker	228 m	Apr 27 2006	Powered	No	Reef near Puerto Rico 17 57.7N, 66 43.6W	-
Potengi	Product Tanker	218 m	Apr 27 2006	Powered	No	River Parana, km 340	-
Ventspils	Product Tanker	113 m	May 1 2006	Powered	No	Sea of Okhotsk	-
Lucky Star	Non specific Tanker	>100 m	May 17 2006	Drift	No	At outer No 1 anchorage area of Kaohsiung port	21m
Malitam	Product Tanker	>100 m	May 13 2006	Drift	No	Coast of Pinamalayan in Oriental Mindoro province, central Philippines.	-
Piz Buin	Non specific Tanker	>100 m	May 16 2006	Unknown	No	Rhine close to Bonn	-
Stolt Basel	Chemical Tanker	>100 m	May 17 2006	Drift	No	Leaving the port of Wesseling, on the Rhine, via stern	-
Vitta Theresa	Chemical tanker	>100 m	January 2006	Powered	No	Breakwater outside Lagos, Nigeria	10m
Adele	Chemical/ oil Tanker	165 m	May 24 2006	Powered	No	Lat 40 29.7N, long 22 48.2E, Thermaikos gulf	20m
Billy star	Coastal tanker	183 m	May 28 2006	Drift	Unknown	-	-
Stolt Zulu	Chemical Tanker	158 m	May 19 2006	Drift	No	Mile 178, lower River	-

						Mississippi	
Emerald Queen	Crude oil Tanker	246m	May 19 2006	Powered	No	Corio Channel	-
Overseas Capemar	Product Tanker	172 m	May 27 2006	Drift	No	Kochi outer harbour	20m
Folegandros	Product Tanker	184 m	Jun 28 2006	Powered	No	Between buoys 33/34 in the middle of Maracaibo Channel, Venezuela	11m
Ayla*	Non Specific Tanker	>100 m	Jul 4 2006	Powered	No	Wesseling harbour	-
Sea Jaguar	Crude oil Tanker	244 m	Jul 3 2006	Powered	No	Suez canal	21m
Young Lady	Crude oil Tanker	110 m	Jul 2 2006	Powered	No	Houston Ship channel	13m
Ana B.	Chemical/ oil Tanker	109 m	Jul 10 2006	Unknown	No	Manaus, on the River Amazon	-
Fidelity	Product Tanker	192 m	Jul 5 2006	Powered	No	Near Rosario, River Parana	10,4m
Anna	Chemical Tanker	100 m	Jul 14 2006	Powered	Unknown	Kalpaka Bridge in the Karaosta channel, Liepaja	-
Bocau	Product Tanker	> 100 m	Jul 14 2006	Drift	No	At the mouth of the Manila's Pasig River	-
Eiltank 31	Inland Tanker	>100 m	Jul 13 2006	Drift	Unknown	Rhine at Lorch	-
Majestic Unity	Crude oil Tanker	330 m	Jul 16 2006	Drift	No	In the vicinity of Dalian port	-
Lucky Star	Non Specific Tanker	>100 m	Jun 30 2006	Drift	Unknown	No 1 anchorage area of Kaohsiung port	20m
Fantasy I	Chemical Tanker	About 170 m	Aug 15 2006	Powered	No	San Lorenzo roads	-
Pacific Sapphire	Crude oil Tanker	180 m	Aug 2 2006	Drift	No	200 feet south of Light 64, Mobile Ship Channel	-
Melanie	Non Specific Tanker	77 m	Aug 18 2006	Drift	No	Rhine, near Mannheim	-

Tsezar	Product Tanker	84 m	Sep 1 2006	Powered	No	near Skryplev Island	-
Asdrubal	Acid Tanker	About 155 m	Sep 11 2006	Drift	No	grounded at Km 150, Suez Canal	21m
British Tranquility	Chemical/ oil Tanker	183 m	Sep 19 2006	Unknown	No	Touched bottom briefly at Galveston Bay	2.1m
Clipper Kristin	Chemical / oil Tanker	116m	Sep 23 2006	Drift	No	went aground at Camerons Crab near Camerons Island in the St. Lawrence Seaway	12m
Anna PC	Crude oil Tanker	274 m	Sep 22 2006	Powered	875 tons	Suez canal	21m
Xing long Zhou	Non Specific Tanker	41 m	Sep 23 2006	Powered	No	Huangpu River	9m
Jet L. SY6597	Chemical tanker	69 m	Sep 25 2006	Powered	No	Kea Island	-
Dainichi Maru	Product Tanker	77 m	Sep 30 2006	Powered	No	Lat 33 57.3N, long 132 10.6E, Kammon channel	-
Stena Tiger	Chemical/ oil tanker	175 m	Oct 4 2006	Drift	No	51 20 38.39N, 04 17 3.22E	-
Diamond Star	Chemical/ oil Tanker	124 m	Oct 7 2006	Drift	No	Thessaloniki	-
Golden Bay	Non Specific Tanker	>100m	Oct 10 2006	Drift	Unknown	Off Marsascala, Malta	-
Elise	Non specific Tanker	105 m	Oct 8 2006	Powered	Unknown	Westercheldt river	-
VLADIMIR VYSOTSKIY	Product Tanker	152 m	Oct 20 2006	Drift	No	Bound Montreal, loaded ran aground near Sorel	-
Petro Clarissa	Coastal Tanker	>100m	Oct 22 2006	Drift	No	Siete Pecados island off Iloilo province, central Philippines	-
Lian Shun Hu	Crude oil Tanker	227 m	October	Drift	No	anchored at	-

			29 2006			Marcus Hook from Curacao	
Stoc Petrea	Product Tanker	87 m	Nov 11 2006	Drift	No	Ghent canal	13.5
W-O Tsjoch	Chemical/ oil Tanker	141 m	Nov 3 2006	Drift	No	Building yard Vorlharding	-
Hakuyo Maru	Product Tanker	69 m	Dec 22 2006	Powered	No	33 57.35N, 130 44.10E	-
Pallas	Product Tanker	>100 m	Dec 27 2006	Unknown	Unknown	Gothenburg archipelago	-
Freja Asia	Product Tanker	183 m	Jan 1 2007	Unknown	No	Maracaibo between buoys 54 and 56 Maracaibo channel	11m
Agia Zoni	Product Tanker	63 m	Jan 11 2007	Powered	No	The rocky island "Petrokaravo", some 3.5 nautical miles north of Poros island, in Saronikos Gulf	-
Chemtrans Moon	Product Tanker	228 m	Jan 11 2007	Drift	No	Amsterdam port	-
Dissidentia	Non specific Tanker	110 m	Jan 18 2007	Powered	No	Rhine river	-
Omega	Chemical Tanker	86 m	Jan 18 2007	Powered	No	Rhine river	-
Mare Salernum	Crude Tanker	245 m	Jan 8 2007	Drift	No	The quay of AB "Klaipedos Nafta"	
B. L. I	Product Tanker	75 m	Jan 25 2007	Powered	No	Ermoupolis port, Syros	2-4m
Weserster	Chemical/ oil Tanker	127 m	Jan 29 2007	Drift	No	Tallin port	5m
Choyo Maru	Crude oil Tanker	About 240m	Jan 31 2007	Powered	No	34 03.433N, 132 27.319E	-
Rebecca	Crude oil Tanker	245 m	Jan 27 2007	Unknown	No	Grounded near Texas city Light 7, Details unknown	-
Trinity	Chemical/ oil Tanker	183 m	Jan 28 2007	Powered	No	off Longkou, China, while approaching	10m

						the port	
Propontis	Crude oil Tanker	249 m	Feb 9 2007	Unknown	No	Gulf of Finland	37m
Fionna Swan	Non Specific Tanker	148 m	Feb 14 2007	Unknown	No	River weser	14m
Prometey*	Non specific Tanker	60 m	Feb 17 2007	Powered	No	near the Russian Black Sea port of Novorossiysk	12m
Piz Sedley	Non specific Tanker	>100 m	Feb 16 2007	Powered	No	between Wentdorf and Mueggendorf on the Elbe	16m at high tide
Antonia	Crude oil Tanker	>100 m	Mar 8 2007	Unknown	No	43 35N, 17 01E	-
Eagle Auriga	Crude oil Tanker	241 m	Mar 21 2007	Unknown	No	Lake Maracaibo	26m
MMM Galveston	Product Tanker	116 m	Mar 15 2007	Unknown	No	No details	-
Pacific Harmony	Crude oil Tanker	235 m	Mar 12 2007	Powered	No	Tokuyama Shimomatsu port to an anchorage area,	12m
Samothraki	Product Tanker	183 m	Mar 17 2007	Powered	No	Run aground off Gibraltar, 36 06.5N, 05 20.77W	-
Pallas	Product tanker	40 m	Mar 22 2007	Unknown	No	Between Hono and Groto i Goteborgs, off Gothenburg	10m
Cabo Pilar	Crude oil Tanker	228 m	Mar 27 2007	Powered	No	sand bar seven kms from Salvador	-
Phoenix Beta	Crude oil tanker	247 m	Apr 2 2007	Drift	No	Maracaibo Channel	11m
Baltic Seagull	Product Tanker	86 m	Apr 9 2007	Drift	No	St. Petersburg sea channel	12-14m
Punita	Product Tanker	183 m	Apr 10 2007	Drift	No	One nautical mile off Paradip port	-
Eagle Carina	Crude oil Tanker	246 m	Apr 13 2007	Unknown	No	Grounded in river Mississippi,	-
Maersk Nordernham	Product Tanker	144 m	Apr 16 2007	Unknown	No	-	-
Sichem	Chemical / oil	115 m	Apr 12	Drift	No	St. Lawrence	12.5m

Aneline	Tanker		2007			River	
Rio Bravo	Product Tanker	124 m	Apr 17 2007	Unknown	No	Stranded Off the coast of Greenville, Liberia	-
Cielo di Guangzhou	Product Tanker	170 m	Apr 19 2007	Powered	No	Run aground at suez canal entrance	-
Minerva Concert	Crude oil Tanker	233 m	May 14 2007	Powered	No	grounded at Hatter Barn channel	15- 20m
Vasillios XVIII	Asphalt Tanker	70 m	May 11 2007	Powered	No	Run aground in swallow waters near port of milos	-
United Dynamic	Crude oil Tanker	274 m	May 19 2007	Powered	No	Grounded at entrance of Suez canal eastern branch	-
Jo Betula	Chemical/ oil Tanker	150 m	May 27 2007	Unknown	No	Details Unknown	-
Torm Signe	Product Tanker	227 m	Jun 9 2007	Unknown	No	Guanabara Bay	-
Eagle Otome	Crude oil Tanker	246 m	Jul 2 2007	Unknown	No	Grounded in Galveston South Fairway	-
Genki Star	Chemical/ oil Tanker	80 m	Jul 12 2007	Powered	No	shallows in 35 40.318N, 139 57.046E	-
Vernal Grace	Chemical/ Oil Tanker	110 m	Jul 12 2007	Powered	No	Hoogly river at kulpi	-
Star Hero	Crude oil Tanker	300 m	Jul 17 2007	Drift	Unknown	Suez canal	21m
Yamabishi Maru No.16	Chemical Tanker	64 m	Jul 12 2007	Powered	No	Shallows in 35 19.2N, 139 45.6E	-
Fryken	Product Tanker	100 m	Jul 25 2007	Unknown	Unknown	-	-
Abram Schulte	Crude oil Tanker	228 m	Aug 12 2007	Powered	No	Galveston Safety Fairway	-
Eizan Maru no 32	Product Tanker	215 m	Aug 15 2007	Powered	No	Shallows in 34 20.8N, 133 39.3E	-
Pandion	Asphalt Tanker	117 m	Jul 17 2007	Powered	No	Duplin Port	5-6m
Stena Tiger	Chemical/ oil Tanker	175 m	Aug 12 2007	Drift	No	Lower mssissippi	-
Aliakmon	Product Tanker	214 m	Sep 5	Powered	No	At Mile 202,	-

			2007			River Mississippi	
Marine Prime	Chemical Tanker	70 m	Sep 3 2007	Powered	No	Near Shimomizu Island, Mizushima port shallow waters	-
Rajani Gandha-1	Product Tanker	>100 m	Aug 19 2007	Unknown	Unknown	-	-
Mekhanik Rudenko	Chemical Tanker	55 m	Aug 28 2007	Powered	No	Entrance to Bosfor Vostochnyy, in the approaches to Vostochnyy port	14-15m
Stolt Skua	Chemical/ oil Tanker	About 100 m	Aug 29 2007	Powered	No	Maas river near botlek	-
Aliakmon	Product Tanker	214 m	Sep 4 2007	Powered	No	near Shimomizu Island, Mizushima port,	-
Marine Prime	Non specific tanker	70 m	Sep 11 2007	Powered	No	ran aground in shallows at the north side of Nogutsu Island	
KWK Esteem	Crude oil Tanker	244 m	Sep 10 2007	Unknown	Unknown	Details Unknown	-
Kapitan Timopheev	Product Tanker	>100m	Sep 12 2007	Powered	Unknown	ran aground at the 2708 km mark of the river Volga	-
Ginrei	Product Tanker	78 m	Sep 12 2007	Powered	No	lat 33 58N, long 132 41.9E,	
Bow Star	Chemical Tanker	182 m	Sep 13 2007	Unknown	No	outbound from Pulau Batam	-
Varden	Chemical Tanker	172 m	Sep 18 2007	Drift	No	Suez Canal at Port Said	13m
Volgoneft 262	Product Tanker	>100 m	Sep 28 2007	Powered	No	Chembovska fairway, Km 1167, River Svir sanbar	-
Energy Champion	Product Tanker	228 m	Oct 1 2007	Powered	No	Sorel	9 -10m

West Stream	Chemical/ oil Tanker	80 m	Oct 19 2007	Powered	No	Sanbank at Westcoast of Norway 59 25N, 05 14E	-
Mekhanik Khachepuridze	Product Tanker	137 m	Nov 7 2007	Powered	No	River Volga sand bar	-
Ekfors	Chemical Tanker	135 m	Nov 9 2007	Drift	Unknown	Slagentangen refinery (near Oslo)	-
Eagle Carina	Crude oil Tanker	246 m	Nov 14 2007	Powered	No	Mississippi River, in the vicinity of Baton Rouge	14m
Ratna Shalini	Crude oil Tanker	242 m	Nov 17 2007	Powered	No	main channel of Kochi port	20m
Sc Sara	Crude oil Tanker	239 m	Nov 26 2007	Drift	No	Grounded outside Mehmetcik Lighthouse, Dardanelles	-
Avant	Chemical Tanker	80 m	Dec 2 2007	Unknown	No	Leirbunnen off Halså	5m
Saltstraum	Chemical Tanker	80 m	Dec 8 2007	Powered	No	Grounded in Royrasundet, near the Heroy Bridge	-
C. Felix	Chemical Tanker	141 m	Dec 10 2007	Powered	No	Kochi Port	20m
Ray	Product Tanker	227 m	Dec 13 2007	Unknown	No	Details Unknown	-
Eiltank 210	Non specific Tanker	105 m	Dec 15 2007	Powered	No	a stone wall at Schoonhoven	-
W-O Hanhan	Chemical Tanker	135 m	Dec 29 2007	Powered	No	10 59 43N, 60 48 54W	80m
Golden Georgia	Chemical/ oil Tanker	148 m	Dec 30 2007	Powered	No	33 57.82N, 130 51.23E shallows	8-10m

Πηγή : Από στατιστική ανάλυση

Παράρτημα 2: Επαφές δεξαμενοπλοίων 2004 - 2007

Vessel name	Vessel Type	LOA	Date of Contact	Type of contact	Spill reported	Area	Average Depth of area
Israa	Crude Oil Tanker	244 m	Mar 31 2004	Powered Contact	10 tons	King Fahd Shipyard	-
Tireless	Chemical Tanker	176 m	Jul 6 2004	Powered Contact	No	Toamasina	-
Cape Bowen	Crude Oil Tanker	274 m	Jul 7 2004	Unknown	No	Quanzhou	-
Genmar Transporter	Crude Oil Tanker	223 m	Jul 7 2004	Powered Contact	No	Quanzhou	-
Afros I	Chemical/Oil Tanker	75 m	Aug 1 2004	Powered Contact	1 ton	Off Eleusis	-
Britanis	Crude Oil Tanker	332 m	Aug 16 2004	Powered Contact	No	No.1 South Pier, Sao Sebastiao	-
Athos 1	Crude Oil Tanker	228 m	Nov 27 2004	Powered Contact	850 tons	At Mantua Creek anchorage	-
Al Samidoon	Crude Tanker	332 m	Dec 14 2004	Powered contact	9000 tons According to ITOPF	Suez canal	21m
Ievoli Splendor	Chemical/Product Tanker	166 m	16 Dec 2004	Powered Contact	5.3 tons	In the Houston Ship Channel near Deer Park	-
Tsunami	Crude Oil Tanker	242 m	Jan 5 2005	Powered Contact	No	Mississippi River pier	-
Kasco	Chemical Tanker	176 m	Jan 21 2005	Powered Contact	2000 tons	Cat Lai on Dong Nai River, Vietnam	-
Stolt Fulmar	Chemical Tanker	96 m	Jan 24 2005	Drift Contact	No	Dock at Blankenese	-
Goodrich Bay	Chemical Tanker	141 m	Feb 25	Powered Contact	No	49 30N, 66 00W	-
Ratna Shalini	Crude Oil Tanker	242 m	Apr 7 2005	Powered Contact	50 tons	Kipevu Oil jetty, Mombasa	-
Elbe double	Chemical Tanker	81 m	Apr 26 2005	Powered Contact	No	Nordescleuse Bremen	-
Milkyway	Crude Oil	232 m	Jun 08	Powered	No	Lat 5N, long	-

	Tanker		2005	Contact		125 28E	
Algosar	Chemical/ Oil Tanker	132 m	Jun 7 2005	Powered Contact	No	45.19N, 73.55W	-
Jo Spirit	Chemical / Oil Tanker	107 m	Jul 19 2005	Powered Contact	No	Montreal berth	-
Irkutsk	Oil Tanker	>100 m	Jul 30 2005	Powered Contact	Unknown	Neva river	-
Ncc Madinah	Chemical Tanker	176 m	Oct 5 2005	Powered Contact	1 ton	GeNoa wharf	-
Star Lady	Crude Oil Tanker	239 m	Oct 20 2005	Powered Contact	No	Terminal at Kali Limenes	-
Minerva Nike	Crude Tanker	244 m	Nov 20 2005	Drift Contact	No	Sandown Bay	-
Mokami	Product Tanker	97 m	Nov 20 2005	Powered Contact Bottom	No	50 11 12N, 61 50. 43 w	-
Napht Al Yemen 6	Product Tanker	128 m	Nov 28 2005	Powered Contact	No	Aden Refinery Company's jetty at Little Aden	-
Antonis A	Chemical /Oil Tanker	174 m	Dec 15 2005	Powered Contact	No	Suez Canal	21m
Botany Trojan	Chemical Tanker	141 m	Nov17 2005	Powered Contact	No	Valleyfield	-
Octavia	Non specific Tanker	>100 m	Jan 3 2006	Powered Contact	No	Keil Canal	-
Vega Desgagnes	Product Tanker	141 m	Feb 7 2006	Powered Contact	No	Seven Islands Oil dock, Quebec	-
Grigoroussa I	Crude Oil Tanker	244 m	Feb 28 2006	Drift Contact	3000 tons	Suez canal	21m
Otilia	Product Tanker	113 m	Mar 3 2006	Powered Contact	No	the outer pier of the Bremerhave n Northern lock when entering it	-
Xing Huang 18	Non Specific Tanker	>100 m	Mar 3 2006	Powered Contact	0.3 tons	29 59.1N, 122 06.55E	-
Pigeon Point	Chemical Tanker	188 m	Mar 10 2006	Powered Contact	No	Port Arthur	-
Toccata	Chemical Tanker	183 m	Mar 24 2006	Powered Bottom Contact	No	Mile 177.9, lower River Mississippi,	-
Crescent	Chemical/	90 m	April 8	Powered	No	From	10m

Connemara	Oil Tanker		2006	Bottom Contact		Lochinver Sky Bridge	
Stolt Perseverance	Chemical/Oil Tanker	176 m	Jun 26 2006	Unknown	No	UnkNown	-
Avant	Chemical Tanker	80 m	Jul 14 2006	Powered Contact	No	Antwerp, The "door" of the Westlock	-
Stern Moster	Chemical/Oil Tanker	144 m	Jul 16 2006	Powered Contact	No	Berth at St. Nazaire	-
B.F.C. II	Product Tanker	100 m	Jul 23 2006	Powered Contact	No	Berth 9, Khor al Zubair port,	-
Metin Akar	Chemical/Oil Tanker	176 m	Aug 15 2006	Powered Contact	No	UnkNown	-
Ocean Neptune	Product Tanker	141 m	Sept 6 2006	Drift Contact	No	Durban anchorage	-
Front Vanguard	Crude Tanker	333 m	Sep 22 2006	Drift Bottom Contact	No	Km 118, south of the Great Bitter Lakes in the Suez Canal,	21m
Ioannis, SX2577	Product Tanker	>100 m	Sep 23 2006	Powered Contact	No	0.7 nautical miles North-east of Eleusis	-
Arctica	Chemical/Oil Tanker	101 m	Oct 14 2006	Powered Contact	No	navigation mark Troskeln Ostra	-
Jag Pahel	Product Tanker	183 m	Oct 23 2006	Unknown	Unknown	Berth at Section 53, Quebec	-
Aias	Product Tanker	183 m	Oct 27 2006	Drift Contact	No	1.8 nautical miles off Pointe aux Trembles section 14 in the port of Three Rivers	-
Prospero	Chemical/Oil Tanker	146 m	Dec 10 2006	Drift Contact	No	Jetty in Milford Haven	-
Cobaltwater	Chemical Tanker	100 m	Dec 11 2006	Powered Contact	10 tons	Aughinish Alumina.	-
Vlora	LPG	78 m	Dec 19 2006	Powered Contact	No	Port at Brindisi.	-
Westlandgrach	Non specific	>100 m	Dec 21	Powered	No	outbound	-

t	Tanker		2006	Contact		from Amsterdam on the south side of the Ketelbrug bridge	
Bow Sirius	Chemical/Oil Tanker	183 m	Jan 2 2007	Powered Contact	No	Southern Gate Kiel Canal	-
Clyde Fisher	Chemical/Oil Tanker	127 m	Jan 21 2007	Powered Contact	No	Belfast Dolphin Walkway	-
St.Katharinen	Product Tanker	182 m	Feb 1 2007	Unknown	No	01 18N, 104 12.7E,	-
Orpheus Asia	Crude Oil Tanker	335 m	Feb 1 2007	Powered	No	01 18N, 104 12.7E,	-
Kriti Filoxenia	Crude Oil Tanker	192 m	Mar 15 2007	Unknown	No	Fawley's marine terminal.	-
Whitonia	Product Tanker	100 m	May 17 2007	Powered Contact	No	Botlek Bridge Pilings	-
Ellen Knutsen	Chemical/Oil	142 m	May 23 2007	Powered Contact	No	Klaipėdos Nafta	-
Mare Salernum	Crude Oil Tanker	245 m	Jun 12 2007	Drift Contact	No	Novorossiysk mooring	-
Clipper Kristin	Chemical/Oil Tanker	116 m	Jul 22 2007	Powered Contact	No	La Hondura dock, CEPESA Refinery Port Installations, Tenerife	
Theo T.	Crude Oil Tanker	227 m	Sep 8 2007	Unknown	No	Galveston outer anchorage	-
Front Force	Crude Oil Tanker	330 m	Sep 8 2007	Unknown	No	Galveston outer anchorage	-
Kowa Maru	Chemical Tanker	>100 m	Oct 8 2007	Powered Contact	No	off Ube	-
China Sea	Crude Oil Tanker	234 m	Oct 10 2007	Unknown	20 tons	Jurong Berth	-
SS Prosperity	Product Tanker.	55 m	Oct 10 2007	Unknown	No	Jurong Berth	-
C.Dream	Crude Oil Tanker	333 m	Oct 15 2007	Unknown	No	Beilun inner anchorage, Ningbo,	-
Xin Tong	Floating	228 m	Oct 15	Unknown	No	Beilun inner	-

Yang	Production Tanker		2007			anchorage, Ningbo,	
Axel Spirit	Crude Oil Tanker	250 m	Nov 3 2007	Powered Contact	No	light tower off New York City	-

Πηγή: Στατιστική ανάλυση

Πανεπιστήμιο Πειραιώς