



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ
ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

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

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΡΙΣΚΟΥ/ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΙΣ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ
ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ:**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ F-N ΣΕ
ΠΛΟΙΑ ΤΥΠΟΥ Ε/Γ-Ο/Γ (RO-PAH) ΚΑΙ
ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΟΠΛΟΙΑ (CRUISE SHIPS)**

ΔΟΥΠΚΑΡΗΣ Ε. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

Αθήνα, 2014



Θα ήθελα μέσα από την καρδιά μου να ευχαριστήσω:

τον κ. Νικόλαο Π. Βεντίκο, Επίκουρο Καθηγητή της σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. για την ανάθεση και επίβλεψη της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Τον ευχαριστώ για την άψογη συνεργασία που είχαμε, για την υπομονή και τη βοήθεια που μου παρείχε όλο αυτό το διάστημα.

Επίσης θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς:

- Όλους τους καθηγητές της σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών για τις γνώσεις που μου προσέφεραν.
- Τους φίλους από το Ε.Μ.Π. που όλα αυτά τα χρόνια περάσαμε όμορφα, και θα τα θυμόμαστε για μια ζωή.
- Φυσικά, την οικογένειά μου για την πλήρη στήριξη στο πρόσωπό μου. Σε αυτούς χρωστώ τα πάντα στη ζωή μου.
- Μια ειδική αναφορά, θα ήθελα να κάνω στην αδερφή μου και το γαμπρό μου, που πάνω από όλα είναι φίλοι μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω, μια απίστευτη παρέα, που τόσα χρόνια ήταν η δεύτερη οικογένειά μου.

Περιεχόμενα

Σύνοψη.....	15
Abstract.....	16
Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή στην εφαρμογή του ρίσκου στη ναυτιλία	
1.1 Εισαγωγή.....	18
1.2 Formal Safety Assessment (FSA).....	19
1.2.1 Αναγνώριση Κινδύνων.....	22
1.2.1.1. What-if Analysis.....	24
1.2.1.2. Checklist Analysis.....	25
1.2.1.3. HAZOP (Hazard and Operability Analysis).....	26
1.2.1.4. FMEA (Failure Modes and Effects Analysis).....	27
1.2.2. Ανάλυση του Ρίσκου.....	27
1.2.2.1. Ανάλυση αιτίου-συχνότητας (Cause and Frequency Analysis).....	27
1.2.2.1.1. Ανάλυση ιστορικών δεδομένων.....	27
1.2.2.1.2. Δένδρα σφαλμάτων (Fault Trees).....	28
1.2.2.1.3. Δένδρα γεγονότων (Event Trees).....	29
1.2.2.1.4. Ανάλυση Αστοχιών Κοινού Αιτίου (CCFA).....	30
1.2.2.1.5. Ανάλυση Αξιοπιστίας Ανθρώπινου Παράγοντα (HRA).....	31
1.2.2.2. Ανάλυση συνεπειών.....	32
1.2.2.3. Τελική Εκτίμηση Ρίσκου.....	33
1.2.3. Επιλογή Μέτρων Περιορισμού του Ρίσκου.....	34
1.2.4. Ανάλυση Κόστους – Κέρδους.....	35
1.2.5. Προτάσεις.....	37

Κεφάλαιο 2- Η έννοια του ρίσκου και οι κατηγορίες του

2.1. Εισαγωγή στην έννοια του ρίσκου.....	38
2.2. Ατομικό Ρίσκο (Individual Risk).....	40
2.3. Κοινωνικό Ρίσκο (Societal Risk).....	41
2.3.1. Συλλογικό ρίσκο (collective risk).....	42
2.3.2. Απλό ρίσκο.....	43
2.3.3. Πολλαπλό ρίσκο.....	44
2.3.4. Κοινωνικός προβληματισμός.....	45

Κεφάλαιο 3-Τρόποι εκτίμησης κοινωνικού ρίσκου

3.1. Καμπύλες F-N (Frequency-Number curves).....	48
3.1.1. Περιγραφή καμπύλων F-N.....	48
3.1.1.1. Κατακόρυφος άξονας καμπύλων F-N.....	49
3.1.1.2. Οριζόντιος άξονας καμπύλων F-N.....	50
3.1.1.2.1. Καμπύλες F-N (Ανθρώπινες απώλειες και τραυματισμοί).....	51
3.1.1.2.2. Καμπύλες F-D (Οικονομική απώλεια).....	51
3.1.1.2.3. Καμπύλες F-T (Περιβαλλοντική μόλυνση).....	52
3.1.2. Κατασκευή καμπύλων F-N.....	52
3.1.3. Παρατηρήσεις στις καμπύλες F-N.....	54
3.2. Αναμενόμενος Αριθμός Νεκρών (Potential Loss of Life, PLL).....	57
3.3. Κριτήρια Αποδοχής του Κοινωνικού Ρίσκου - Η Αρχή του “ALARP”.....	59
3.3.1. Κριτήρια αποδοχής κοινωνικού ρίσκου.....	59
3.3.2. Η Αρχή του ALARP.....	60
3.3.2.1. Εισαγωγή στην αρχή του ALARP.....	60
3.3.2.2. Περιοχές της ALARP.....	62
3.3.2.3. Εφαρμογή της μεθόδου ALARP.....	63
3.3.2.4. Κατασκευή των ορίων της ALARP.....	65
3.4. Μια διαφορετική προσέγγιση (Kaneko & Yamada 2010).....	70

Κεφάλαιο 4-Κατασκευή καμπύλων F-N για τα Ro-Pax και τα Cruise Ships

4.1. Καμπύλες F-N (Ro-Pax).....	76
4.1.1. Εισαγωγή στα Ro-Pax.....	76
4.1.2. Παγκόσμιος στόλος Ro-Pax πλοίων.....	78
4.1.3. Κριτήρια αποδοχής ρίσκου (Ro-Pax).....	80
4.1.4. Μελέτη θανατηφόρων ατυχημάτων στα Ro-Pax.....	81
4.1.5. Χάραξη καμπύλων F-N για τα Ro-Pax (1997-2012).....	87
4.1.5.1. Γενική χάραξη καμπύλων F-N για τα Ro-Pax (1997-2012).....	87
4.1.5.2. Χάραξη καμπύλων F-N ανά κατηγορία ατυχήματος.....	90
4.1.5.2.1. Collision (Σύγκρουση).....	90
4.1.5.2.2. Foundered (Βύθιση-Ναυάγιο).....	92
4.1.5.2.3. Fire/Explosion (Φωτιά/Εκρηξη).....	93
4.1.5.2.4. Συγκεντρωτικό σχήμα ανά κατηγορία ατυχήματος.....	94
4.1.5.3. Χάραξη καμπύλων F-N ανά χρονική περίοδο τετραετίας.....	95
4.1.5.3.1. Χρονική περίοδος 1997-2000.....	95
4.1.5.3.2. Χρονική περίοδος 2001-2004.....	97
4.1.5.3.3. Χρονική περίοδος 2005-2008.....	98
4.1.5.3.4. Χρονική περίοδος 2009-2012.....	100
4.1.5.3.5. Συγκεντρωτικό και συγκριτικό σχήμα.....	101
4.1.5.4. Χάραξη καμπύλων F-N ανά χρονική περίοδο οκταετίας.....	102
4.1.5.4.1. Χρονική περίοδος 1997-2004.....	102
4.1.5.4.1. Χρονική περίοδος 2005-2012.....	104
4.1.5.4.3. Συγκεντρωτικό και συγκριτικό σχήμα.....	106
4.1.5.5. Μια διαφορετική προσέγγιση στην κατασκευή των ορίων.....	106
4.2. Καμπύλες F-N (Cruise Ships)	114
4.2.1. Εισαγωγή στα Cruise Ships (Κρουαζιερόπλοια)	114
4.2.2. Παγκόσμιος στόλος των Cruise Ships (Κρουαζιερόπλοια)	115
4.2.3. Κριτήρια αποδοχής ρίσκου (Cruise Ships)	116
4.2.4. Μελέτη ατυχημάτων στα Cruise Ships.....	118

4.2.5. Ανάπτυξη δένδρων γεγονότων (Event Trees)	122
4.2.6. Χάραξη καμπύλων F-N για τα Cruise Ships (1997-2012)	123
4.2.6.1. Χάραξη καμπύλων F-N ανά κατηγορία ατυχήματος.....	123
4.2.6.1.1. Collision (Σύγκρουση)	123
4.2.6.1.2. Contact (Επαφή)	125
4.2.6.1.3. Grounding (Προσάραξη)	127
4.2.6.1.4. Fire/Explosion (Πυρκαγιά/Περίπτωση έκρηξης)	129
4.2.6.1.5. Διάγραμμα F-N, για όλους τους τύπους ατυχήματος.....	130
4.2.6.2. Χάραξη καμπύλης F-N για τα Cruise ships (1997-2012).....	131
4.2.6.3. Χάραξη καμπύλης F-N ανά χρονική περίοδο.....	132
Κεφάλαιο 5-Συμπεράσματα.....	136
Βιβλιογραφία.....	139
Παράρτημα	143

Κατάλογος Πινάκων-σελίδα

Πίνακας 1	Διακύμανση του δείκτη συνεπειών (SI)	23
Πίνακας 2	Διακύμανση του δείκτη συχνότητας, (FI)	24
Πίνακας 3	Παραδείγματα της What-if ανάλυσης ενός σκάφους	25
Πίνακας 4	Παραδείγματα της Checklist ανάλυσης	25
Πίνακας 5	Ανάλυση HAZOP για το σύστημα συμπίεσεως αέρα πλοίου	26
Πίνακας 6	Τρόποι έκφρασης της απώλειας ανθρ. ζωής	43
Πίνακας 7	Κομβικά σημεία και κλίση ευθείας	69
Πίνακας 8	Κλίση της $g(N)$ και power approximation της $1-G(N)$	73
Πίνακας 9	Δύναμη παγκοσμίου στόλου πλοίων Ro-Pax, την περίοδο 1997-2012	79
Πίνακας 10	Κοινωνικά κριτήρια για Ro-Pax	80
Πίνακας 11	Θανατηφόρα περιστατικά σε Ro-Pax (1997-2012)	82
Πίνακας 12	Συχνότητα ατυχημάτων στα Ro-Pax, ανά τύπο ατυχήματος (1997-2012)	83
Πίνακας 13	Αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων, ανάλογα με τη σημαία των πλοίων	84
Πίνακας 14	Συνολικός αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς και N ή παραπάνω νεκρούς	88
Πίνακας 15	Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax (1997-2012)	89
Πίνακας 16	Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax (1997-2012), για την περίπτωση της σύγκρουσης (collision)	91
Πίνακας 17	Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax (1997-2012), για την περίπτωση της βύθισης πλοίου (Foundered)	92
Πίνακας 18	Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax (1997-2012), για την περίπτωση φωτιάς/έκρηξης σε πλοίο (Fire/Explosion)	93
Πίνακας 19	Δύναμη παγκοσμίου στόλου πλοίων Ro-Pax, την περίοδο 1997-2000	95
Πίνακας 20	Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, κατά την περίοδο 1997-2000	96

Πίνακας 21	Δύναμη παγκοσμίου στόλου πλοίων Ro-Pax, την περίοδο 2001-2004	97
Πίνακας 22	Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, κατά την περίοδο 2001-2004	97
Πίνακας 23	Δύναμη παγκοσμίου στόλου πλοίων Ro-Pax, την περίοδο 2005-2008	98
Πίνακας 24	Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, κατά την περίοδο 2005-2008	99
Πίνακας 25	Δύναμη παγκοσμίου στόλου πλοίων Ro-Pax, την περίοδο 2009-2012	100
Πίνακας 26	Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, κατά την περίοδο 2009-2012	101
Πίνακας 27	Δύναμη παγκοσμίου στόλου πλοίων Ro-Pax, την περίοδο 1997-2004	103
Πίνακας 28	Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, κατά την περίοδο 1997-2004	103
Πίνακας 29	Δύναμη παγκοσμίου στόλου πλοίων Ro-Pax, την περίοδο 2005-2012	104
Πίνακας 30	Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, κατά την περίοδο 2005-2012	105
Πίνακας 31	Υπολογισμός συχνοτήτων, αθροιστικών συχνοτήτων, πιθανοτήτων και αθροιστικής κατανομής πιθανοτήτων, των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax (1997-2012)	108
Πίνακας 32	Υπολογισμός συχνοτήτων, αθροιστικών συχνοτήτων, πιθανοτήτων και αθροιστικής κατανομής πιθανοτήτων, των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax για collision	111
Πίνακας 33	Υπολογισμός συχνοτήτων, αθροιστικών συχνοτήτων, πιθανοτήτων και αθροιστικής κατανομής πιθανοτήτων, των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax για foundered	112
Πίνακας 34	Υπολογισμός συχνοτήτων, αθροιστικών συχνοτήτων, πιθανοτήτων και αθροιστικής κατανομής πιθανοτήτων, των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, για πυρκαγιά ή έκρηξη	113
Πίνακας 35	Δύναμη παγκοσμίου στόλου Cruise Ships, την περίοδο 1997-2012	115
Πίνακας 36	Υπολογισμός άνω και κάτω όριου ALARP, για Cruise ships	117
Πίνακας 37	Θανατηφόρα περιστατικά σε Cruise Ships (1997-2012)	119
Πίνακας 38	Συχνότητα ατυχημάτων σε cruise ships (1997-2012)	120
Πίνακας 39	Συχνότητες ατυχημάτων σε cruise ships, ανά τύπο ατυχήματος	121

Πίνακας 40	Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, για την περίπτωση σύγκρουσης (collision)	123
Πίνακας 41	Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, για την περίπτωση επαφής (contact)	126
Πίνακας 42	Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, για την προσάραξη (grounding)	127
Πίνακας 43	Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, για πυρκαγιά/έκρηξη (fire/explosion)	130
Πίνακας 44	Συνολικές συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για τα cruise ships	131
Πίνακας 45	Αριθμός ατυχημάτων ανά χρονική περίοδο και τύπο ατυχήματος	132
Πίνακας 46	Συχνότητα ατυχημάτων σε cruise ships, ανά χρονική περίοδο	133
Πίνακας 47	Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, την περίοδο 1997-2004, για collision	147
Πίνακας 48	Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, την περίοδο 2005-2012, για collision	147
Πίνακας 49	Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, την περίοδο 1997-2004, για contact	147
Πίνακας 50	Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, την περίοδο 2005-2012, για contact	148
Πίνακας 51	Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, την περίοδο 1997-2004, για grounding	148
Πίνακας 52	Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, την περίοδο 2005-2012, για grounding	148
Πίνακας 53	Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, την περίοδο 1997-2004, για Fire/Explosion	149
Πίνακας 54	Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, την περίοδο 2005-2012, για Fire/Explosion	149

Κατάλογος Σχημάτων-σελίδα

Σχήμα 1	Εποπτική άποψη ατυχήματος	23
Σχήμα 2	Τυπικό παράδειγμα Fault Tree	29
Σχήμα 3	Τυπικό παράδειγμα Event Tree	30
Σχήμα 4	Βήματα στην Ανάλυση Αξιοπιστίας Ανθρώπινου Παράγοντα	32
Σχήμα 5	Απεικόνιση της ALARP περιοχής σε ένα διάγραμμα F-N	33
Σχήμα 6	Παράδειγμα διαγράμματος F-N	49
Σχήμα 7	Καμπύλη F-N σιδηροδρομικών μεταφορών στην Αγγλία (1967-2001)	55
Σχήμα 8	Καμπύλες F-N σε καρτεσιανές συντεταγμένες, και σε λογαριθμική λογαριθμική κλίμακα	56
Σχήμα 9	Περιοχές που καθορίζουν τα όρια της ALARP	63
Σχήμα 10	Καμπύλες F-N για διαφορετικές κατηγορίες tanker, και τα όρια της ALARP (1978-98)	64
Σχήμα 11	Καμπύλες F-N για bulk carriers και containers και τα όρια της ALARP (1978-98)	65
Σχήμα 12	Καμπύλες F-N για Ro/Ro ships και τα όρια της ALARP (1989-98)	65
Σχήμα 13	Όρια ALARP σε σχέση με τις πετρελαικές δραστηριότητες στην Ιρλανδία	66
Σχήμα 14	Κατασκευή ευθείας σε λογαριθμημένους άξονες	67
Σχήμα 15	Γραφική Απεικόνιση Κριτηρίων Κοινωνικού Ρίσκου σε διάφορα κράτη	69
Σχήμα 16	Γραφική απεικόνιση σε λογαριθμική κλίμακα, των $1-G(N)$, $g(N)$	72
Σχήμα 17	$1-G(N)$, $g(N)$, όπου η κλίση της $1-G(N)$ είναι σταθερή.	74
Σχήμα 18	Εξέλιξη παγκόσμιου στόλου Ro-Pax (1997-2012)	79
Σχήμα 19	Κοινωνικά κριτήρια αποδοχής ρίσκου για Ro-Pax	80

Σχήμα 20	Αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων ανά έτος (Ro-Pax)	83
Σχήμα 21	Αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων για κάθε τύπο ατυχήματος στα Ro-Pax (1997-2012)	83
Σχήμα 22	Συχνότητα ατυχημάτων στα Ro-Pax, για κάθε τύπο ατυχήματος (1997-2012)	84
Σχήμα 23	Αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων, σε σχέση με τη σημαία των πλοίων	85
Σχήμα 24	Αριθμός ατυχημάτων σε Ro-Pax, ανάλογα με το έτος κατασκευής τους	85
Σχήμα 25	Spice Islander I	86
Σχήμα 26	Al-Salam Boccacio 98	86
Σχήμα 27	Καμπύλη F-N, για το σύνολο του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, για την περίοδο 1997-2012	90
Σχήμα 28	Καμπύλη F-N, για το σύνολο του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, για την περίοδο 1997-2012, για περίπτωση σύγκρουσης (collision)	91
Σχήμα 29	Καμπύλη F-N, για το σύνολο του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, για την περίοδο 1997-2012, για περίπτωση βύθισης πλοίου (Foundered)	93
Σχήμα 30	Καμπύλη F-N, για το σύνολο του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, για την περίοδο 1997-2012, για περίπτωση φωτιάς/έκρηξης (Fire/Explosion)	94
Σχήμα 31	Καμπύλες F-N, για το σύνολο του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, για την περίοδο 1997-2012, ανά τύπο ατυχήματος	94
Σχήμα 32	Καμπύλη F-N, για το σύνολο του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, και καμπύλες ανά τύπο ατυχήματος (1997-2012)	95
Σχήμα 33	Καμπύλη F-N, των Ro-Pax, για την περίοδο 1997-2000	96
Σχήμα 34	Καμπύλη F-N, των Ro-Pax, για την περίοδο 2001-2004	98
Σχήμα 35	Καμπύλη F-N, των Ro-Pax, για την περίοδο 2005-2008	99
Σχήμα 36	Καμπύλη F-N, των Ro-Pax, για την περίοδο 2009-2012	101
Σχήμα 37	Καμπύλες F-N για Ro-Pax, για ορισμένες χρονικές περιόδους	102
Σχήμα 38	Καμπύλη F-N, των Ro-Pax, για την περίοδο 1997-2004	104

Σχήμα 39	Καμπύλη F-N, των Ro-Pax, για την περίοδο 2005-2012	105
Σχήμα 40	Καμπύλες F-N για Ro-Pax, για 2 χρονικές υποπεριόδους	106
Σχήμα 41	Καμπύλη F-N, για τα Ro-Pax (1997-2012) και όρια της ALARP με τη μέθοδο Kaneko & Yamada, $b=-1$	107
Σχήμα 42	Καμπύλη F-N, για τα Ro-Pax (1997-2012) και όρια της ALARP με τη μέθοδο Kaneko & Yamada, $b=-0,5$	109
Σχήμα 43	Καμπύλη F-N, για τα Ro-Pax (1997-2012) και όρια της ALARP με τη μέθοδο Kaneko & Yamada, $b=-1,2$	109
Σχήμα 44	Καμπύλη F-N, για τα Ro-Pax (1997-2012) και όρια της ALARP με τη μέθοδο Kaneko & Yamada, $b=-0,7$	110
Σχήμα 45	Καμπύλη F-N, για τα Ro-Pax (1997-2012) και όρια της ALARP με τη μέθοδο Kaneko & Yamada, για collision	111
Σχήμα 46	Καμπύλη F-N, για τα Ro-Pax (1997-2012) και όρια της ALARP με τη μέθοδο Kaneko & Yamada, για foundered	112
Σχήμα 47	Καμπύλη F-N, για τα Ro-Pax (1997-2012) και όρια της ALARP με τη μέθοδο Kaneko & Yamada, για πυρκαγιά ή έκρηξη	113
Σχήμα 48	Εξέλιξη παγκόσμιου στόλου Cruise Ships (1997-2012)	116
Σχήμα 49	Κοινωνικά κριτήρια αποδοχής ρίσκου για Cruise Ships	118
Σχήμα 50	Αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων για κάθε τύπο ατυχήματος στα Ro-Pax (1997-2012)	119
Σχήμα 51	Συχνότητα ατυχημάτων στα cruise ships και τάση (1997-2012)	120
Σχήμα 52	Ατυχήματα στα cruise ships, ανά τύπο ατυχήματος (1997-2012)	121
Σχήμα 53	Συχνότητες ατυχημάτων σε cruise ships, ανά τύπο ατυχήματος	122
Σχήμα 54	Δένδρο γεγονότων για σύγκρουση (collision)	124
Σχήμα 55	Καμπύλη F-N για cruise ships (collision)	125
Σχήμα 56	Δένδρο γεγονότων για επαφή πλοίου με αντικείμενο (contact)	126
Σχήμα 57	Καμπύλη F-N για cruise ships (contact)	127
Σχήμα 58	Δένδρο γεγονότων για προσάραξη (grounding)	128
Σχήμα 59	Καμπύλη F-N για cruise ships (grounding)	128

Σχήμα 60	Δένδρο γεγονότων για πυρκαγιά/έκρηξη (fire/explosion)	129
Σχήμα 61	Καμπύλη F-N για cruise ships (fire/explosion)	130
Σχήμα 62	Συγκεντρωτικό σχήμα καμπύλων F-N για κάθε τύπο ατυχήματος	131
Σχήμα 63	Καμπύλες F-N για τα cruise ships (1997-2012)	132
Σχήμα 64	Καμπύλες F-N για cruise ships, ανά χρονική περίοδο (collision)	133
Σχήμα 65	Καμπύλες F-N για cruise ships, ανά χρονική περίοδο (contact)	134
Σχήμα 66	Καμπύλες F-N για cruise ships, ανά χρονική περίοδο (grounding)	134
Σχήμα 67	Καμπύλες F-N για cruise ships, ανά χρονική περίοδο (fire/explosion)	135
Σχήμα 68	Περιοχές απαράδεκτων, αποδεκτών και μη ανεκτών κινδύνων	145
Σχήμα 69	Ρίσκο και σημείο διακοπής, μεταξύ αναστρέψιμων και μη γεγονότων	146

Ακρωνύμια

• AIChE	American Institute of Chemical Engineers
• ALARP	As Low As Reasonably Practible
• BEP	Base Economic Party
• CCFA	Common Cause Failure Analysis
• CCPS	Center for Chemical Process Safety
• FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
• FSA	Formal Safety Assessment
• GCAF	Gross Cost of Averting a Fatality
• HAZOP	Hazard and Operability Analysis
• HRA	Human Reliability Analysis
• HSE	Health and Safety Executive
• IMO	International Maritime Organization
• ISM	International Safety Management
• MSC	Maritime and Safety Comittee
• NCAF	Net Cost of Averting a Fatality
• PLL	Potential Loss of Life
• RCO	Risk Control Options
• SOLAS	Safety Of Life At Sea
• VDR	Voyage Data Recorder

Σύνοψη και δομή της διπλωματικής εργασίας

Στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι να μελετήσει το ρίσκο στον τομέα των θαλασσιών μεταφορών, δίνοντας έμφαση στην άποψη, το συμφέρον και το αίσθημα της κοινής γνώμης. Στις θαλάσσιες μεταφορές το πρόβλημα του προσδιορισμού κριτηρίων αποδοχής ρίσκου είναι πολύ περίπλοκο, επειδή ένα και μόνο ατύχημα μπορεί να προκαλέσει διαφορετικών ειδών συνέπειες, και να προκαλέσει απώλειες ζωών, όσο και οικολογική καταστροφή. Ακόμα είναι υπό έρευνα ο προσδιορισμός ικανοποιητικών κριτηρίων αποδοχής του ρίσκου και υπάρχουν αρκετές δυσκολίες που πρέπει να ξεπεραστούν. Ήδη όμως έχουν γίνει αρκετά βήματα στον τομέα αυτό.

Στη συγκεκριμένη εργασία, θα αναλύσουμε ατυχήματα, με διαφορετικά χαρακτηριστικά μεταξύ τους, σε διάφορες χρονικές περιόδους και θα προσπαθήσουμε να αποκτήσουμε μια εικόνα, στο κατά πόσο η κοινωνία είναι έτοιμη και διατεθειμένη να ανεχθεί το ρίσκο, για χάρη μιας οικονομικής δραστηριότητας. Πιο συγκεκριμένα, θα ασχοληθούμε με τη μελέτη δύο συγκεκριμένων κατηγοριών πλοίων, οι οποίες έχουν άμεση σχέση με το λαό, καθώς χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά, τον τουρισμό, την αναψυχή και σε αυτά θα εφαρμόσουμε κριτήρια αποδοχής ρίσκου. Τα κριτήρια αυτά διαφέρουν μεταξύ τους, αλλά διαφέρουν και οι απαιτήσεις από κράτος σε κράτος. Έτσι, σε άλλες χώρες, υπάρχουν κριτήρια με μεγαλύτερη αποστροφή στο ρίσκο και σε άλλες με μικρότερη. Η δημιουργία τους, είναι δύσκολη, καθώς θα πρέπει να είναι ρεαλιστικά για να μην απαξιώνονται (ως ανέφικτα), αλλά από την άλλη θα πρέπει να είναι αντικειμενικά ώστε να μην υπάρχει ανοχή σε θανατηφόρα ατυχήματα.

Πίσω από σχεδόν οποιαδήποτε αξιολόγηση του κινδύνου είναι η υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων σε θέματα ασφάλειας.

Όσον αφορά τη δομή της εργασίας έχουμε:

Στο πρώτο κεφάλαιο κάνουμε την ανάλυση της διαδικασίας της Τυπικής Αποτίμησης Ασφαλείας (FSA), που αποτελεί εργαλείο του Διεθνή Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO), στην αποτίμηση του ρίσκου, και παρουσιάζουμε τα βήματά της. Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στην έννοια του ρίσκου, και στις κατηγορίες από τις οποίες αποτελείται. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τρόπους εκτίμησης κοινωνικού ρίσκου, με ιδιαίτερη αναφορά στις καμπύλες F-N και στην αρχή ALARP. Επίσης, γίνεται ανάλυση της πρότασης Kaneko και Yamada, για μια διαφορετική προσέγγιση στη χάραξη των ορίων της ALARP. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η χάραξη των καμπύλων F-N για τα Ro-Pax και τα Cruise ships, για διάφορες περιπτώσεις και χρονικές περιόδους. Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο, έχουμε την εξαγωγή συμπερασμάτων από τα αποτελέσματα που μας έδειξαν οι υπολογισμοί μας.

Abstract

The aim of this thesis is to study the risk to maritime transport, emphasizing the view, the interests and feelings of the public. In maritime transport, the problem of determining risk acceptance criteria is very complicated, because a single accident can cause different kinds of effects, and cause loss of life, and ecological destruction. The determination of satisfactory criteria for acceptance of risk is still under investigation and there are several problems to be overcome. Already enough had been done in this area.

In this paper, we analyze accidents, with different features between them, at various times and will try to get a picture as to whether society is ready and willing to tolerate the risk, for the sake of an economic activity. More specifically, we will deal with the study of two particular types of ships, which have a direct relationship with the people, because they are used for transportation, tourism, recreation and will implement risk acceptance criteria. These criteria differ from state to state. So, in other countries, there are criteria with greater aversion to risk and others with less. Their creation is difficult, as it would be realistic to avoid becoming obsolete (as impossibly), but on the other should be objectively that there is no tolerance in fatal accidents.

Behind almost any risk assessment is the attempt to support decision-making on security issues.

The structure of the paper is :

In the first chapter is the analysis of the process of Formal Safety Assessment (FSA), which is a tool of the International Maritime Organization (IMO), the assessment of risk, and present the footsteps. In the next chapter is the introduction to the concept of risk, and the categories making up. In the third chapter, we describe how social risk assessment, with particular reference to the F-N curves and the ALARP principle. Also, an analysis of the proposal Kaneko and Yamada, a different approach to defining the limits of ALARP. In the fourth chapter is the formulation of F-N curves for Ro-Pax and Cruise ships, for various cases and periods. Finally, in the fifth chapter, we draw conclusions from the results we showed our estimates.

Αυτή η σελίδα παρέμεινε σκοπίμως κενή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή στην εφαρμογή του ρίσκου στη ναυτιλία

1.1.Εισαγωγή

Στις μέρες μας, όπου το βιωτικό και μορφωτικό επίπεδο των ανθρώπων έχει ανέβει, οι πολίτες πλέον είναι ενήμεροι, ότι τα οφέλη της τεχνολογίας έρχονται με υψηλό κόστος για την ασφάλεια και τα χρήματα. Όλο και περισσότερο, οι άνθρωποι, απαιτούν μεγαλύτερο έλεγχο του κινδύνου στον οποίο εκτίθενται. Η πολυπλοκότητα των περισσότερων δραστηριοτήτων στον τομέα της μηχανικής, απαιτεί από τους ειδικούς μεγαλύτερη προσπάθεια ώστε να μοντελοποιηθούν οι αβεβαιότητες που υπάρχουν για το ρίσκο και να αναζητηθούν μέτρα μείωσης του.

Αυτή η επείγουσα ανάγκη να ασχοληθούμε με τα προβλήματα του ρίσκου, οδήγησε στην ανάπτυξη κλάδων, που σχετίζονται με αυτό, όπως η Risk Analysis (Ανάλυση Ρίσκου), η Risk Assessment (Αξιολόγηση Ρίσκου) και η Risk Management (Διαχείριση Ρίσκου).

Στον κλάδο της ναυτιλίας, το διεθνές ρυθμιστικό όργανο που αναγνωρίζεται από τους περισσότερους βασικούς παράγοντες είναι ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO). Ο τρόπος που ο IMO εφαρμόζει τις αρχές του Risk Management (Διαχείριση Ρίσκου), είναι μέσα από μια συστηματική διαδικασία που ονομάζεται FSA, δηλαδή Formal Safety Assessment (Τυπική Αποτίμηση Ασφάλειας). [1]

Η FSA, εισήχθη ως μια διαδικασία για την αξιολόγηση των κινδύνων και για να εκτιμηθεί το κόστος και τα οφέλη των επιλογών του IMO, για τη μείωση αυτών των κινδύνων και, ως εκ τούτου, να παράσχει στήριξη στη διαδικασία λήψης αποφάσεων του Οργανισμού. Αυτή η διαδικασία, προτάθηκε από το Ηνωμένο Βασίλειο, με βάση την εκτίμηση του κινδύνου που έγινε με τα χαρακτηριστικά της χώρας. [2]

Ο IMO, αρχικά, μελέτησε την FSA, κατά την 62η συνεδρίαση της Επιτροπής Θαλάσσιας Ασφάλειας, (Marine and Safety Committee, MSC) το 1993, μετά από πρόταση του Ηνωμένου Βασιλείου, όπως αναφέραμε. Δύο χρόνια αργότερα, το 1995, με την MSC 65 συμφώνησαν ότι η FSA θα πρέπει να αποτελεί υψηλή προτεραιότητα στην ατζέντα.

Το 1997, στην Επιτροπή Θαλάσσιας Ασφάλειας (MSC) με την 68η σύνοδό της, και στην Επιτροπή Θαλάσσιας Προστασίας Περιβάλλοντος (Marine Environment Protection Committee, MEPC) με την 40^η σύνοδο της, ο IMO ενέκρινε μια προσέγγιση του ρίσκου σε πέντε βήματα η οποία ονομάστηκε Formal Safety Assessment (FSA). Στόχος μιας FSA είναι να παράσχει αξιόπιστες πληροφορίες

όσον αφορά τους κινδύνους, τα ρίσκα που πηγάζουν από αυτούς, τις επιλογές για τον έλεγχο των ρίσκων αυτών (Risk Control Options), τα κόστη και τα οφέλη από την εφαρμογή των μέτρων ελέγχου του ρίσκου. Είναι σημαντικό, η FSA να πραγματοποιεί τα προηγούμενα με έναν κατά το δυνατό αντικειμενικό τρόπο, με αυστηρή δομή η οποία να είναι απόλυτα διαφανής ως προς τις διαδικασίες που χρησιμοποιεί και τα εξαγόμενα συμπεράσματα.

Οι παραπάνω εξελίξεις καταδεικνύουν την ολοένα αυξανόμενη επιρροή του ρίσκου ως παράγοντα λήψης αποφάσεων στη ναυτιλία κάτι που αντανάκλαται και στη νέα τάση στη ναυπήγηση πλοίων, γνωστή ως Risk Based Design. Σύμφωνα με αυτήν, αντί να έχουμε πλέον κανονισμούς που επιχειρούν να ελέγξουν τις παραμέτρους της σχεδίασης με αναλυτικές οδηγίες, κατευθυνόμαστε προς κανονισμούς που, λαμβάνοντας υπ' όψιν το ρίσκο, θέτουν τους στόχους τους οποίους θα πρέπει να πληρεί το πλοίο για να εγκριθεί. Ακόμα όμως, το Risk Based Design είναι σε νηπιακό στάδιο. [1] [3] [4]

1.2. Formal Safety Assessment (FSA)

Η FSA ορίζεται ως, «μια ορθολογική και συστηματική διαδικασία, που στόχο έχει την αποτίμηση των ρίσκων που συνδέονται με τις δραστηριότητες της ναυτιλίας, την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος καθώς και την εκτίμηση κόστους/οφέλους από την εφαρμογή μέτρων για το μετριασμό αυτών των ρίσκων». [2] [3] [4]

Είναι μια δομημένη και συστηματική μεθοδολογία, με στόχο την ενίσχυση της ασφάλειας στη θάλασσα, συμπεριλαμβανομένης της προστασίας της ζωής, της υγείας, του θαλάσσιου περιβάλλοντος και των περιουσιών, μέσω ανάλυσης των κινδύνων και αξιολόγησης της σχέσης κόστους-οφέλους. Η FSA μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για να βοηθήσει στην αξιολόγηση των νέων κανονισμών για την ασφάλεια στη θάλασσα και την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος ή κάνοντας μια σύγκριση μεταξύ των υφιστάμενων και, ενδεχομένως, τη βελτίωση των κανονισμών, με στόχο την επίτευξη ισορροπίας μεταξύ των διαφόρων τεχνικών και επιχειρησιακών θεμάτων, συμπεριλαμβάνοντας το ανθρώπινο στοιχείο, καθώς και μεταξύ θαλάσσιας ασφάλειας ή προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος και του κόστους. Να σημειώσουμε εδώ, ότι μια τέτοια μεγάλη προσπάθεια, έχει γίνει για την αύξηση της ναυτικής ασφάλειας των πλοίων μεταφοράς ξηρών φορτίων χύδην (bulk carrier), με αποτέλεσμα την προσθήκη νέων κανονισμών στη διεθνή σύμβαση SOLAS και ακόμη μία για την υποχρεωτική ή όχι εγκατάσταση των “μαύρων κουτιών” (voyage data recorder, VDR) στα υπάρχοντα φορτηγά πλοία. [5]

Τον Δεκέμβριο του 1998, η Επιτροπή Θαλάσσιας Ασφάλειας (MSC), ανώτερο τεχνικό σώμα του IMO, συμφώνησε σε ένα πλαίσιο που θα καθορίζει τους στόχους του έργου, το πεδίο εφαρμογής και την εφαρμογή, και συγκεκριμένα:

- Την ενημέρωση μελλοντικών αποφάσεων του IMO σχετικά με τα μέτρα για τη βελτίωση της ασφάλειας των πλοίων μεταφοράς φορτίου χύδην.
- Να εφαρμόσει την μεθοδολογία της FSA, για την ασφάλεια της ναυτιλίας ξηρού χύδην.
- Να εξασφαλίσει τη διεθνή συνεργασία και τη συμφωνία.

Η εφαρμογή της FSA μπορεί να είναι ιδιαίτερα σχετική με προτάσεις για μέτρα που έχουν σημαντικές συνέπειες όσον αφορά το κόστος για τη ναυτιλιακή βιομηχανία ή τις διοικητικές ή νομοθετικές επιβαρύνσεις που ενδέχεται να προκύψουν.

Αυτό επιτυγχάνεται, παρέχοντας μια σαφή αιτιολόγηση των προτεινόμενων ρυθμιστικών μέτρων και επιτρέπει τη σύγκριση των διαφόρων επιλογών αυτών των μέτρων που πρέπει να γίνουν. Αυτό είναι σύμφωνο με τη βασική φιλοσοφία της FSA στο ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για να διευκολύνει μια διαφανή διαδικασία λήψης αποφάσεων. Επιπλέον, παρέχει ένα μέσο πρόληψης, καθώς εξετάζονται πιθανοί κίνδυνοι που μπορεί να προκαλέσουν ένα σοβαρό ατύχημα.

Ακόμα, η εφαρμογή της είναι συνεπής προς τη διαδικασία λήψης αποφάσεων του IMO και συνάδει με τις αποφάσεις της ολομέλειας A.500(XII) "Objectives of the Organization in the 1980's", A.777(18) "Work Methods and Organization of Work in Committees and their Subsidiary Bodies" και A.900(21) "Objectives of the Organization in the 2000's". Οι λήπτες αποφάσεων στον IMO, μέσα από την FSA, είναι σε θέση να εκτιμήσουν τις συνέπειες που προέρχονται από τις προτεινόμενες αλλαγές στους κανονισμούς σε όρους ωφελειών. (π.χ. αναμενόμενη μείωση των θανάτων ή της ρύπανσης) και τους "παίκτες" των θαλάσσιων μεταφορών που καλούνται σε κάθε περίπτωση, να στηρίξουν οικονομικά αυτές τις αλλαγές. Γενικά, η FSA μπορεί να αναπτυχθεί είτε από ένα κράτος μέλος ή έναν οργανισμό με συμβουλευτικό χαρακτήρα στον IMO, είτε από κάποια επιτροπή ή κάποιο παρακείμενο σώμα ειδικών του IMO, με στόχο τη δικαιολόγηση κάποιων προτάσεων και προσθηκών, την αναγνώριση των γνωστικών περιοχών με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον και την αποτίμηση κάποιων επερχόμενων αλλαγών. [1] [2] [3] [4] [5]

Η FSA αποτελείται από πέντε βήματα:

1. Αναγνώριση των κινδύνων (μια λίστα με όλα τα σχετικά σενάρια ατυχημάτων με πιθανές αιτίες και τα αποτελέσματα).

2. Εκτίμηση/Αποτίμηση του ρίσκου (εκτίμηση των παραγόντων κινδύνου).
3. Διερεύνηση των εργαλείων που διαθέτουμε ώστε να μειωθεί αυτό το ρίσκο- risk control options (επινόηση ρυθμιστικών μέτρων για τον έλεγχο και περιορισμό των εντοπισμένων κινδύνων).
4. Ανάλυση Κόστους/Κέρδους (προσδιορισμός της αποτελεσματικότητας του κόστους των εργαλείων που αναφέραμε στο 3).
5. Προτάσεις για τη λήψη αποφάσεων (να παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τους κινδύνους, τα σχετικά με αυτούς ρίσκα και την αποτελεσματικότητα και κόστος των εναλλακτικών επιλογών μας).

Με απλά λόγια, αυτά τα βήματα μπορούν να απλοποιηθούν [5], ως εξής:

1. Τι θα μπορούσε να πάει στραβά (Εντοπισμός των κινδύνων, μια λίστα με όλα τα σχετικά σενάρια ατυχημάτων με πιθανές αιτίες και τα αποτελέσματα).
2. Πόσο άσχημα και πόσο πιθανό (Εκτίμηση των κινδύνων, εκτίμηση των παραγόντων κινδύνου).
3. Μπορεί τα πράγματα να βελτιωθούν (Επιλογές για τον έλεγχο των κινδύνων, επινόηση ρυθμιστικών μέτρων για τον έλεγχο και τη μείωση των εντοπισμένων κινδύνων).
4. Τι θα κοστίσει και πόσο καλύτερα θα ήταν (Εκτίμηση κόστους-οφέλους, προσδιορισμός του κόστους αποτελεσματικότητα της κάθε επιλογής ελέγχου των κινδύνων).
5. Ποιες ενέργειες πρέπει να ληφθούν (Προτάσεις για τη λήψη αποφάσεων, να παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τους κινδύνους, τα σχετικά ρίσκα τους και η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας των εναλλακτικών επιλογών ελέγχου κινδύνων).

Επομένως, η μέθοδος της FSA είναι μια συστηματική διαδικασία που έχει δύο στόχους.

- Να εκτιμήσει το ρίσκο που αφορά όλες τις δραστηριότητες και πρακτικές στη θάλασσα (και θαλάσσιες μεταφορές)
- Στον ενεργό υπολογισμό του κόστους και των ωφελειών που έχουν να κάνουν με τις εναλλακτικές λύσεις που προτείνονται για τον περιορισμό των κινδύνων.

Το πλεονέκτημα της μεθόδου της FSA είναι η αξιόπιστη ενσωμάτωση υπό ρεαλιστικούς όρους, της συμβολής και εμπλοκής του ανθρώπινου παράγοντα στη

ναυτική ασφάλεια των θαλάσσιων μεταφορών. Η προτεινόμενη μεθοδολογία από τον IMO για αυτόν το σκοπό, είναι η Human Reliability Analysis. [1] [2]

Ας δούμε λοιπόν πιο αναλυτικά, αυτά τα βήματα.

1.2.1. Αναγνώριση Κινδύνων

Ως “κίνδυνο”, ορίζουμε το σύνολο των «καταστάσεων, συνθηκών, χαρακτηριστικών ή ιδιοτήτων, που δημιουργούν την πιθανότητα ανεπιθύμητων συνεπειών». Οι κίνδυνοι αυτοί, δημιουργούν την πιθανότητα, και όχι τη βεβαιότητα ανεπιθύμητων συνεπειών. [8]

Το βήμα αυτό, έχει ως στόχο την αναγνώριση μιας λίστας από κινδύνους (που μπορούν να εκδηλωθούν στο υπό μελέτη σενάριο) και την ιεράρχησή τους, ανάλογα με το πόσο σημαντικοί είναι.

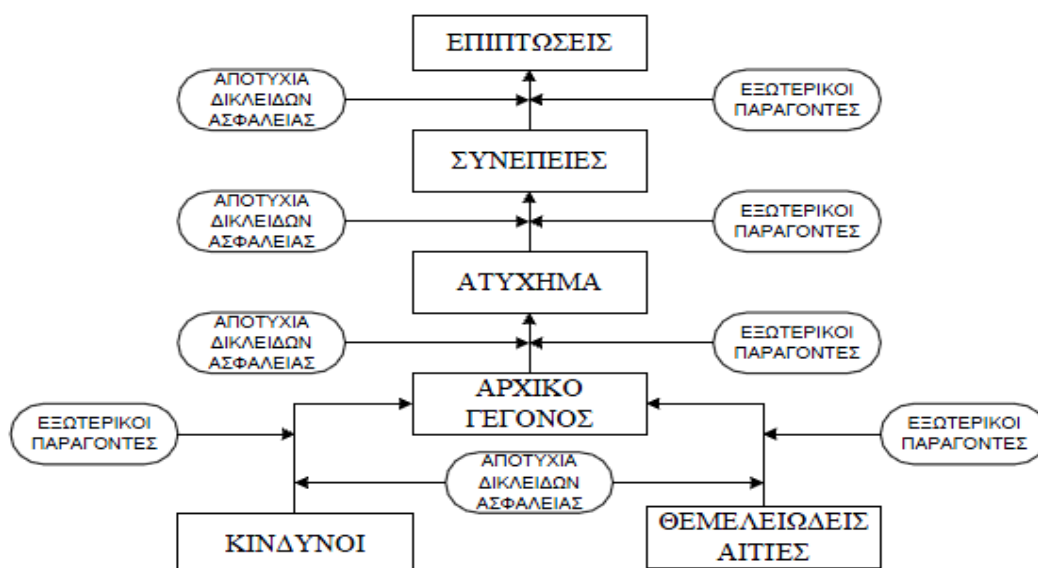
Η ακολουθούμενη διαδικασία, έχει την ικανότητα να υλοποιεί μια δυναμική-προληπτική πολιτική, η οποία δεν αναδεικνύει μόνο κινδύνους που έπαιξαν ρόλο στο παρελθόν, αλλά ασχολείται με έναν αριθμό κινδύνων για κάθε πλοίο, ανεξάρτητα αν έχουν ή όχι καταγραφεί ως αιτία ναυτικών ατυχημάτων. Κάποιες τεχνικές που εφαρμόζονται, προϋποθέτουν την κινητοποίηση ομάδων ειδικών, για την εκτέλεση δομημένων αναθεωρήσεων στη σχεδίαση του πλοίου, στις λειτουργίες, στη διαχείρισή του και στην εμπλοκή του ανθρώπινου παράγοντα στην αλυσίδα εξέλιξης των ναυτικών ατυχημάτων.

Χρησιμοποιώντας ερωτηματολόγια και υιοθετώντας αναλυτικές μεθόδους, κατανοείται το υπό μελέτη ατύχημα και αξιοποιείται η υπάρχουσα εμπειρία, μέσω των αποτελεσμάτων από παρόμοια ναυτικά ατυχήματα, της γνώσης των κανονισμών, και των εξαγομένων από σχετικές στατιστικές προσεγγίσεις. [2] [3] [4] [6]

Μια εποπτική άποψη ενός οποιουδήποτε ατυχήματος φαίνεται στο σχήμα 1.

Τα αποτελέσματα που πρέπει να προκύπτουν από αυτό το βήμα της FSA πρέπει να είναι

- Λίστα με τους πιθανούς κινδύνους για το πλοίο.
- Περιγραφή των αιτιών και των συνεπειών των ναυτικών ατυχημάτων.
- Βαθμονόμηση των κινδύνων, με προκαθορισμένα κριτήρια και κλίμακες.



Σχήμα 1. Εποπτική άποψη ατυχήματος

Όσον αφορά τη βαθμονόμηση και τον έλεγχο των εντοπισμένων κινδύνων, ο ΙΜΟ προτείνει τη χρήση των δεικτών για τις συνέπειες και την πιθανότητα υπό λογαριθμική κλίμακα.

Έτσι έχουμε τη σχέση:

$$\text{Risk} = \text{Probability} \times \text{Consequence}$$

$$\log(\text{Risk}) = \log(\text{Probability}) + \log(\text{Consequence})$$

Άρα, ο ζητούμενος δείκτης ρίσκου (RI) προκύπτει από το άθροισμα του δείκτη συχνότητας (FI) συν αυτόν για τις συνέπειες (SI)

Ο Πίνακας 1, μας δείχνει την διακύμανση του δείκτη συνεπειών, και ο Πίνακας 2 αντίστοιχα, αυτήν του δείκτη συχνότητας.

SI	Σοβαρότητα συνεπειών	Ισοδύναμες αστοχίες
1	Μικρή	0,01
2	Σημαντική	0,1
3	Σοβαρή	1
4	Καταστροφική	10

Πίνακας 1. Διακύμανση του δείκτη συνεπειών (SI)

FI	Συχνότητα	Συχνότητα ανά ship year
7	Συχνή	10
5	Λογικά Πιθανή	0,1
3	Απομακρυσμένη	0,001
1	Υπερβολικά απομακρυσμένη	0,00001

Πίνακας 2. Διακύμανση του δείκτη συχνότητας, (FI)

Ο δείκτης ρίσκου, λοιπόν, θα είναι $RI=FI+SI$

Συνοψίζοντας, σε αυτό το στάδιο, οι εμπειρογνώμονες καταλήγουν σε μια λίστα κινδύνων που υπάρχει περίπτωση να εμφανιστούν στο υπό μελέτη σενάριο, χρησιμοποιώντας ειδικές τεχνικές και πολλές φορές βασίζονται στο ιστορικό από παλαιότερα ατυχήματα αλλά κυρίως στις εκτιμήσεις και στην εμπειρία τους. Έτσι, οι κίνδυνοι κατατάσσονται με βάση το ρίσκο και τη σημαντικότητα που έχουν οι επιπτώσεις τους.

Υπάρχουν κάποιες βασικές, κατά το δυνατόν τυποποιημένες μέθοδοι, για την αναγνώριση των κινδύνων σε μια οποιαδήποτε μελέτη ρίσκου. [6]

❖ **HAZID (Hazard Identification Technique)**

Είναι ένας γενικός όρος που περιγράφει την αναγνώριση των κινδύνων και των επακόλουθων συνεπειών τους, ξεχωρίζοντας αυτές που φαίνεται να είναι πιο σημαντικές. Η τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο σύνολο ή μέρος του σκάφους ή και για την αξιολόγηση μιας συγκεκριμένης διαδικασίας. Συνήθως το σύστημα μας διαιρείται σε υποσύνολα, τα οποία εξετάζονται από ειδικούς με στόχο την ανακάλυψη των πιθανών κινδύνων. Τέλος έχουμε μια πρώτη ταξινόμηση των κινδύνων ανάλογα με τη σοβαρότητα τους. Οι κυριότερες τεχνικές από αυτές είναι: [3] [4]

1.2.1.1. What-if Analysis

Η ανάλυση αυτή παράγει ποιοτικές περιγραφές των δυνητικών προβλημάτων (με τη μορφή ερωταπαντήσεων), καθώς και καταλόγους με συστάσεις για την πρόληψη των προβλημάτων. Είναι εφαρμόσιμη για σχεδόν κάθε τύπο εφαρμογής, ειδικά εκείνων που αφορούν σχετικά απλά σενάρια αποτυχίας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνη της, αλλά πιο συχνά χρησιμοποιείται για να συμπληρώσουν άλλες, πιο δομημένες τεχνικές (κυρίως την Checklist Analysis). Ο Πίνακας 3 είναι ένα παράδειγμα μιας what-if ανάλυσης του συστήματος πεπιεσμένου αέρα ενός σκάφους. [4] [7]

What if?	Άμεση κατάσταση συστήματος	Συνέπειες	Προστασία	Συστάσεις
Το φίλτρο εισαγωγής αέρα, αρχίσει να βουλώνει	Μειωμένη ροή του αέρα μέσω του συμπιεστή επηρεάζει την επίδοση του	αναποτελεσματική λειτουργία συμπιεστή που οδηγεί σε υπερβολική χρήση ενέργειας και πιθανή ζημιά. Χαμηλή ή καθόλου ροή αέρα στον εξοπλισμό, που οδηγεί σε λειτουργικές ανεπάρκειες και, ενδεχομένως, διακοπές	Μέτρηση πίεσης/κενού μεταξύ του συμπιεστή και του φίλτρου εισαγωγής. Ετήσια αντικατάσταση φίλτρου.	Συχνοί έλεγχοι της πίεσης, σε τακτά διαστήματα ή τοποθετείστε διακόπτη που σημάνει συναγερμό σε περιοχή με κόσμο
Κάποιος αφήνει μια βαλβίδα αποστράγγισης ανοικτή	Υψηλή ταχύτητα ροής του αέρα μέσω της ανοικτής βαλβίδας, προς την ατμόσφαιρα	Χαμηλή ή καθόλου ροή αέρα στον εξοπλισμό, που οδηγεί σε λειτουργικές ανεπάρκειες και, ενδεχομένως, διακοπές. Πιθανότητα τραυματισμών.	Μικρή γραμμή αποστράγγισης θα εκτρέψει μόνο ένα τμήμα της ροής του αέρα, αλλά η διατήρηση της πίεσης θα είναι δύσκολη	-

Πίνακας 3. Παραδείγματα της What-if ανάλυσης ενός σκάφους.

1.2.1.2. Checklist Analysis

Είναι μια συστηματική αξιολόγηση με βάση προκαθορισμένα κριτήρια, με τη μορφή μιας ή περισσότερων λιστών ελέγχου. Είναι εφαρμόσιμη για υψηλού επιπέδου και λεπτομερούς επιπέδου αναλύσεις.

<i>Responses to Checklist Questions for the Vessel's Compressed Air System</i>		
<i>Questions</i>	<i>Responses</i>	<i>Recommendations</i>
<p><i>Cargo Tanks</i></p> <p>Is a vacuum relief system needed to protect the vessel's cargo tanks during liquid withdrawal?</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p>	<p><i>Cargo Tanks</i></p> <p>Yes, the cargo tanks will be damaged if vacuum relief is not provided. A vacuum relief system is installed on each cargo tank</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p>	<p><i>Cargo Tanks</i></p> <p>—</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p>
<p><i>Compressors</i></p> <p>Are air compressor intakes protected against contaminants (rain, birds, flammable gases, etc.)?</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p>	<p><i>Compressors</i></p> <p>Yes, except for intake of flammable gases. There is a nearby cargo tank vent</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p>	<p><i>Compressors</i></p> <p>Consider routing the cargo tank vent to a different location</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p>

Πίνακας 4. Παραδείγματα της Checklist ανάλυσης

Η τεχνική παράγει ποιοτικούς καταλόγους συμμόρφωσης και μη συμμόρφωσης, καθώς και συστάσεις για τη διόρθωση των μη συμμορφώσεων. Η ανάλυση αυτή,

χρησιμοποιείται συχνά ως συμπλήρωμα ή αναπόσπαστο μέρος μιας άλλης μεθόδου (ειδικά της What-if Analysis) προς την εκπλήρωση ειδικών απαιτήσεων. [4] [7]

1.2.1.3. HAZOP (Hazard and Operability Analysis)

Η HAZOP τεχνική ανάλυση, χρησιμοποιεί ειδικές λέξεις κλειδιά, με σκοπό να βοηθήσει μια ομάδα ειδικών να αναγνωρίσει τους κινδύνους για αστοχία που υπάρχουν σε ένα σύστημα. Αυτές οι λέξεις κλειδιά προκύπτουν ως συνδυασμός προκαθορισμένων επιθέτων (λέξη οδηγός) και συγκεκριμένων μεγεθών, ανάλογα με το σύστημα που εξετάζουμε. Χρησιμοποιείται γενικά σε ένα επίπεδο συστήματος και παράγει κυρίως ποιοτικά αποτελέσματα, αν και μερικές απλές ποσοτικοποιήσεις είναι δυνατές να γίνουν. Η πρωταρχική χρήση της HAZOP μεθοδολογίας, είναι ο προσδιορισμός των κινδύνων για την ασφάλεια και τα προβλήματα λειτουργικότητας στα συστήματα συνεχούς διαδικασίας (ιδιαίτερα ρευστά και θερμικά συστήματα). Για παράδειγμα, αυτή η τεχνική θα ισχύει για ένα σύστημα μεταφοράς πετρελαίου που αποτελείται από πολλαπλές αντλίες, δεξαμενές, και γραμμές παραγωγής. [4] [7]

Στον Πίνακα 4 βλέπουμε ένα παράδειγμα ανάλυσης HAZOP, όπως παρουσιάζεται σε εγχειρίδιο του ABS.

Παρέκκλιση	Αίτια	Παρενέργειες	Ασφ.Δικλείδες	Προτάσεις
	Γραμμή Εισαγωγής συμπιεστή			
Υψηλή ροή		Καμία που να παρουσιάζει ενδιαφέρον		
Χαμηλή/ Καθόλου ροή	Κακή σύνδεση σωληνώσεων/ συσσώρευση βρόχινου ύδατος πιθανότητα	Κακή χρήση συμπιεστή που οδηγεί σε σπατάλη ενέργειας και πιθανή φθορά του	Παρεμβάλλουμε πιεσόμετρο μεταξύ φίλτρου εισαγωγής και συμπιεστή Αλλαγή φίλτρου σε τακτά χρονικά διαστήματα	Ο έλεγχος του πιεσόμετρου να αποτελεί κομμάτι της καθημερινής εργασίας κάποιου μέλους του πληρώματος
Ροή προς λάθος κατεύθυνση	Δεν εντοπίστηκε			
*	*	*	*	*
*	*	*	*	*

Πίνακας 5. Ανάλυση HAZOP για το σύστημα συμπίεσεως αέρα πλοίου

1.2.1.4. FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)

Είναι μια επαγωγική μέθοδος με κύρια εφαρμογή μηχανικά και ηλεκτρικά συστήματα (π.χ., συστήματα πυρόσβεσης, συστήματα πρόωσης). Αυτή η τεχνική δεν είναι κατάλληλη για ευρύτερα θέματα, όπως η γενική ασφάλεια των πλοίων. Η τεχνική αυτή, δηλώνει πως η αποτυχία του κάθε κομματιού του συστήματος μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα στην απόδοση ολόκληρου του συστήματος. Διασφαλίζει την ύπαρξη κατάλληλων εγγυήσεων για την αποφυγή γενικευμένης αστοχίας. Χρησιμοποιείται επίσης, ως βάση για τον καθορισμό και τη βελτιστοποίηση της συντήρησης του εξοπλισμού, επειδή η μέθοδος εστιάζει συστηματικά ειδικά για τρόπους αστοχίας εξοπλισμού.

Στην πραγματικότητα, καμία από αυτές τις βασικές μεθόδους αναγνώρισης κινδύνου, δε χρησιμοποιείται μόνη της, αλλά αλληλοσυμπληρώνεται με τις άλλες.

1.2.2. Ανάλυση του Ρίσκου

Στο βήμα αυτό γίνεται εκτίμηση του «μεγέθους» του ρίσκου καθώς και αποτίμηση του με βάση ποσοτικά και ποιοτικά, κυρίως, κριτήρια. Πραγματοποιείται μια πρώτη ιεράρχηση των κινδύνων, και έτσι διαλέγονται αυτοί που είναι οι πιο σημαντικοί, ώστε να έχουμε μια σαφέστερη εικόνα για το *ρίσκο*, που προκύπτει από κάθε σενάριο αστοχίας. Το βήμα αυτό, αποτελείται από δύο κύρια μέρη:

1.2.2.1. Ανάλυση αιτίου-συχνότητας (*Cause and Frequency Analysis*)

Αφού οι κίνδυνοι ενός συστήματος ή της διαδικασίας έχουν εντοπιστεί, το επόμενο βήμα είναι να διαπιστώσουμε με λεπτομέρεια τους μηχανισμούς αστοχίας του συστήματός μας καθώς και να εκτιμηθεί η συχνότητα με την οποία, τα επικίνδυνα συμβάντα μπορεί να συμβούν. Τα παρακάτω είναι μερικές από τις τεχνικές και τα εργαλεία που είναι διαθέσιμα για την αξιολόγηση της συχνότητας. [1] [3] [4] [6] [9]

1.2.2.1.1. Ανάλυση ιστορικών Δεδομένων

Αρχικά, πρέπει να γίνει μια στοχαστική ανάλυση των δεδομένων, για να καθορίσουμε αν μπορεί να εφαρμοστεί στην περίπτωση που αξιολογείται. Ο αναλυτής πρέπει να εξετάσει την πηγή των δεδομένων, τη στατιστική ποιότητα των δεδομένων (ακρίβεια, το μέγεθος των δεδομένων, κ.λπ.) και πρέπει να αναλυθεί η συνάφεια των δεδομένων για την περίπτωση που μελετάται. Για παράδειγμα, τα δεδομένα που ισχύουν στη Βόρεια Θάλασσα μπορεί να μην ισχύουν άμεσα για τον Κόλπο του Μεξικού λόγω των σημαντικών διαφορών στις συνθήκες που επικρατούν (π.χ. ατμοσφαιρικές

συνθήκες). Έτσι, πριν προχωρήσουμε σε οποιαδήποτε συσχέτιση μεταξύ των στοιχείων της βάσης, και της μελέτης μας, πρέπει πρώτα να αξιολογηθεί η αξιοπιστία της βάσης, και αν η συσχέτιση που επιχειρούμε να κάνουμε με την περίπτωση μας, είναι “συμβατή”. Αν τελικά, δε χρησιμοποιήσουμε την Ανάλυση Ιστορικών Δεδομένων, η συχνότητα προσεγγίζεται με τις παρακάτω μεθόδους. [7]

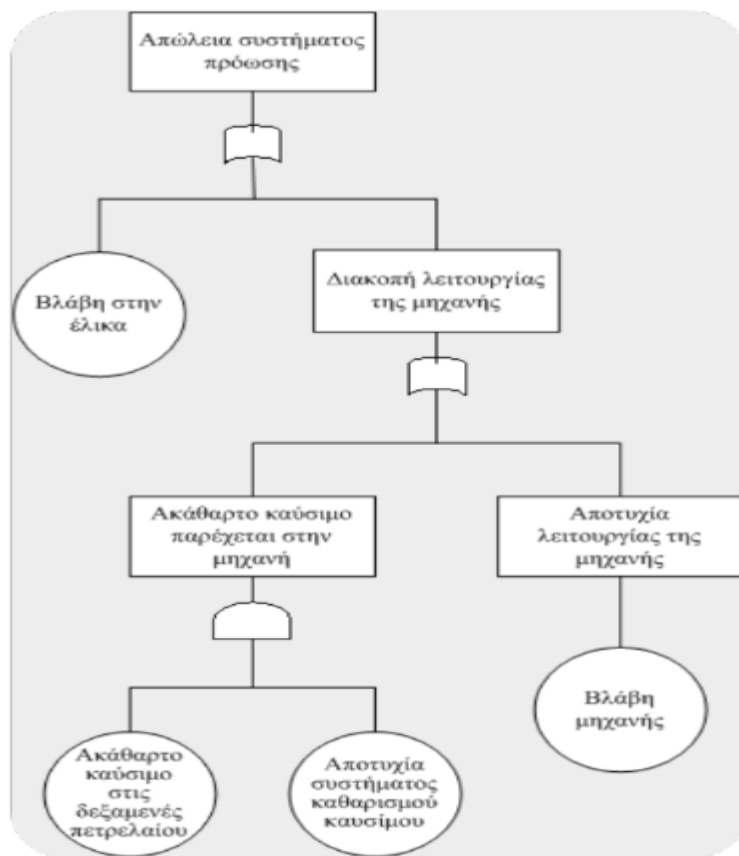
1.2.2.1.2. Δένδρα σφαλμάτων (Fault Trees)

Το δένδρο σφαλμάτων, είναι μια μέθοδος για τη γραφική/αναλυτική αναπαράσταση των λογικών συνδυασμών, για τις αιτίες που προκαλούν ή μπορεί να προκαλέσουν ένα ανεπιθύμητο γεγονός ή κατάσταση. Με την προσέγγιση αυτή, συστηματικά διερευνούνται οι αιτίες και τα γεγονότα που συντελούν στην πρόκληση του κρίσιμου ατυχήματος. Είναι ίσως η πιο γνωστή μέθοδος στην ανάλυση ασφάλειας και αποτελεί ισχυρό όπλο για μία ρεαλιστική ανάλυση κινδύνων στη βιομηχανία.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου των δένδρων σφαλμάτων είναι:

- Βοηθά στην αναγνώριση κινδύνων σε πολύπλοκα συστήματα.
- Βοηθά στην επικέντρωση της προσοχής σε ένα σφάλμα, χωρίς όμως να χάνεται η ευρύτερη εικόνα.
- Προσφέρει μια εποπτική εικόνα, για το πως σφάλματα μπορούν να οδηγήσουν σε ανεπιθύμητες συνέπειες.
- Εάν κάποιος είναι εξοικειωμένος με αυτόν τον τρόπο ανάλυσης, κατανοεί τα αποτελέσματα, εύκολα και γρήγορα.
- Υποστηρίζει ποσοτική επεξεργασία (πιθανότητες/συχνότητες).

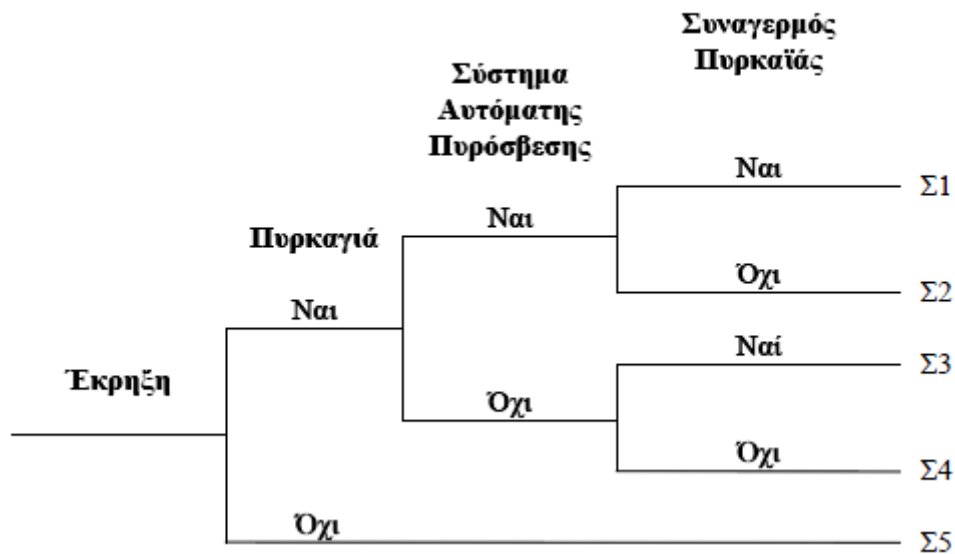
Παρόλα αυτά, έχει και μειονεκτήματα, όπως το ότι είναι λεπτομερής και χρονοβόρα μέθοδος, απαιτεί ειδικές ικανότητες και εκπαίδευση, παρέχει μια “ψευδαίσθηση” ακρίβειας που όμως εμπεριέχει σφάλματα, δεν εφαρμόζεται μηχανικά και αυτόματα και ότι η εφαρμογή της απαιτεί την υποστήριξη λεπτομερούς πιστοποίησης. Παρουσιάζουμε ένα ενδεικτικό Fault Tree που περιγράφει ποιοτικά το πως μπορεί να οδηγηθεί ένα πλοίο στο τελικό γεγονός «απώλεια συστήματος πρόωσης». [6]



Σχήμα 2. Τυπικό παράδειγμα Fault Tree

1.2.2.1.3. Δένδρα γεγονότων (Event Trees)

Τα δένδρα γεγονότων είναι μια συστηματική προσέγγιση-διάγραμμα, που χρησιμοποιείται για την ανάλυση των επιπτώσεων ενός ατυχήματος, μίας αστοχίας ή γενικότερα ενός ανεπιθύμητου γεγονότος. Με την τεχνική αυτή, έχουμε περιγραφή των πιθανών συνεπειών που ξεκινούν από ένα ανεπιθύμητο γεγονός, και μας δίνουν την πιθανότητα το γεγονός αυτό να έχει συνέπειες συγκεκριμένου τύπου. Στο εξεταζόμενο σύστημα, υπάρχουν ασφαλιστικές δικλείδες, που έχουν ως στόχο να μετριάσουν τις συνέπειες από το αρχικό γεγονός και ελέγχουν το αν και κατά πόσο επιτυγχάνουν το στόχο τους. Τέλος, η πιθανότητα για την πραγματοποίηση της προκαθορισμένης συνέπειας, προκύπτει αν πολλαπλασιάσουμε την πιθανότητα πρόκλησης του ατυχήματος, επί την πιθανότητα επιτυχίας ή αποτυχίας των ασφαλιστικών δικλείδων. [6]



Σχήμα 3. Τυπικό παράδειγμα Event Tree

1.2.2.1.4. Ανάλυση Αστοχιών Κοινού Αιτίου (Common Cause Failure Analysis, CCFA)

Είναι μια συστηματική προσέγγιση για την εξέταση ακολουθιών γεγονότων που προκύπτουν από πολλαπλές αποτυχίες, οι οποίες οφείλονται στην ίδια αιτία. Από τη στιγμή που αυτές οι πολλαπλές αποτυχίες ή λάθη, προέρχονται από την ίδια ρίζα-αιτία, μπορούν να νικήσουν πολλαπλά στρώματα προστασίας ταυτόχρονα. Η CCFA έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- συστηματική, δομημένη αξιολόγηση στηριζόμενη στην εμπειρία και τις κατευθυντήριες γραμμές του αναλυτή για εντοπισμό πιθανών εξαρτήσεων μεταξύ των γεγονότων αστοχίας, έτσι ώστε να δημιουργήσει μια συνολική αναθεώρηση και να διασφαλίσει ότι υπάρχουν οι κατάλληλες εγγυήσεις κατά τις αστοχίες με κοινά αίτια.
- χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο σε επίπεδο συστημάτων.
- κατά κύριο λόγο εκτελείται από ένα άτομο σε συνεργασία με τους εμπειρογνώμονες του συστήματος, μέσω συνεντεύξεων και επιτόπιων επιθεωρήσεων.

- παράγει: ποιοτικά και ποσοτικά συμπεράσματα για τις αλληλεξαρτήσεις των διαφόρων γεγονότων και προτείνει τρόπους ώστε να εξαλειφθούν αυτές.
- η ποιότητα της ανάλυσης εξαρτάται από την ποιότητα του συστήματος, την κατάρτιση του αναλυτή και την εμπειρία του.

Η CCFA χρησιμοποιείται αποκλειστικά ως συμπλήρωμα σε μια ευρύτερη ανάλυση χρησιμοποιώντας μια άλλη τεχνική, ιδίως το δέντρο βλάβης και τις αναλύσεις δένδρου γεγονότων. [7]

1.2.2.1.5. Ανάλυση Αξιοπιστίας Ανθρώπινου Παράγοντα (Human Reliability Analysis)

Η Ανάλυση Αξιοπιστίας Ανθρώπινου Παράγοντα, είναι από τις πιο γνωστές προσεγγίσεις για την αξιολόγηση των ανθρώπινων λαθών. Είναι ένας γενικός όρος για τις μεθόδους με τις οποίες τα ανθρώπινα λάθη μπορούν να προσδιοριστούν, δηλαδή υπολογίζεται η πιθανότητα η επέμβαση του ανθρώπου να οδηγήσει σε αστοχία. Η εκτίμηση μπορεί να είναι είτε ποιοτική ή ποσοτική, ανάλογα με τις διαθέσιμες πληροφορίες και από τον βαθμό λεπτομέρειας που απαιτείται. Ο μελετητής προσπαθεί να διακρίνει, σε ποια σημεία του μοντέλου αστοχίας υπεισέρχεται ο ανθρώπινος παράγοντας και να ανακαλύψει το τι θα μπορούσε να γίνει λάθος από την πλευρά του ανθρώπου.

Μερικά παραδείγματα των πιθανών προβλημάτων είναι:

- i) Γραπτές διαδικασίες δεν έχει ολοκληρωθεί ή είναι δύσκολο να κατανοηθούν
- ii) Όργανα εκτός λειτουργίας ή ανεπαρκή
- iii) Η έλλειψη γνώσης από τον χειριστή
- iv) Αντικρουόμενες προτεραιότητες
- v) Επισήμανση ανεπαρκειών
- vi) Την απόκλιση μεταξύ θεωρίας και πράξης
- vii) Ο εξοπλισμός να μη λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές σχεδιασμού
- viii) Οι δυσκολίες επικοινωνίας
- ix) Ανεπαρκής εργονομία
- x) Διαφορά μεταξύ προφορικών και γραπτών οδηγιών
- xi) Κάνοντας μια επισκευή ή την συντήρηση με λάθος εργαλεία

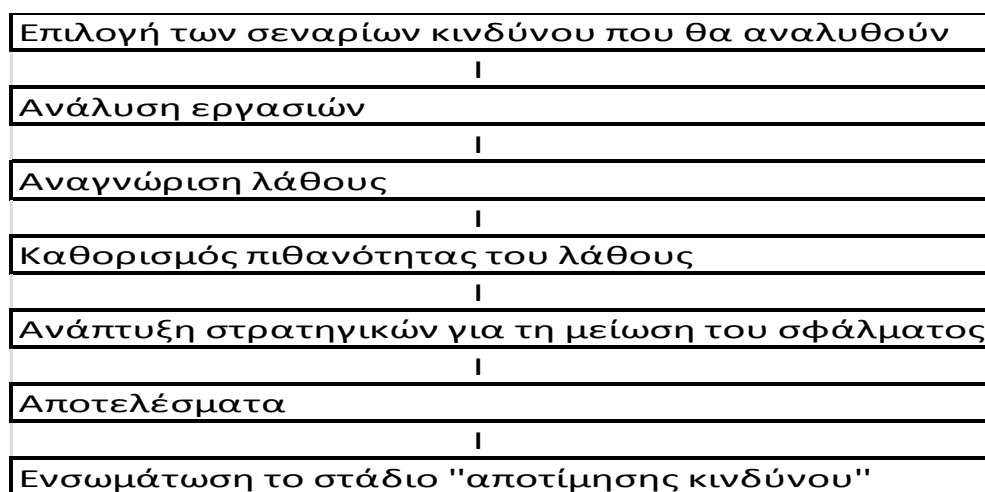
Κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις, αυξάνει την πιθανότητα ότι ένα άτομο έσφαλε κατά την εκτέλεση μιας εργασίας. Η ανάλυση πρέπει να εξετάσει συστηματικά σε κάθε βήμα την πιθανότητα σφάλματος. Αν υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός των πιθανών σφαλμάτων, ο αξιολογητής μπορεί να αποφασίσει τη διενέργεια

ελέγχου για να προσδιορίσει τα σφάλματα που είναι λιγότερο ή περισσότερο πιθανό να συμβούν και στη συνέχεια να επιλέξει να εκχωρήσει τιμές στα πιο πιθανά σφάλματα. Για τον προσδιορισμό του κινδύνου, ο αξιολογητής μπορεί να παράγει ποιοτικές εκτιμήσεις, (π.χ., χαμηλή, μεσαία ή υψηλή), ή ποσοτικές εκτιμήσεις (π.χ., 0,003), χρησιμοποιώντας τις υπάρχουσες βάσεις δεδομένων σε παρόμοια περιστατικά αποτυχίας. Έτσι αναπτύσσονται στρατηγικές ελαχιστοποίησης του ανθρώπινου λάθους.

Μετά το τέλος της ανάλυσης της ανθρώπινης αξιοπιστίας, οι ακόλουθες πληροφορίες θα είναι διαθέσιμες:

- i) Κατάλογος των καθηκόντων
- ii) Κατάλογος των πιθανών σφαλμάτων
- iii) Ανθρώπινες πιθανότητες λάθους
- iv) Στρατηγικές μείωσης λάθους
- v) Πληροφορίες σχετικά με την κατάρτιση και τις διαδικασίες
- vi) Πληροφορίες σχετικά με το σύστημα διαχείρισης της ασφάλειας

Το σχήμα 4, απεικονίζει γραφικά τα βήματα και τη σειρά τους, στην Ανάλυση Αξιοπιστίας Ανθρώπινου Παράγοντα. [7]



Σχήμα 4. Βήματα στην Ανάλυση Αξιοπιστίας Ανθρώπινου Παράγοντα.

1.2.2.2. Ανάλυση συνεπειών

Ο στόχος της είναι, με χρήση αναλυτικών μοντέλων, να έχουμε μια λεπτομερή πληροφόρηση σχετικά με τις πιθανές συνέπειες κάθε σεναρίου αστοχίας. Η χρήση αυτών των μοντέλων περιλαμβάνει συνήθως τέσσερις δραστηριότητες:

i) Τον χαρακτηρισμό του υλικού ή της μορφής ενέργειας που σχετίζεται με τον κίνδυνο που εξετάζουμε

ii) Τη μέτρηση (μέσω πολυδάπανων πειραμάτων) ή την εκτίμηση (χρήση μοντέλων και συσχετίσεις), της μεταφοράς του υλικού ή της μετάδοσης της ενέργειας στο περιβάλλον και προς τον εκτεθειμένο στον κίνδυνο στόχο.

iii) Ο προσδιορισμός των αποτελεσμάτων της μετάδοσης της ενέργειας ή των υλικών στον στόχο που εξετάζουμε.

iv) Ο ποσοτικός προσδιορισμός των συνεπειών, στην υγεία, την ασφάλεια, το περιβάλλον, και την οικονομία του στόχου.

Πολλά εξελιγμένα μοντέλα και οι συσχετίσεις έχουν αναπτυχθεί για την ανάλυση των συνεπειών. Εκατομμύρια δολάρια έχουν δαπανηθεί στην έρευνα των επιπτώσεων της έκθεσης σε τοξικές ουσίες.

Τα αποτελέσματα μιας ανάλυσης συνεπειών, πρέπει να είναι μια εκτίμηση του βαθμού έκθεσης, του πληθυσμού-στόχου στον κίνδυνο που μας ενδιαφέρει και των επιπτώσεων στην υγεία του, ή την ασφάλεια του γενικότερα, από αυτήν την έκθεση. [3] [4] [7]

1.2.2.3. Τελική Εκτίμηση Ρίσκου

Με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις Συχνότητας και Συνεπειών, μπορούμε συνδυάζοντάς τα να καταλήξουμε στο ρίσκο της υπό εξέταση δραστηριότητας.

Η πιο συνήθης πρακτική είναι να αποδίδουμε δείκτες τόσο στις συχνότητες, όσο και στις συνέπειες. Οι δείκτες αυτοί, μπορούν να εκφράζουν το μέγεθος είτε ποιοτικά είτε ποσοτικά. [7] [10]

1.2.3. Επιλογή Μέτρων Περιορισμού του Ρίσκου

Στο βήμα αυτό ασχολούμαστε πλέον με τα ρίσκα που είναι υψηλότερα σε σχέση με τα άλλα, με στόχο να προτείνουμε μια σειρά μέτρων (Risk Control Options) για την μείωση και την εξάλειψή τους. Οι δύο τακτικές που μπορούμε να εφαρμόσουμε εδώ, είναι α) η προσπάθεια μείωσης της συχνότητας ενός τύπου ατυχήματος, β) ο μετριασμός των συνεπειών ατυχήματος.

Τα μέτρα αυτά, πρέπει να στοχεύουν στις εξής περιπτώσεις:

- Εκεί που η ανάλυση στο προηγούμενο βήμα της FSA έδειξε υψηλά επίπεδα ρίσκου
- Εκεί που το επίπεδο του ρίσκου είναι μεν αποδεκτό, ωστόσο η σοβαρότητα των συνεπειών από τυχόν ατύχημα είναι ιδιαίτερα μεγάλη. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η πιθανότητα να συμβεί το ατύχημα είναι μικρή, έτσι το ρίσκο ατυχήματος θεωρείται αποδεκτό. Αν όμως συμβεί, οι συνέπειές του μας επιβάλλουν να πάρουμε μέτρα για παραπέρα μείωσή του.
- Εκεί που το επίπεδο του ρίσκου είναι μεν αποδεκτό, ωστόσο η πιθανότητα να έχουμε ατύχημα είναι πολύ υψηλή. Εδώ οι συνέπειες είναι ασήμαντες, η συχνότητα όμως των περιστατικών, θα έχει επίπτωση στην επιχειρησιακή απόδοση του συστήματος, με μεγαλύτερες οικονομικές συνέπειες.
- Εκεί που οι εκτιμήσεις μας σχετικά με την πιθανότητα ατυχήματος και την εκτίμηση των συνεπειών από αυτό, χαρακτηρίζονται από μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας και συνεπώς χαμηλή αξιοπιστία.

Έπειτα από όλα αυτά, προτείνονται τα κατάλληλα αλλά και εφαρμόσιμα μέτρα, για τη μείωση του ρίσκου (είτε μεμονωμένες ασφαλιστικές δικλείδες σε τοπικό επίπεδο, είτε ολόκληρες επιχειρησιακές διαδικασίες).

Στο τέλος του βήματος αυτού, επανεκτιμούμε τα επίπεδα του ρίσκου, αρχικά σε επίπεδο μοντέλου, ώστε να έχουμε εικόνα της αποτελεσματικότητάς του. Υπολογίζουμε επίσης, κατά πόσο κάθε μέτρο που εφαρμόζουμε, συμμετέχει στη μείωση του ρίσκου. [3] [4]

1.2.4. Ανάλυση Κόστους – Κέρδους

Δύο κριτήρια που χρησιμοποιούνται συχνά για να εκφραστεί η αποτελεσματικότητα των μέτρων που αναφέραμε πριν, για να καθορίσουν τα όρια του τι είναι λογικό και τι εφικτό, είναι το Ακαθάριστο Κόστος Αποτροπής Θανατηφόρων Ατυχημάτων (GCAF- Gross Cost of Averting a Fatality) και το Καθαρό Κόστος της Αποτροπή Θανατηφόρων Ατυχημάτων (NCAF- Net Cost of Averting a Fatality).

$$GCAF = \Delta Cost / \Delta R$$

$$NCAF = (\Delta Cost - \Delta Economic Benefits) / \Delta PLL$$

Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται είναι:

$\Delta Cost$ είναι το οριακό κόστος από την επιλογή RCO

ΔR είναι η μείωση του ρίσκου

ΔPLL είναι η μείωση του αριθμού των θανάτων

$\Delta Economic_Benefits$ είναι τα οικονομικά οφέλη από την εφαρμογή των RCO

$$GCAF = \frac{\text{Cost Increase}}{\text{Risk Reduction}}$$

$$NCAF = \frac{\text{Cost Increase} - \text{Economic Benefits}}{\text{Risk Reduction}}$$

Πρόκειται για δαπανηρά μέτρα που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των Risk Control Options από την άποψη του πρόσθετου κόστους για τη μείωση του κινδύνου για το προσωπικό και την αποφυγή θανάτων. Το κριτήριο NCAF λαμβάνει υπ' όψιν επίσης το οικονομικό κέρδος από τη χρήση των RCO. Και για τα δύο κριτήρια, πρέπει να αποφασιστούν κατάλληλες ποσοτικές τιμές για το βέλτιστο/μέγιστο κόστος της αποτροπής ενός θανατηφόρου ατυχήματος πριν την αξιολόγηση των R.C.O.

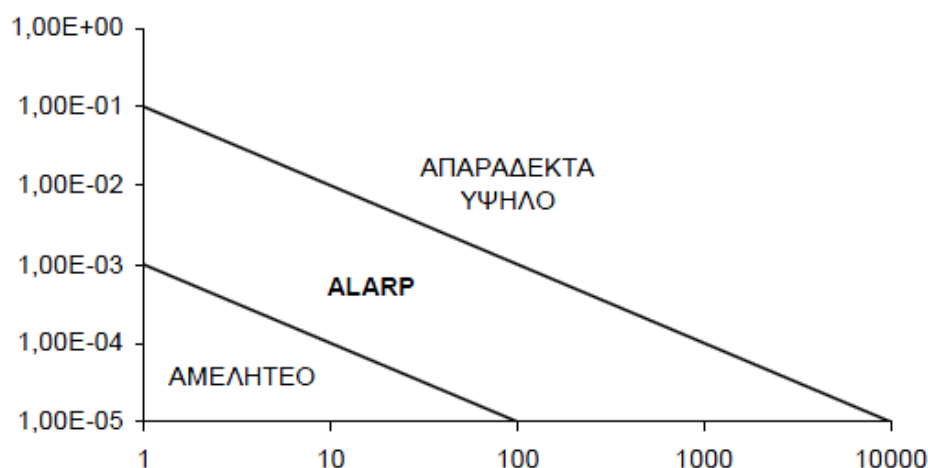
Μια ανάλυση Κόστους/Οφέλους συνδέεται με τη λεγόμενη ALARP (As Low As Reasonably Practible) αντιμετώπιση του ρίσκου. Κρατάμε δηλαδή το ρίσκο, σε επίπεδα τόσο χαμηλά, όσο είναι πρακτικά εφικτό.

Σύμφωνα με αυτή, το ρίσκο χωρίζεται σε 3 περιοχές : [3] [4] [6] [10] [11]

-**Περιοχή Μη-Αποδεκτού Ρίσκου** (*Unacceptable Region*), όπου είναι επιτακτικό να δράσουμε άμεσα για τη μείωση του ρίσκου, οποιοδήποτε και αν είναι το κόστος.

-**Περιοχή Αποδεκτού Ρίσκου** (*Broadly Acceptable Region*), όπου το ρίσκο θεωρείται από την πλειοψηφία του κοινωνικού συνόλου αμελητέο (*negligible*) και κατά συνέπεια δεν χρειάζεται να δράσουμε προκειμένου να το μειώσουμε περαιτέρω.

-**Περιοχή ALARP** (*Tolerable-ALARP Region*), όπου το ρίσκο είναι αποδεκτό τόσο, όσο χρειάζεται για να διασφαλίσουμε τα οφέλη· αυτό πρακτικά σημαίνει ότι προσπαθούμε να μειώσουμε το ρίσκο σε «λογικά (*reasonably*) πλαίσια», πράγμα που ισοδυναμεί με τον όρο *cost effective*. Συνεπώς, δεν χρειάζεται να προβούμε σε μέτρα για τη μείωση του ρίσκου, εφόσον τα οφέλη που προκύπτουν είναι δυσανάλογα μικρότερα (*grossly disproportionate*) σε σχέση με το κόστος (σε χρήμα, προσπάθεια ή χρόνο) που καλούμαστε να πληρώσουμε.



Σχήμα 5. Απεικόνιση της ALARP περιοχής σε ένα διάγραμμα F-N

(Οι τιμές στο παραπάνω σχήμα, είναι για τις ανάγκες παρουσίασης, και δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα)

Για την εφαρμογή του ALARP στο σύστημά μας είναι αναγκαίο να καθορίσουμε τις τρεις περιοχές στο διάγραμμα F-N καθορίζοντας τα πάνω & κάτω όρια της περιοχής ALARP (Upper & Lower Bound of ALARP Region).

1.2.5. Προτάσεις

Κάθε FSA πρέπει να καταλήγει σε προτάσεις, να μας παρέχει μια σύγκριση των διάφορων εναλλακτικών προτάσεων που έχουμε, με βάση την ικανότητά τους στον μετριασμό του ρίσκου και την οικονομική του βιωσιμότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η έννοια του ρίσκου και οι κατηγορίες του

2.1. Εισαγωγή στην έννοια του ρίσκου

Τον όρο “ρίσκο”, τον χρησιμοποιούμε σε ποικίλες περιπτώσεις και υπό πολλές έννοιες. Γενικά θα μπορούσαμε να το συνδέσουμε με τη δυνατότητα εμφάνισης κάποιας ανεπιθύμητης συνέπειας, ενώ συχνά προβάλλεται η παραδοσιακή προσέγγιση του ρίσκου, που παραπέμπει στη συσχέτιση της πιθανότητας με τις αντίστοιχες επιπτώσεις. Άλλες φορές ο όρος ρίσκο εφαρμόζεται για τις περιπτώσεις όπου τα αναμενόμενα αποτελέσματα είναι ασαφή.

Μερικοί ορισμοί της έννοιας του ρίσκου, όπως προέκυψαν από τη βιβλιογραφία, είναι: [6] [12] [13]

- Ρίσκο είναι η πιθανότητα για την πρόκληση απώλειας.
- Ρίσκο είναι το μέγεθος της πιθανής απώλειας.
- Ρίσκο είναι η συνάρτηση που προκύπτει από το γινόμενο της πιθανότητας επί την έκταση της αστοχίας (παραδοσιακή προσέγγιση).
- Το ρίσκο ισοδυναμεί με τη διασπορά της κατανομής της πιθανότητας για όλες τις πιθανές συνέπειες που σχετίζονται με μία συγκεκριμένη επικίνδυνη ροή γεγονότων.
- Το ρίσκο είναι μια μορφή διασποράς της κατανομής όλων των συνεπειών, υπό την προϋπόθεση ότι εξετάζονται μόνο οι αρνητικές συνέπειες, σε σχέση με μία προκαθορισμένη τιμή αναφοράς.
- Ρίσκο είναι ένας σταθμικός γραμμικός συνδυασμός της διασποράς και της αναμενόμενης τιμής για την κατανομή όλων των πιθανών συνεπειών.

Οι ευρύτερα διαδεδομένες χρήσεις της λέξης είναι:

- Το ρίσκο ως κίνδυνος.
- Το ρίσκο ως πιθανότητα.
- Το ρίσκο ως συνέπεια.
- Το ρίσκο ως απειλή ή ανεπιθύμητο γεγονός.

Γενικά πάντως, έχουμε να κάνουμε με την πιθανότητα πραγματοποίησης ενός ανεπιθύμητου γεγονότος και τις αντίστοιχες συνέπειές του.

Ένας γενικός ορισμός του, θα μπορούσε να είναι ο εξής:

Ρίσκο θεωρείται το γινόμενο της πιθανότητας ανεπιθύμητου συμβάντος, επί τις όποιες μετρήσιμες επιπτώσεις προκύπτουν από αυτό.

$$R = \sum p_i * C_i$$

Η διατύπωση αυτή, αντιστοιχεί στο λεγόμενο “παραδοσιακό ρίσκο”, γιατί αναφέρεται στην αρχική αντίστοιχη προσπάθεια για τη χάραξη γενικών οδηγιών μεταφοράς επικίνδυνων ουσιών που έγινε από το αμερικάνικο Υπουργείο Μεταφορών το 1989. [3] [4] [6] [14]

Παρόλα αυτά, η διαδικασία που προκύπτει με τον παραπάνω ορισμό, παρόλο που μας δίνει ένα φαινομενικά απόλυτο μέτρο του ρίσκου, είναι έντονα υποκειμενική. Υποκειμενικός είναι και ο προσδιορισμός του p_i και του C_i , ενώ υποκειμενική είναι και η αντίληψη του κάθε ατόμου σχετικά με το μέγεθος των συνεπειών από κάποια δραστηριότητα.

Επιπλέον, το ρίσκο δεν είναι ανεξάρτητο από τον πολιτισμό, την κουλτούρα και την κοσμοθεωρία μας, περιμένοντας να μετρηθεί. Αντιθέτως, είναι ένα εργαλείο για τον άνθρωπο, για να κατανοήσει και να αντιμετωπίσει τους κινδύνους και τις αβεβαιότητες της ζωής. Η διαχείρισή του, εκτός από επιστημονικό, είναι και πολιτικό εγχείρημα. Η κοινή γνώμη και η αντίληψη της κοινωνίας, λαμβάνουν ενεργό ρόλο για την ανάλυση και κυρίως την αξιολόγηση και την διαχείριση του ρίσκου.

Το πεδίο διαχείρισης του ρίσκου (Risk Management) έχει αναπτυχθεί σημαντικά, κυρίως όσον αφορά τους τομείς της Ανάλυσης του ρίσκου (Risk Analysis) και του υπολογισμού/εκτίμησης ρίσκου (Risk Assessment).

Risk Analysis: είναι η συστηματική χρήση διαθέσιμων πληροφοριών για την αναγνώριση των κινδύνων καθώς και η εκτίμηση ρίσκου σε ατομικό, κοινωνικό, περιβαλλοντολογικό επίπεδο.

Risk Assessment: είναι η επανεξέταση του αποδεκτού ρίσκου, το οποίο έχει αναλυθεί και αξιολογηθεί, βασισμένο σε κριτήρια ανοχής του ρίσκου.

Risk Management: είναι η εφαρμογή της εκτίμησης ρίσκου, με πρόθεση να πληροφορήσει για τα κατάλληλα μέτρα μείωσης του ρίσκου και τους πιθανούς τρόπους εφαρμογής.

Στην προσπάθειά μας να κατανοήσουμε την έννοια του ρίσκου, θα το διαχωρίσουμε σε δύο βασικές κατηγορίες. Όταν θεωρούμε το ρίσκο με βάση τον άνθρωπο, γίνεται ο διαχωρισμός μεταξύ του ρίσκου σε ατομικό επίπεδο (ατομικό ρίσκο) και του ρίσκου σε ομάδα ατόμων (κοινωνικό ρίσκο). [3] [4]

2.2. Ατομικό Ρίσκο (Individual Risk)

Το ατομικό ρίσκο κατά CCPS (Center for chemical Process Safety), 1989, ορίζεται ως:

‘ Το ρίσκο που αντιμετωπίζει ένα άτομο όταν βρεθεί αντιμέτωπο με έναν κίνδυνο. Αυτό συμπεριλαμβάνει τη φύση του τραυματισμού που είναι δυνατόν να υποστεί, την πιθανότητα να τραυματιστεί και την χρονική διάρκεια κατά την οποία το άτομο είναι εκτεθειμένο στον κίνδυνο. ’ [3] [4] [15]

Ο CCPS είναι ένας μη-κερδοσκοπικός οργανισμός, μέλος του AIChE (American Institute of Chemical Engineers), που προσδιορίζει τις ανάγκες της ασφάλειας στις εργασίες της χημικής και της φαρμακευτικής βιομηχανίας, και στα εργοστάσια πετρελαίου. Ο CCPS συγκεντρώνει τους κατασκευαστές, κυβερνητικούς οργανισμούς, συμβούλους, την ακαδημαϊκή κοινότητα και τους ασφαλιστές και ανοίγει το δρόμο για τη βελτίωση της ασφάλειας των βιομηχανικών μεθόδων παραγωγής. Με πάνω από 100 δημοσιεύσεις μέχρι σήμερα, CCPS παραμένει στην πρώτη γραμμή των θεμάτων που σχετίζονται με τη βιομηχανία. [16] [17]

Πρακτικά, το ατομικό ρίσκο εκφράζει τη συχνότητα τραυματισμού κατά τη διάρκεια που ένα άτομο βρίσκεται εκτεθειμένο σε κάποιο κίνδυνο, γι αυτό και συνήθως στις εφαρμογές εμφανίζεται με μονάδες (τραυματισμοί/ μονάδα χρόνου). Ποσοτικά το ατομικό ρίσκο μπορεί να υπολογιστεί με βάση τις παρακάτω σχέσεις:

$$IR = \sum_i^n IR_{i,j}$$

Όπου : $IR_{i,j} = f_i \cdot P_i$

IR είναι το συνολικό ατομικό ρίσκο

IR_{i,j} είναι το ρίσκο για ένα άτομο να υποστεί τραυματισμό τύπου j ως αποτέλεσμα του γεγονότος i

n ο συνολικός αριθμός των γεγονότων i

f_i η συχνότητα του γεγονότος i και

P_{ij} η πιθανότητα το γεγονός i να οδηγήσει σε τραυματισμό τύπου j

Είναι ενδιαφέρον να εξετάσουμε την περίπτωση που όντως έχουμε ατύχημα, τότε

$$f_i = 1 \text{ και συνεπώς } IR_{i,j} = P_{i,j}$$

δηλαδή για ένα συγκεκριμένο γεγονός (ατύχημα) και συγκεκριμένο τύπο τραυματισμού έχουμε το ατομικό ρίσκο να ισούται με την πιθανότητα να έχουμε τον τραυματισμό. [15] [24]

2.3. Κοινωνικό Ρίσκο (Societal Risk)

Σύμφωνα με τον ορισμό της IChemE, 1992, το κοινωνικό ρίσκο ορίζεται ως εξής:

‘Κοινωνικό ρίσκο είναι η σχέση μεταξύ συχνότητας και αριθμού ατόμων που είναι δυνατόν να υποστούν ένα συγκεκριμένο είδος τραυματισμού σε δεδομένο πληθυσμό από την πραγματοποίηση ενός συγκεκριμένου κίνδυνου.’

Με τον όρο *Κοινωνικό Ρίσκο* αποτυπώνεται ο τρόπος με τον οποίο οι διάφοροι κίνδυνοι επηρεάζουν μεγαλύτερες ομάδες του πληθυσμού, που βρίσκονται σε συγκεκριμένο τόπο, σε κάποια χρονική στιγμή και όχι πλέον μεμονωμένα άτομα. Επίσης, χρησιμοποιείται και ως δείκτης της αποστροφής της κοινωνίας, προς ατυχήματα που έχουν συνέπειες σε μεγάλους πληθυσμούς. Για παράδειγμα, σε χρονική διάρκεια ενός έτους, 100 ατυχήματα με 1 νεκρό το κάθε ένα δε θα γίνονταν ποτέ θέμα στις ειδήσεις, ενώ 1 ατύχημα με 100 νεκρούς μπορεί να έχει σοβαρότατες πολιτικές και οικονομικές συνέπειες. Όσο και αν αυτό φαίνεται κάπως σκληρό, είναι ο τρόπος με τον οποίο λειτουργούν οι κοινωνίες και εξηγεί και το ενδιαφέρον για μέτρηση των ρίσκων που επηρεάζουν άμεσα ένα μεγάλο αριθμό ανθρώπων. Από τα παραπάνω καθίσταται φανερό, ότι το κοινωνικό ρίσκο βρίσκει ιδιαίτερη εφαρμογή στις μεταφορές (είτε πρόκειται για οδικές, είτε για θαλάσσιες, είτε για

αερομεταφορές), καθώς σε περίπτωση ατυχήματος το σύνολο των επιβαινόντων εκτίθεται σε κίνδυνο. [3] [4] [18]

Η ανησυχία στην κοινωνία ή τα ρίσκα ή οι απειλές από τους κινδύνους που μπορεί να υλοποιηθούν, θα μπορούσε να έχει αρνητικές επιπτώσεις και έτσι οι οργανισμοί θέτουν σε εφαρμογή διατάξεις και ρυθμίσεις για την προστασία των ανθρώπων. Αυτό το είδος της ανησυχίας, συνδέεται συχνά με κινδύνους, οι οποίοι αν υλοποιηθούν, θα μπορούσαν να προκαλέσουν κοινωνικο-πολιτικές επιπτώσεις. Για παράδειγμα κίνδυνος εκτεταμένων ή μεγάλης κλίμακας ζημιών ή η εμφάνιση πολλαπλών θανάτων σε μία μόνο περίπτωση. Τυπικά παραδείγματα αφορούν την πυρηνική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σιδηροδρομικές μεταφορές, ή η γενετική τροποποίηση των οργανισμών. Κοινωνικές ανησυχίες, λόγω της εμφάνισης πολλών θανάτων σε ένα μοναδικό γεγονός, είναι γνωστό ως κοινωνικός κίνδυνος. Ο κοινωνικός κίνδυνος είναι συνεπώς ένα υποσύνολο των κοινωνικών ανησυχιών. [21]

Ιστορικά, η μελέτη του κοινωνικού ρίσκου, σχετιζόταν με τις επιπτώσεις σε ανθρώπους, σε σχέση με ατυχήματα. Παρ'όλα αυτά, τα τελευταία χρόνια, υπάρχει η τάση να χρησιμοποιούμε τον όρο με μια πιο ευρεία έννοια. Το κοινωνικό ρίσκο είναι πολύ πιο σύνθετο ζήτημα, καθώς περιλαμβάνει το κόστος μιας δραστηριότητας στο περιβάλλον, την οικονομία ακόμα και σε επίπεδα πολιτικής στρατηγικής. Για την περαιτέρω ανάλυσή του, θα το χωρίσουμε σε τέσσερις κατηγορίες:

2.3.1.

- **Συλλογικό ρίσκο (collective risk)**

Σε αυτήν την κατηγορία έχουμε τα ρίσκα που αντιμετωπίζει κάποιος πληθυσμός, εξ αιτίας της έκθεσής του σε κάποιον κίνδυνο (για παράδειγμα μια επικίνδυνη ουσία), ο οποίος βρίσκεται σταθερά παρών, ως αποτέλεσμα κάποιας δραστηριότητας και δεν είναι προϊόν συγκυριών ή ενός ασυνήθιστου γεγονότος (πχ. ατύχημα). Ενδεικτικά, μπορούμε να αναφέρουμε το ρίσκο μιας ευπαθούς κοινωνικής ομάδας (μικρά παιδιά, έγκυες μητέρες κτλ.) που μένουν σε μία πόλη, λόγω της μόλυνσης του περιβάλλοντος.

Μια ποσοτική εκτίμηση του συλλογικού ρίσκου, μπορεί να δωθεί ως εξής: [18]

Συλλογικό ρίσκο = Ατομικό ρίσκο × αριθμός εκτιθέμενων ανθρώπων

2.3.2.

- **Απλό ρίσκο**

Η πιο ευρέως μορφή κοινωνικού ρίσκου, βασίζεται στην πιθανότητα F , για N ή και παραπάνω θανάτους. Η χρήση της παραμέτρου των θανάτων, μας παρέχει ένα αξιόπιστο μέτρο των συνεπειών. Οι καμπύλες $F-N$ που προκύπτουν, μας παρέχουν μια αξιόπιστη βάση για την αποτίμηση του κοινωνικού ρίσκου. Αυτό φυσικά, δε σημαίνει ότι άλλες συνέπειες (καταστροφή στο περιβάλλον, οικονομικές απώλειες κλπ) δε μας απασχολούν, αλλά η μελέτη των θανάτων, παρέχει μια απλοποιημένη μέθοδο, της αξιολόγησης των ρίσκων. Για παράδειγμα, η τακτική αυτή για μια επικίνδυνη κατάσταση μπορεί να εφαρμοστεί σε δύο διαφορετικές περιοχές, τα αποτελέσματα να συγκριθούν, και με τα απαραίτητα κριτήρια να καθοριστεί, ποια τοποθεσία προσφέρει το χαμηλότερο κοινωνικό ρίσκο και αν αυτό μπορεί να είναι ανεκτό.

Παράλληλα δίνεται η δυνατότητα για απλοποιημένους μαθηματικούς τύπους και κατά συνέπεια υπολογισμών σε ποσοτική ανάλυση του ρίσκου. Επεκτείνοντας τον συλλογισμό διάφορα μοντέλα ποσοτικοποίησης των συνεπειών όπως δέντρα σφαλμάτων (*fault trees*) και δέντρα γεγονότων (*event trees*) παράγουν αποτελέσματα τα οποία μπορούν να εκφραστούν στη μορφή των $F-N$ καμπυλών.

Παρόλα αυτά, ο τρόπος με τον οποίο θα υπολογίσουμε τη συχνότητα ανθρωπίνων απωλειών από κάποια δραστηριότητα, ελλοχεύει τον κίνδυνο να μας οδηγήσει σε σημαντικές αποκλίσεις στα τελικά αποτελέσματα.

ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΦΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΖΩΗΣ (FATALITY RISKS)
Θάνατοι ανά έτος
Θάνατοι ανά μέγιστο αριθμό επιβατών
Θάνατοι ανά πλόες το χρόνο
Θάνατοι ανά το συνολικό στόλο (<i>shipyears</i>)
Θάνατοι ανά μιλιομετρικούς επιβάτες
Θάνατοι ανά συνολικά μετακινηθέντες επιβάτες
Θάνατοι ανά συγκεκριμένο ατύχημα
Μείωση προσδόκιμου ζωής
Θάνατοι ανά δραστηριότητα / ιδιότητα

Πίνακας 6. Τρόποι έκφρασης της απώλειας ανθρ. ζωής (FATALITY RISKS)

Ο πίνακας 6 δείχνει μερικούς διαφορετικούς τρόπους για την μέτρηση του μεγέθους « συχνότητα απώλειας ανθρώπινης ζωής » σε πλοία τύπου ΕΓ /ΟΓ.

Η εκλογή του τρόπου μέτρησης αναμένεται να φέρει κάπως διαφορετικά αποτελέσματα στον τρόπο αντίληψης και αξιολόγησης του ρίσκου.

- ❖ Με βάση τα παραπάνω, η μείωση της διάρκειας ζωής (reduction in life expectancy) αντιμετωπίζει την απώλεια ζωής ενός εφήβου ως πιο σημαντικό από την απώλεια ζωής ενός ηλικιωμένου.
- ❖ Υπολογίζοντας τους θανάτους, κάθε απώλεια ζωής λαμβάνεται ισότιμα, ανεξάρτητα απ' το αν πέθανε ακαριαία ή μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα, αντιμετωπίζοντας καθημερινά το πόνο και το φόβο του θανάτου για αυτόν και τους συγγενείς του.
- ❖ Ο όρος 'αριθμός θανάτων' ανά δραστηριότητα διαχωρίζει τους ανθρώπους σε αυτούς που εκτίθενται στο κίνδυνο οικειοθελώς και έχουν κέρδος από την δραστηριότητα αυτή και σε όσους εκτίθενται στον κίνδυνο χωρίς να το έχουν θελήσει.

Είναι αρκετά εύκολο να παρουσιαστεί μια μέτρηση σε σχέση με το ρίσκο. Το βασικό ζήτημα όμως, είναι να δημιουργηθεί ένα ικανό μοντέλο πρόβλεψής του, και ένα όσο πιο αντικειμενικό σύστημα που θα κρίνει την αποδοχή του. [4]

2.3.3.

- **Πολλαπλό ρίσκο**

Σε πιο πολύπλοκες καταστάσεις, η εμπιστοσύνη στα κριτήρια της F-N, αποκλειστικά και μόνο με την παράμετρο των θανάτων, μπορεί να είναι ανεπαρκής. Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν τα ατυχήματα στα οποία εμπεριέχονται όλες οι πιθανές συνέπειες, που μπορεί να προκαλέσει ένα ατύχημα. Έτσι οι συνολικές συνέπειες συνυπολογίζουν και τις δευτερεύουσες επιπτώσεις του ατυχήματος, και όχι μόνο την ύπαρξη ή όχι νεκρών.

Για παράδειγμα, σε ένα σοβαρό ατύχημα που συμβαίνει σε ένα δεξαμενόπλοιο, παρατηρούμε ότι προφανώς η συνολική επίπτωση των συνεπειών δεν εξαρτάται μόνο από τις απώλειες ανθρώπινης ζωής αλλά και από τη ζημία που υπέστη το περιβάλλον. Σε αυτήν την κατηγορία, είναι δυνατή η παραγωγή καμπυλών F-N, μόνο που πλέον ο οριζόντιος άξονας δεν εκφράζει μονοσήμαντα τους θανάτους, αλλά γενικά απώλειες. Επειδή όμως είναι ευκολότερο να ορίσει κανείς κριτήρια αποδοχής για κάθε τύπο ανεπιθύμητης συνέπειας ξεχωριστά, συνιστάται ο οριζόντιος άξονας να εκφράζει από

μία συγκεκριμένη συνέπεια τη φορά. Αυτή η πρακτική θα μας οδηγήσει σε πολλαπλές καμπύλες F-N κάθε μία από τις οποίες θα απεικονίζει την αθροιστική συχνότητα του να έχουμε μια και μόνο συγκεκριμένη δυσμενή επίπτωση. [18]

2.3.4.

- **Κοινωνικός προβληματισμός**

Σε επίπεδο μια γενικότερης στρατηγικής για τη λήψη αποφάσεων, η χρήση των καμπύλων F-N βασιζόμενων μόνο στην παράμετρο των θανάτων είναι άσκοπη. Η HSE (Health & Safety Executive) όρισε τον κοινωνικό προβληματισμό, σαν ‘‘συνολικό κακό στον πληθυσμό’’.(HSE 1989a) και πιο πρόσφατα στο Generic terms and concepts in the assessment and regulation of industrial risks (HSE 1995) σαν:

‘...τα ρίσκα από κινδύνους ή απειλές τα οποία έχουν επιδράσεις στην κοινωνία, και τα οποία εάν πραγματοποιηθούν μπορούν να έχουν δυσμενές αντίκτυπο στους οργανισμούς που είναι υπεύθυνοι για τα προληπτικά μέτρα προστασίας των ατόμων, π.χ. το κοινοβούλιο. Αυτού του τύπου οι προβληματισμοί συχνά συσχετίζονται με κινδύνους που προκαλούν ρίσκα τα οποία όταν πραγματοποιηθούν μπορούν να προκαλέσουν κοινωνικό-πολιτικές αντιδράσεις...’

[18] [19] [20]

Ένα παράδειγμα προβληματισμού, όπου δεν έχουν νόημα η λήψη αποφάσεων με βάση κριτήρια που παράγονται από καμπύλες F-N που βασίζονται σε ανθρώπινες απώλειες, είναι η δημιουργία πυρηνικού αντιδραστήρα σε κάποια περιοχή. Σε αυτό το παράδειγμα, η πιθανότητα αστοχίας του αντιδραστήρα, μπορεί να είναι πάρα πολύ μικρή, αλλά υπάρχουν και παράπλευρες συνέπειες όπως η υποβάθμιση της περιοχής, η δημιουργία πιθανών καρκινογόνων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα από τις δραστηριότητες της εγκατάστασης,, οι αντιδράσεις των πολιτών κλπ. Όλα αυτά είναι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Επομένως, η λήψη αποφάσεων πρέπει να λαμβάνει υπ’ όψιν όλες τις πιθανές επιπτώσεις και από ατυχήματα αλλά και γενικότερα από δραστηριότητες. Μερικές από αυτές είναι:

- i. Ανθρώπινες απώλειες
- ii. Τραυματισμοί
- iii. Καταστροφή περιουσίας
- iv. Οικολογική καταστροφή
- v. Οικονομική απώλεια
- vi. Ψυχολογικο-κοινωνικές βλάβες
- vii. Πολιτικές συνέπειες

- viii. Κόστος
- ix. Απόψεις όλων των κοινωνικών ομάδων που επηρεάζονται
- x. Εξέταση πιθανών εναλλακτικών λύσεων (ρίσκα και οφέλη)
- xi. Εξοικείωση με τις δραστηριότητες αυτές
- xii. Φήμη

Βλέπουμε ότι οι παραπάνω παράμετροι είναι αδύνατον να ποσοτικοποιηθούν.

Γενικότερα, πριν τη λήψη κάθε απόφασης, καλό είναι να υπάρξει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη σύγκλιση απόψεων των ενδιαφερόμενων, και να τηρούνται οι αρχές της δημοκρατίας και της προστασίας των ατομικών δικαιωμάτων. [4] [18] [21]

Αυτή η σελίδα παρέμεινε σκοπίμως κενή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Τρόποι εκτίμησης κοινωνικού ρίσκου

3.1. Καμπύλες F-N (Frequency-Number curves)

Οι καμπύλες F-N αποτελούν μια γραφική αναπαράσταση, σε λογαριθμική-λογαριθμική κλίμακα, των πληροφοριών που αφορούν την συχνότητα εμφάνισης θανατηφόρων ατυχημάτων σ' ένα σύστημα, καθώς και το πώς κατανέμονται οι αριθμοί των θανάτων σε τέτοια ατυχήματα. [4] [11] [22]

3.1.1. Περιγραφή καμπύλων F-N

Όπως προείπαμε, οι καμπύλες αυτές αποτελούν μια απεικόνιση της συχνότητας του να έχουμε N ή παραπάνω τραυματισμούς ανά ατύχημα και μέσα σε ένα συγκεκριμένο διάστημα. Στην πρακτική εφαρμογή τους, οι καμπύλες F-N μας δείχνουν τη συχνότητα θανάτων και όχι απλά των τραυματισμών, οπότε από εδώ και πέρα θα θεωρείται γνωστό ότι η συχνότητα F αφορά μόνο θανάτους.

Οι καμπύλες F-N είναι λοιπόν, συνεχή γραφήματα που αναπαριστούν τη συχνότητα/πιθανότητα θανατηφόρων ατυχημάτων με N ή περισσότερους θανάτους (cumulative frequency distribution of N or more fatalities) F(N), συναρτήσεως των συνεπειών (consequences), δηλαδή του αριθμού N των θανάτων :

$$F(N) = P[n > N],$$

όπου n ο αριθμός των νεκρών και $N \geq 1$ (μέχρι τον μέγιστο αριθμό πιθανών θανάτων για το σύστημα που εξετάζουμε).

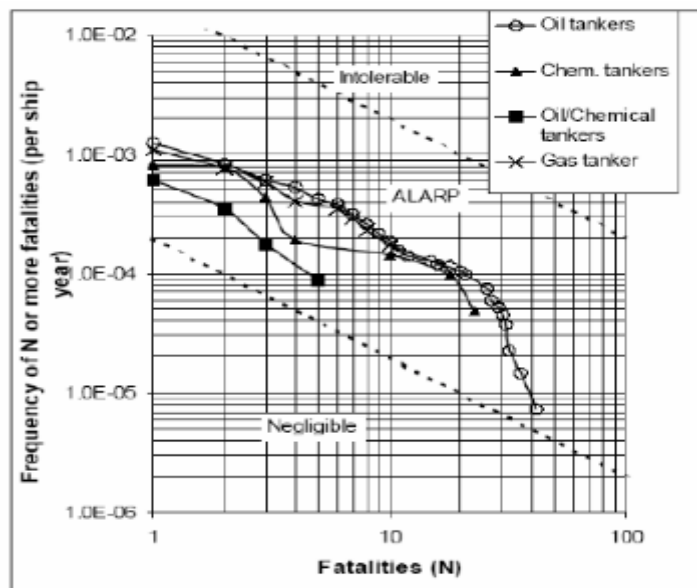
Άρα, για $N = 1$ έχουμε την τιμή F(1), η οποία είναι ιδιαίτερα σημαντική, αφού αντιπροσωπεύει τη συνολική συχνότητα όλων των θανατηφόρων ατυχημάτων. Για πολύνεκρα δηλαδή ατυχήματα, οι τιμές των συχνοτήτων F(N), έχουν ιδιαίτερο πολιτικό ενδιαφέρον, δεδομένης της τάσης αποστροφής της κοινωνίας προς τέτοιου είδους ατυχήματα.

Από όσα προείπαμε, γίνεται φανερό ότι οι καμπύλες F-N έχουν αθροιστικό χαρακτήρα (cumulative distribution of multiple fatality events $\rightarrow F(N) \geq F(N+1)$) και επομένως η κλίση τους είναι πάντοτε αρνητική, ενώ τις σχεδιάζουμε σε λογαριθμική κλίμακα (log-log), αφού οι τιμές των F και N εκτείνονται σε αρκετές τάξεις μεγέθους. Επίσης, ισχύει ότι η διαφορά μεταξύ των συχνοτήτων για ή περισσότερα θανατηφόρα

ατυχήματα ($F(N)$) και για $N + 1$ ή περισσότερα θανατηφόρα ατυχήματα ($F(N + 1)$), δίδει τη συχνότητα θανατηφόρων ατυχημάτων για ακριβώς N θανάτους και συμβολίζεται ως :

$$f(N) = F(N) - F(N + 1), \text{ όπου } f(N) \geq 0$$

Τέλος, παραδείγματα καμπυλών FN για θανατηφόρα ατυχήματα σε διάφορα είδη δεξαμενόπλοιων δίδονται στο ακόλουθο σχήμα : [11] [25] [26] [27]



Σχήμα 6. Παράδειγμα διαγράμματος $F-N$

3.1.1.1. Κατακόρυφος άξονας καμπύλων $F-N$

Ο κατακόρυφος άξονας ($F(N)$) εκφράζει την αθροιστική συχνότητα / πιθανότητα να γίνει ατύχημα με N ή περισσότερους νεκρούς. Για την εκτίμηση του κοινωνικού ρίσκου μας ενδιαφέρει η πιθανότητα να έχουμε ατύχημα N ή παραπάνω νεκρών, επικεντρώνοντας στο κάθε γεγονός και όχι απλά στον αριθμό νεκρών.

Επομένως, το F θα είναι σε μονάδες όπως:

$$\frac{\text{ατυχήματα}}{\text{έτος}}, \frac{\text{ατυχήματα}}{\text{δρομολόγιο}}, \frac{\text{ατυχήματα}}{\text{χιλιομετρική απόσταση}}, \frac{\text{ατυχήματα}}{\text{σύνολο επιβατών}} \text{ κλπ.}$$

Όμως, η πιο συχνή μορφή της συχνότητας που συναντάμε στην ανάλυση ναυτικών ατυχημάτων, είναι σε μονάδες:

ατυχήματα
αριθμός πλοίων × έτη

Σε άλλες εφαρμογές, εκφράζεται συνήθως ως αριθμός ατυχημάτων / έτος.

Ανάλογα με την έκφραση της συχνότητας, αλλάζει η σχετική θέση της καμπύλης F-N. Το σχήμα της καμπύλης όμως παραμένει σταθερό. Δηλαδή η καμπύλη F-N μετατοπίζεται μόνο κατά τον κατακόρυφο άξονα. Η εικόνα του ρίσκου παραμένει σταθερή. Προσοχή χρειάζεται στην ανάγνωση των συχνοτήτων στην μορφή απόλυτων αριθμών ως προς το τι εκφράζουν, τόσο για την ορθή ανάγνωση αλλά και για την δημιουργία κριτηρίων. Αυτό οφείλεται, τόσο στο γεγονός ότι η εύρεση στατιστικών στοιχείων όπως το πλήθος των δρομολογίων, των διαδρομών κλπ, μπορεί να αποδειχτεί εξαιρετικά δυσχερές, όσο και σε λόγους ουσίας. [3] [22]

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να κάνουμε μια παρένθεση, για να διευκρινίσουμε ότι με τον όρο ‘ατύχημα’ στην ανάλυση των ναυτικών ατυχημάτων, εμπεριέχονται οι εξής κατηγορίες: [23]

- ✓ Σύγκρουση
- ✓ Προσάραξη
- ✓ Πρόσκρουση
- ✓ Εισροή υδάτων
- ✓ Πυρκαγιά / έκρηξη
- ✓ Αστοχία γάστρας / μηχανικού εξοπλισμού
- ✓ Βύθιση
- ✓ Διάφορα άλλα ατυχήματα

Στο υπολογιστικό κομμάτι της εργασίας μου, θα δούμε πως μπορούμε να επικεντρωθούμε σε ένα συγκεκριμένο τύπο ατυχήματος, αντί για το σύνολο.

3.1.1.2. Οριζόντιος άξονας καμπύλων F-N

Στον άξονα αυτόν, εκφράζονται οι συνέπειες. Στα ναυτικά ατυχήματα μπορεί να έχουμε πολλαπλές συνέπειες, απ’ τις οποίες μόνο μερικές μπορούν να εκφραστούν με διαφανή και αντικειμενικό τρόπο σε χρηματικές μονάδες. Οι συνέπειες μπορεί να εμπεριέχουν ανθρώπινες απώλειες, τραυματισμούς, ζημιά σε περιουσίες και ζημιά ως προς το περιβάλλον.

Παρόλο που οι συνέπειες συνήθως εκφράζουν αρνητικές επιπτώσεις, μερικές φορές μπορεί και να εμπεριέχουν θετικές επιπτώσεις. Για παράδειγμα η επιβολή ενός μέτρου μπορεί να έχει θετικές συνέπειες, όπως μείωση ρίσκου, περιβαλλοντολογικό κέρδος κτλ. Το θέμα είναι πως αυτές μπορούν να αξιολογηθούν και μετρηθούν. Οι σύγχρονες μελέτες εξακολουθούν να πραγματεύονται το πως μπορούν να καταταχθούν και να αξιολογηθούν με σαφήνεια οι παραπάνω συνέπειες. Παρόλα αυτά η ανάλυση ρίσκου και οι αποφάσεις απλοποιούνται, σε μεγάλο βαθμό, αν μετρηθούν οι παραπάνω συνέπειες σε κοινή βάση. Για αυτόν το λόγο, είναι συχνά χρήσιμο να χρησιμοποιούμε κοινή βάση στην οποία έχουμε διαθέσιμα στοιχεία.

Για παράδειγμα, αριθμός των νεκρών σε ένα πολύνεκρο ναυτικό ατύχημα μπορεί να εκφράσει ικανοποιητικά το μέγεθος των επιπτώσεων σε κοινωνικό επίπεδο. Κυρίως όμως, έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να μετρηθεί ευκολότερα από ότι το οικονομικό μέγεθος της ζημιάς ή τον κοινωνικό αντίκτυπο.

Απαραίτητο στοιχείο στο σχεδιασμό της μελέτης αποτίμησης ρίσκου λαμβάνει η απόφαση στο πως θα εκτιμηθεί το ρίσκο. Έτσι εκτός από την αποτίμηση των συνεπειών σε μορφή ανθρώπινων απωλειών και η αντίστοιχη παραγωγή καμπυλών F-N, είναι δυνατή η παραγωγή αντίστοιχων καμπυλών με τον οριζόντιο άξονα να εκφράζει διαφορετική μορφή συνεπειών. Τα ναυτικά ατυχήματα, κατά κύριο λόγο, μπορούν να οδηγήσουν σε τρεις διαφορετικές συνέπειες, οι οποίες απεικονίζονται γραφικά με όμοιο τρόπο εκείνων των καμπυλών F-N :

3.1.1.2.1. Καμπύλες F-N (Ανθρώπινες απώλειες και τραυματισμοί)

Είναι η περίπτωση που ήδη έχουμε παρουσιάσει. Ο οριζόντιος άξονας εδώ, εκφράζει τις ανθρώπινες απώλειες. Οι τραυματισμοί μετατρέπονται σε ισοδύναμες απώλειες. Η παρακάτω σχέση μας δίνει τον τύπο της καμπύλης:

$$1 - G_N(X) = F_N(X) = P(N \succ X) = \int_X^{+\infty} f_N(x) \cdot dx$$

3.1.1.2.2. Καμπύλες F-D (Οικονομική απώλεια)

Σε μια ανάλυση ρίσκου, σημαντικό ρόλο εκτός από τις απώλειες, παίζει και το οικονομικό ρίσκο. Ο οριζόντιος άξονας εδώ, εκφράζει χρηματικές μονάδες. Οι καμπύλες F-D εκφράζουν την πιθανότητα υπέρβασης της συνάρτησης οικονομικής απώλειας. Η παρακάτω σχέση μας δίνει τον τύπο της καμπύλης:

$$1 - G_D(X) = F_D(X) = P(D \succ X) = \int_X^{+\infty} f_D(x) \cdot dx$$

3.1.1.2.3. Καμπύλες F-T (Περιβαλλοντική μόλυνση)

Σε αυτήν την περίπτωση, ο οριζόντιος άξονας εκφράζει το χρόνο που χρειάζεται το οικοσύστημα, για να επανέλθει στην αρχική κατάσταση, πριν από την περιβαλλοντολογική μόλυνση. Η παρακάτω σχέση μας δίνει τον τύπο της καμπύλης:

$$1 - G_T(X) = F_T(X) = P(T > X) = \int_x^{+\infty} f_T(x) \cdot dx$$

3.1.2. Κατασκευή καμπύλων F-N

Υπάρχουν τρεις γενικές μέθοδοι για την κατασκευή των καμπυλών F-N:

- Ανάπτυξη ενός πιθανού θεωρητικού μοντέλου που εκτιμάει τις πιθανότητες F εμφάνισης θανατηφόρων ατυχημάτων
- Ανάλυση εμπειρικών/ιστορικών δεδομένων, δηλαδή από τον υπολογισμό των συχνοτήτων παλαιότερων θανατηφόρων ατυχημάτων.
- Εκτιμήσεις ειδικών

Η πρώτη μέθοδος είναι σαφώς πολύ δύσκολο να εφαρμοστεί με αξιοπιστία στις θαλάσσιες μεταφορές, λόγω της πολυπλοκότητας και της πληθώρας των παραγόντων και των αιτιών που μπορεί να οδηγήσουν σε ένα ναυτικό ατύχημα. Για παράδειγμα σε ένα πλοίο μεταφοράς φορτίου χύδην δεν μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα ποια είναι η πιθανότητα αυτό να προσαράξει λόγω μηχανικής βλάβης ή να συγκρουστεί με άλλο πλοίο λόγω σφάλματος του πληρώματος. Συνεπώς, αυτό που ευρέως χρησιμοποιείται είναι η ανάλυση των ιστορικών στοιχείων που έχει ο μελετητής στη διάθεση του κατά περίπτωση. [11] [22]

Οι απαιτήσεις δεδομένων για την εμπειρική εκτίμηση της καμπύλης F-N, είναι μεγάλες. Τα συνήθη βασικά στοιχεία που συλλέγονται, όπως είναι οι αριθμοί των θανάτων και ο αριθμός των θανατηφόρων ατυχημάτων, πολλές φορές είναι ανεπαρκή. Πρέπει να γνωρίζουμε ακριβώς πόσοι θάνατοι υπήρχαν σε κάθε ατύχημα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Επιπλέον, μπορεί να χρειαστεί να εξετάσουμε μεγάλο χρονικό διάστημα, προκειμένου να συγκεντρωθούν αρκετά στοιχεία για λογική ανάλυση εξαιτίας των περιπτώσεων ατυχημάτων με μικρή συχνότητα αλλά μεγάλων συνεπειών. [25]

Η διαδικασία κατασκευής των καμπύλων F-N, περιλαμβάνει τρία βήματα:

- Το πρώτο βήμα είναι ο προσδιορισμός του αριθμού των νεκρών που προκύπτουν από ένα ατύχημα. Αυτό επιτυγχάνεται αναλύοντας τα στατιστικά στοιχεία και καταγράφοντας τον αριθμό των νεκρών ανά ατύχημα. Αν δεν υπάρχουν αναλυτικά στοιχεία τότε μέσω της σχέσης:

$$N_i = P_i \cdot P_{d/i} \cdot \Pi \rightarrow N_i = IR_i \cdot \Pi$$

όπου,

N_i ο αριθμός των νεκρών από το ατύχημα i

IR_i το ατομικό ρίσκο ως αποτέλεσμα του γεγονότος i

P_i η πιθανότητα του να συμβεί το ατύχημα i

$P_{d/i}$ η πιθανότητα το γεγονός I να οδηγήσει σε τουλάχιστον 1 θάνατο

και Π ο συνολικός αριθμός των ατόμων που εκτίθενται σε ρίσκο

- Το επόμενο βήμα περιλαμβάνει τον υπολογισμό της αθροιστικής συχνότητας όλων των ατυχημάτων που έδωσαν N ή περισσότερους νεκρούς. Το διάστημα όπου λαμβάνει τιμές η μεταβλητή N είναι συνήθως το $[1, N_u]$, με N_u τον μέγιστο αριθμό νεκρών που μπορεί να έχουμε ως αποτέλεσμα ενός ατυχήματος. Το γεγονός ότι στο συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφίας, τόσο οι καμπύλες $F-N$ όσο και τα όρια που τις περιορίζουν είναι συνεχείς γραμμές, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μαθηματικά ορθότερη θα ήταν η χρήση του διαστήματος $(0, \infty)$. Ασφαλώς και δεν είναι δυνατόν να προκύψει σε ατύχημα μη ακέραιος αριθμός νεκρών, ωστόσο κατά την πιθανολογική ανάλυση κάποιας δραστηριότητας είναι δυνατόν να συμβαίνει. Η αθροιστική συχνότητα συμβολίζεται ως F_N και ο αριθμός νεκρών ως N , όπου όταν θεωρείται διακριτή μεταβλητή:

$$F_N = \sum_i^N f_i \text{ για ατυχήματα με } N_i \geq N$$

Ενώ όταν έχουμε N συνεχή:

$$F_N = \int_i^N f_i \text{ για ατυχήματα με } N_i \geq N$$

- Στο τρίτο βήμα είμαστε έτοιμοι να σχεδιάσουμε την καμπύλη F-N, όπου όπως προείπαμε, τοποθετούμε στον κατακόρυφο άξονα τις αθροιστικές συχνότητες F_N και στον οριζόντιο των αριθμό των νεκρών N. Προφανώς, από τη στιγμή που μιλάμε για αθροιστικές συχνότητες, ισχύει η ανισότητα:

$$F_N \geq F_{N+1}$$

Επίσης, από ένα διάγραμμα F-N μπορούμε να υπολογίσουμε τη συχνότητα να έχουμε ακριβώς N νεκρούς. Αυτό επιτυγχάνεται με τις δύο παρακάτω σχέσεις:

$$f_N = F_N - F_{N+1} \quad (1)$$

$$f_N = F_1 \cdot P_N \quad (2)$$

Όπου στις παραπάνω σχέσεις:

f_N η συχνότητα να έχουμε ατύχημα με ακριβώς N νεκρούς

F_1 η συχνότητα να έχουμε ατύχημα με 1 ή περισσότερους νεκρούς.

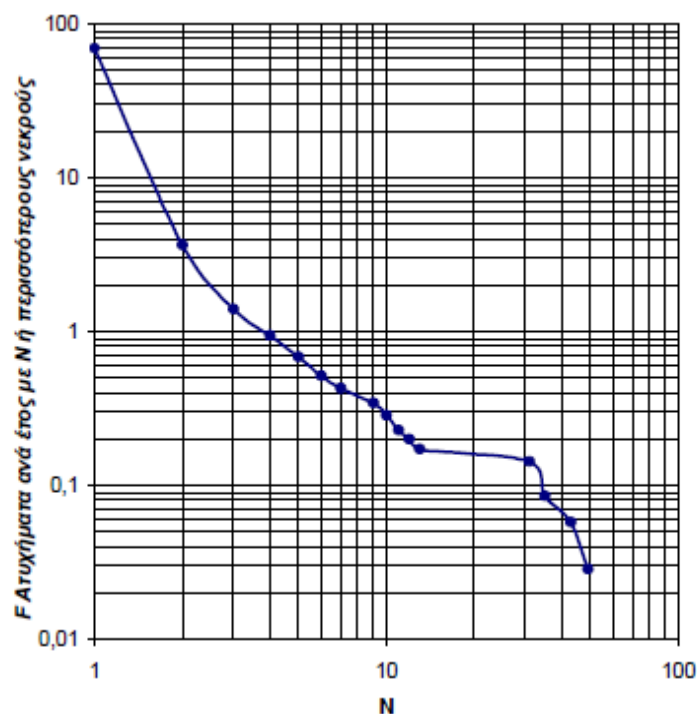
P_N η πιθανότητα να έχουμε ατύχημα με ακριβώς N νεκρούς

Η F_1 είναι ουσιαστικά το σημείο τομής της καμπύλης F-N με τον κατακόρυφο άξονα και εκφράζει την ετήσια ολική συχνότητα / πιθανότητα να πραγματοποιηθεί ατύχημα με 1 ή περισσότερους νεκρούς. [3] [4] [11] [22]

3.1.3. Παρατηρήσεις στις καμπύλες F-N

Είναι γενικά αποδεκτό ότι η καμπύλη F-N έχει αρκετή ακρίβεια για την περιγραφή των κοινωνικών κινδύνων. Ωστόσο, στην επικοινωνία με τους πολίτες και τους ανθρώπους που παίρνουν τις αποφάσεις, μια σχηματοποίηση των F-N, μπορεί να φέρει ορισμένα πλεονεκτήματα. Διάφορα μέτρα όπως ενδεχόμενη απώλεια της ζωής, η περιοχή κάτω από την καμπύλη F-N, το αναπόσπαστο ρίσκο κλπ, προτείνονται στη βιβλιογραφία. [28]

Πλέον, με τις συχνότητες καθώς και τις αθροιστικές συχνότητες συναρτήσει του αριθμού των νεκρών N αφού χαράξουμε την αντίστοιχη καμπύλη F-N, προσέχουμε ότι οι άξονες των F και N θα πρέπει να είναι σε log-log κλίμακα.



Σχήμα 7. Καμπύλη F-N σιδηροδρομικών μεταφορών στην Αγγλία (1967- 2001)

Στο παραπάνω σχήμα, βλέπουμε ένα παράδειγμα F-N για τις σιδηροδρομικές μεταφορές της Αγγλίας την περίοδο (1967-2001) [25]

Κάποια πράγματα που μπορούμε να σημειώσουμε. Αρχικά η καμπύλη εμφανίζει μια σαφέστατη τάση για μείωση των συχνοτήτων F_N καθώς το N μεγαλώνει. Αυτό σημαίνει ότι η πλειονότητα των (θανατηφόρων) ατυχημάτων περιλαμβάνουν μικρό αριθμό νεκρών κάτι που, δεδομένης της γενικής αποστροφής των Κριτηρίων Αποδοχής Ρίσκου προς ατυχήματα με μεγάλους αριθμούς νεκρών, είναι σε πρώτη φάση ενθαρρυντικό για το επίπεδο του ρίσκου. Κατά δεύτερον προσοχή χρειάζεται στο γεγονός ότι η συχνότητες στον κατακόρυφο άξονα διαφέρουν ως και 4 τάξεις μεγέθους. Ως εκ τούτου η άποψη που μόλις εκφράσαμε ότι "έχουμε λίγα πολύνεκρα ατυχήματα ανά έτος", θα μπορούσε να αντιστραφεί στο "έχουμε πολλά ατυχήματα ανά έτος με μικρό αριθμό νεκρών". Η πρώτη πρόταση φαίνεται καθησυχαστική ενώ η δεύτερη δυσοίωνη. [29]

Γενικά όσο χαμηλότερα εντοπίζεται η καμπύλη $F-N$ σε ένα $F-N$ διάγραμμα τόσο πιο ασφαλής είναι η δραστηριότητα αυτή. Και αυτό εξηγείται από την σχετική θέση των σημείων FI αφού όσο πιο χαμηλά είναι, τόσο μικρότερη είναι και η πιθανότητα να πραγματοποιηθεί ατύχημα.

Οι Ball και Floyd αναφέρουν:

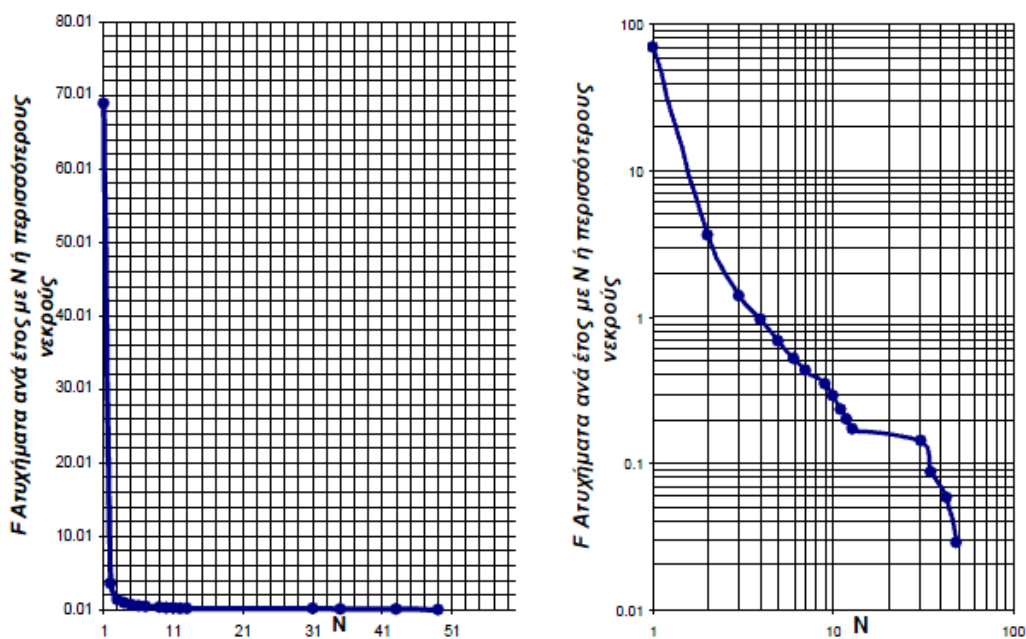
‘‘Παρά το γεγονός ότι παρατηρείται μια ολοένα αυξανόμενη τάση για την έκφραση του Κοινωνικού Ρίσκου μέσω καμπυλών πάνω σε διαγράμματα F-N, και την εφαρμογή Κριτηρίων Αποδοχής Κοινωνικού Ρίσκου σε αυτά, θα πρέπει να τονίσουμε ότι τέτοιες τεχνικές δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται ως έχουσες ιδιαίτερη επιστημονική προέλευση ή ηθική τεκμηρίωση.’’

Γενικότερα, τα διαγράμματα F-N έχουν τουλάχιστον τρεις χρήσεις: [18]

- Να απεικονίσουν την ιστορική πορεία των ατυχημάτων.
- Να παρουσιάσουν τα αποτελέσματα ποσοτικών Αναλύσεων Ρίσκου.
- Να απεικονίσουν κριτήρια αποδοχής των αποτελεσμάτων μιας ποσοτικής Ανάλυσης Ρίσκου.

Η αθροιστική συχνότητα είπαμε ότι παρουσιάζεται γραφικά σε λογαριθμική – λογαριθμική κλίμακα. Αυτό γίνεται για να απεικονιστούν καλύτερα οι μεταβολές του κοινωνικού ρίσκου, αφού μπορεί να έχουν διαφορές αρκετών τάξεων μεγέθους. Η άποψη των Βούρου και Γιαννακόπουλου είναι ότι, η επιλογή του 10 ως βάσης του λογαρίθμου, και όχι μιας οποιασδήποτε άλλης βάσης (όπως ο νεπέριος λογάριθμος), έγινε με το σκεπτικό ότι μια αξιοσημείωτη μεταβολή στον υπολογισμό του κοινωνικού ρίσκου γίνεται ανά μια τάξη μεγέθους, κάθε φορά. [4] [11]

Στο σχήμα 8, φαίνεται ο λόγος που χρησιμοποιούμε τη λογαριθμική-λογαριθμική κλίμακα. [25]



Σχήμα 8. Καμπύλες F-N σε καρτεσιανές συντεταγμένες, και σε λογαριθμική λογαριθμική κλίμακα.

3.2. Αναμενόμενος Αριθμός Νεκρών (Potential Loss of Life, PLL)

Το άλλο βασικό μέτρο για την εκτίμηση του κοινωνικού ρίσκου, είναι το ετήσιο ποσοστό θνησιμότητας, όπου η συχνότητα και ο αριθμός των θανάτων, συνδυάζονται σε ένα μέγεθος που εκφράζει την πιθανή απώλεια της ζωής (PLL). Το PLL είναι ένα βολικό και μονοδιάστατο μέτρο για το συνολικό αριθμό των αναμενόμενων θανάτων. Επίσης, είναι κατάλληλο για τη σύγκριση των εναλλακτικών λύσεων για την ίδια εγκατάσταση, είναι σχετικά εύκολο να το καταλάβουν και οι μη ειδικοί και πρέπει να υπολογιστεί για να είμαστε σε θέση να ξέρουμε το κόστος για τις ενέργειες μείωσης του κινδύνου. Ωστόσο, δεν παρέχεται καμία πληροφορία σχετικά με τη σχέση μεταξύ της συχνότητας και του μεγέθους του ατυχήματος και είναι δύσκολο να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα από εντελώς διαφορετικές εγκαταστάσεις. [30]

Γενικότερα, θα μπορούσαμε να πούμε, πως η χρήση του PLL γίνεται για την αποτύπωση των αποτελεσμάτων με τη μορφή ενός μόνο αριθμού. Με αυτόν τον τρόπο διευκολύνεται η αξιολόγηση του ρίσκου και η σύγκρισή του με ρίσκα που προκύπτουν από άλλες δραστηριότητες.

Σαν ορισμό του θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι:

‘ο αναμενόμενος αριθμός θανάτων από μια δραστηριότητα σε διάστημα ενός χρόνου’

Το PLL προκύπτει ως το εμβαδόν των καμπύλων F-N, δηλαδή ισχύει η σχέση:

$$PLL = \int_x^{N_u} F_N \cdot dN$$

Ο ορισμός που συναντάμε στις περισσότερες FSA είναι:

$$PLL = \frac{\text{Αριθμός Θανάτων}}{\text{Αριθμός Πλοίων} \times \text{Έτη}}$$

Παρόλα αυτά, από τη βιβλιογραφία αντλήσαμε και άλλους ορισμούς, όπως

$$PLL = q \cdot EV \text{ και}$$

$$PLL = r \cdot EV$$

Όπου q ορίζεται ως ο μέσος ρυθμός θανάτων προς το ΑΕΠ, για τα εργατικά ατυχήματα, και r ορίζεται ως ο μέσος ρυθμός θανάτων προς το ΑΕΠ, για τα ατυχήματα επιβατών. [1] [11]

Δηλαδή:

$q = \text{αριθμός θανάτων εργατών} / \text{ΑΕΠ}$

$r = \text{αριθμός θανάτων επιβατών} / \text{ΑΕΠ}$

Ο ορισμός που δώσαμε για το PLL, σαν λόγος θανάτων προς ατυχήματα, στην ουσία αποτελεί έναν δείκτη που μας πληροφορεί ότι από τη στιγμή που θα γίνει ατύχημα, τι τίμημα θα έχουμε σε ανθρώπινες ζωές. [3] [4]

Υπάρχουν πολλοί ακόμα ορισμοί του PLL, αλλά θα αναφέρουμε δύο ακόμα που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Με τον ορισμό από τους Ball και Floyd, εισάγεται το Ατομικό Ρίσκο στον υπολογισμό του PLL. Έχουμε έτσι μια πρώτη σύνδεση Ατομικού και Κοινωνικού Ρίσκου. Σύμφωνα με αυτόν:

$$PLL = IR \cdot \Pi$$

Όπου IR η πιθανότητα για ένα άτομο να πεθάνει σε μια μονάδα χρόνου και Π ο συνολικός πληθυσμός που βρίσκεται αντιμέτωπος με τον κίνδυνο. [18]

Ένας άλλος ορισμός, είναι αυτός συνδέει το PLL με τις καμπύλες F-N, ο οποίος είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση του Κοινωνικού Ρίσκου και τα κριτήρια αποδοχής του. Σύμφωνα με αυτόν τον ορισμό, το PLL ορίζεται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$PLL = \sum_{N=1}^{N_u} N \cdot f_N = F_1 \left(1 + \sum_{N=1}^{N_u-1} \frac{1}{N+1} \right) = F_1 \cdot \sum_{N=1}^{N_u-1} \frac{1}{N}$$

Όπου:

N_u είναι το ανώτατο όριο για τον αριθμό των θανάτων που μπορεί να συμβούν σε ένα ατύχημα

f_N είναι η συχνότητα εμφάνισης ενός ατυχήματος N θανάτους, και

F_1 είναι η συχνότητα των ατυχημάτων στα οποία υπάρχουν ένας ή περισσότεροι θάνατοι. [31]

Το PLL, αποτελεί σίγουρα ένα από τα πιο χρήσιμα και ευρέως χρησιμοποιούμενα μέτρα αποτίμησης κοινωνικού ρίσκου. Επειδή μας πληροφορεί τον αριθμό των νεκρών εξαιτίας κάποιας δραστηριότητας μέσα σε κάποιο χρονικό διάστημα, είναι πολύ σημαντικό τόσο όσον αφορά στην αποτίμηση του ρίσκου που προκύπτει από τη δραστηριότητα όσο και στη θέσπιση ενός άνω ορίου για αυτό το ρίσκο. Το άνω όριο αυτό δεν θα είναι παρά ο ανώτατος επιτρεπτός αριθμός νεκρών εξ αιτίας κάποιας δραστηριότητας και σε κάποια προαποφασισμένο χρονικό διάστημα. Την περιγραφή του άνω ορίου αυτού, θα την κάνουμε λίγο πιο κάτω.

3.3. Κριτήρια Αποδοχής του Κοινωνικού Ρίσκου - Η Αρχή “ALARP”

3.3.1. Κριτήρια αποδοχής κοινωνικού ρίσκου

Όπως προείπαμε, οι καμπύλες F-N αποτελούν χρήσιμα εργαλεία για την περιγραφή των πληροφοριών που αφορούν τις συχνότητες εμφάνισης θανατηφόρων ατυχημάτων, καθώς και την κατανομή αυτών. Στην εφαρμογή λοιπόν της FSA, είναι απαραίτητο να μειώσουμε το ρίσκο σε τέτοιο επίπεδο ώστε να μπορεί να κριθεί «ανεκτό/αποδεκτό» (tolerable/acceptable).

Σε μια καμπύλη F-N πρέπει λοιπόν να καθορίσουμε κάποια κριτήρια, ώστε να μπορούμε να πάρουμε την απόφαση αν το ρίσκο που περιγράφεται σε αυτήν, είναι αποδεκτό ή όχι. Τις περισσότερες φορές, τα κριτήρια αυτά είναι μια γραμμή (ή σημείο) στο διάγραμμα F-N. Στην περίπτωση που η καμπύλη F-N είναι χαμηλότερα από την γραμμή αυτή, το σύστημα θεωρείται ασφαλές. Εάν όμως, έστω και ένα τμήμα της καμπύλης βρίσκεται πιο πάνω από την γραμμή αυτή που θεωρούμε ως κριτήριο, το ρίσκο είναι σε μη αποδεκτό επίπεδο και συνεπάγεται ότι πρέπει να βρούμε τρόπους να το περιορίσουμε. [11] [21]

Ο σκοπός πίσω από σχεδόν οποιαδήποτε αξιολόγηση του κινδύνου είναι να υποστηρίξει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων σε θέματα ασφάλειας. Μπορούν να ληφθούν αποφάσεις σε θέματα όπως:

- Το αν ή όχι μια δραστηριότητα πρέπει να επιτρέπεται.
- Αν είναι αναγκαίο να παρθούν μέτρα για τη μείωση των κινδύνων της.

- Ποια από τις διάφορες επιλογές, που περιλαμβάνουν διάφορους συνδυασμούς της ασφάλειας και των δαπανών, θα πρέπει να επιλέγονται.
- Τι ποσό πρέπει να επενδυθεί στην ενίσχυση της ασφάλειας της εγκατάστασης.

Για να απαντήσει σε ερωτήσεις όπως αυτές, το όργανο λήψης αποφάσεων πρέπει να αποφασίσει, ώστε η δραστηριότητα ή η εγκατάσταση να είναι αρκετά ασφαλής, δηλαδή όταν οι κίνδυνοι είναι τόσο χαμηλά ώστε περαιτέρω μέτρα ασφαλείας δεν είναι αναγκαία. [32]

Αυτά τα κριτήρια ορίζονται ως Κριτήρια Αποδοχής του Κοινωνικού Ρίσκου (Societal Risk Acceptance Criteria) και χρησιμοποιούνται σε διάφορες χώρες και σε διάφορους τομείς τις τρεις τελευταίες δεκαετίες. Μερικά τέτοια κριτήρια είναι:

- **το Σημείο R2P2** σύμφωνα με το οποίο ατυχήματα που προκαλούν 50 ή περισσότερους θανάτους δεν πρέπει να έχουν συχνότητα μεγαλύτερη από 1 στα 5.000 χρόνια,
- **η Γραμμή Canvey (Canvey Line)** η οποία είναι μία γραμμή με κλίση -1 στη λογαριθμική κλίμακα και περνάει απ' το σημείο του διαγράμματος F-N για το οποίο έχουμε 500 ή περισσότερους θανάτους με συχνότητα 1 στα 5.000 χρόνια.

Στο χώρο της ναυτιλίας, δεν υπάρχουν γενικά αποδεκτά όρια αποδοχής του ρίσκου. Η πλέον αποδεκτή μέθοδος απ' τον IMO για τον καθορισμό κριτηρίων για το κοινωνικό ρίσκο είναι η αρχή του ALARP. [21]

3.3.2. Η Αρχή ALARP

3.3.2.1. Εισαγωγή στην αρχή ALARP

Η αρχή του ALARP αποτελεί κομμάτι της φιλοσοφίας του Ηνωμένου Βασιλείου για την υγεία και την ασφάλεια στην εργασία, όπως αυτή εκφράστηκε στον νόμο του 1974, ο οποίος απαιτεί "κάθε εργοδότη να διασφαλίζει, καθόσον είναι ευλόγως εφικτό, την υγεία, την ασφάλεια και την ευημερία όλων των εργαζομένων του". [33]

Ο όρος "ευλόγως εφικτό" έχει μια ιδιαίτερη σημασία. Ο νομικός ορισμός του, ορίστηκε στην Αγγλία από τον Lord Justice Asquith στο *Edwards v National Coal Board*. Σύμφωνα με αυτόν τον ορισμό:

“Το «ευλόγως εφικτό» είναι ένας ευρύτερος όρος από «φυσικά δυνατό» και σημαίνει ότι πρέπει να γίνει ένας υπολογισμός, κατά τον οποίο η ποσότητα του κινδύνου τοποθετείται σε μία κλίμακα και η θυσία που απαιτείται στις αναγκαίες για την αποτροπή του κινδύνου διαδικασίες, (είτε σε χρήμα, χρόνο ή κόπο) τοποθετείται στο άλλο. Αν φαίνεται ότι υπάρχει μια δυσαναλογία μεταξύ τους, δηλαδή ο κίνδυνος είναι ασήμαντος σε σχέση με την θυσία, τότε μπορεί κανείς να απαλλαγεί από τις κατηγορίες ότι οι προσπάθειές για την προστασία δεν ήταν ευλόγως εφικτές. Ο υπολογισμός αυτός, πρέπει να γίνει από τον ιδιοκτήτη σε μια χρονική στιγμή, προγενέστερη από το ατύχημα.” [34]

Επιπρόσθετα, το Εφετείο της Μ. Βρετανίας έκρινε ότι :

“Σε κάθε περίπτωση, είναι ο κίνδυνος που πρέπει να σταθμίζεται σε σχέση με τα απαραίτητα μέτρα για την εξάλειψη του κινδύνου. Όσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος, χωρίς αμφιβολία, τόσο μικρότερη θα είναι η βαρύτητα που πρέπει να δοθεί στον παράγοντα του κόστους” [35] [36]

Με άλλα λόγια, οι εργοδότες υποχρεούνται να θεσπίζουν μέτρα ασφαλείας, εκτός εάν το κόστος (σε χρήματα, χρόνο ή κόπο), είναι υπερβολικά δυσανάλογο σε σχέση με την πιθανότητα μείωσης του κινδύνου. Αφού όλα αυτά μέτρα έχουν ληφθεί, οι κίνδυνοι μπορούμε να πούμε ότι βρίσκονται στην περιοχή της ALARP. Οι περισσότερες αποφάσεις σχετικά με εφαρμογή όλων αυτών, βασίζονται στην κρίση των επιθεωρητών της HSE, και τις κατευθυντήριες γραμμές που δημοσιεύθηκαν από την HSE, που ορίζουν τι είναι ευλόγως εφικτό στις συγκεκριμένες περιοχές. [32]

Η HSE (Health and Safety Executive), δημοσίευσε ένα πλαίσιο για την ανοχή του κινδύνου (TOR- tolerability of risk) εξηγώντας τις απαιτήσεις της ως ακολούθως (HSE 1992):

Πάνω από ένα ορισμένο επίπεδο, ο κίνδυνος θεωρείται ως απαράδεκτος και δεν μπορεί να δικαιολογηθεί σε καμία περίπτωση. Κάτω από αυτά τα επίπεδα, μια δραστηριότητα επιτρέπεται να λάβει χώρα, με την προϋπόθεση ότι υπάρχει προσπάθεια περιορισμού των κινδύνων σε τόσο χαμηλά επίπεδα, τόσο χαμηλά όσο είναι ευλόγως εφικτό. [37] [39]

Η ALARP είναι η συντομογραφία για το ‘‘as low as reasonably practicable’’. Αυτό περιλαμβάνει τη στάθμιση του κινδύνου όσον αφορά τον κόπο, τον χρόνο και τα χρήματα που απαιτούνται για την καταπολέμησή του. Έτσι, η ALARP περιγράφει το επίπεδο στο οποίο αναμένουμε να δούμε να ελέγχονται οι κίνδυνοι στον χώρο εργασίας. [38]

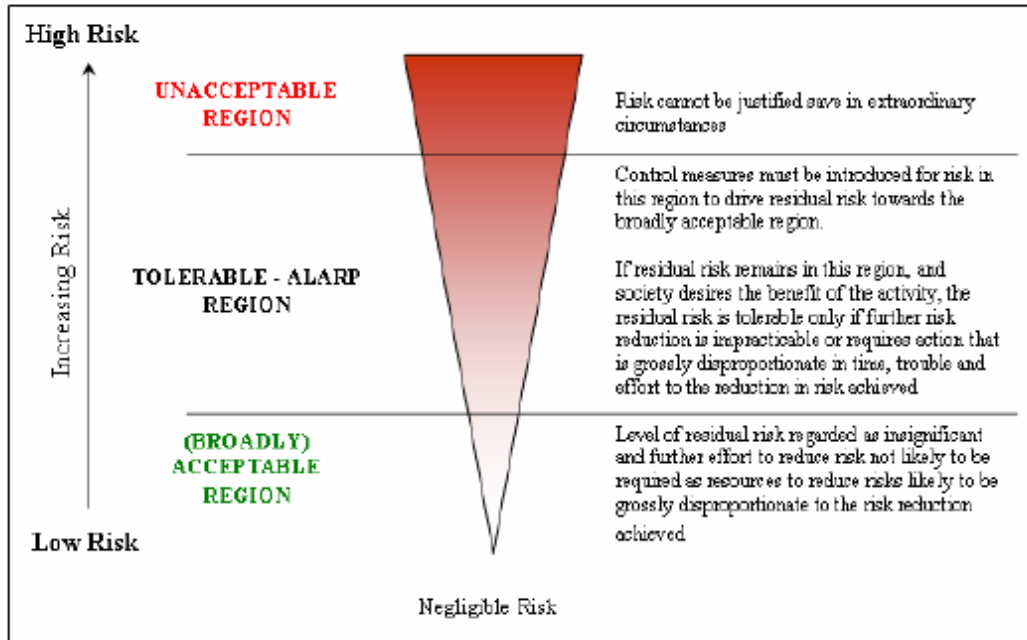
3.3.2.2. Περιοχές της ALARP

Η αρχή του ALARP (“As Low As Reasonably Practicable” Principle), είναι η πλέον αποδεκτή μέθοδος απ’ τον IMO, για τον καθορισμό κριτηρίων για το κοινωνικό ρίσκο.

Σύμφωνα με αυτήν, το ρίσκο χωρίζεται σε 3 περιοχές (σχήμα 9):

- ❖ **Περιοχή Μη-Αποδεκτού Ρίσκου (Unacceptable Region)**, όπου είναι επιτακτικό να δράσουμε άμεσα για τη μείωση του ρίσκου οποιοδήποτε και αν είναι το κόστος,
- ❖ **Περιοχή Αποδεκτού Ρίσκου (Broadly Acceptable Region)**, όπου το ρίσκο θεωρείται από την πλειοψηφία του κοινωνικού συνόλου αμελητέο (negligible) και κατά συνέπεια δεν χρειάζεται να δράσουμε προκειμένου να το μειώσουμε περαιτέρω. Τα επίπεδα των κινδύνων που χαρακτηρίζουν την περιοχή αυτή, είναι συγκρίσιμα με εκείνα που οι άνθρωποι θεωρούν ως ασήμαντα ή κοινότοπα στην καθημερινή τους ζωή. Παρ' όλα αυτά, θα πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν το γεγονός ότι οι υπεύθυνοι θα πρέπει να μειώνουν τους κινδύνους όπου αυτό είναι εφικτό να το πράξουν ή όταν το απαιτεί ο νόμος.
- ❖ **Περιοχή ALARP (Tolerable-ALARP Region)**, όπου είναι η περιοχή ανάμεσα στις άλλες δύο και το ρίσκο εδώ είναι αποδεκτό τόσο, όσο χρειάζεται για να διασφαλίσουμε τα οφέλη· αυτό πρακτικά σημαίνει ότι προσπαθούμε να μειώσουμε το ρίσκο σε «λογικά (reasonably) πλαίσια», πράγμα που ισοδυναμεί με τον όρο cost effective. Συνεπώς, δεν χρειάζεται να προβούμε σε μέτρα για τη μείωση του ρίσκου, εφόσον τα οφέλη που προκύπτουν είναι δυσανάλογα μικρότερα (grossly disproportionate) σε σχέση με το κόστος (σε χρήμα, προσπάθεια ή χρόνο) που καλούμαστε να πληρώσουμε. Η ζώνη μεταξύ των απαράδεκτων και ευρέως αποδεκτών περιοχών είναι το ανεκτό περιοχή. Κίνδυνοι στην εν λόγω περιοχή είναι αποτέλεσμα των δραστηριοτήτων που οι άνθρωποι είναι έτοιμοι να ανεχθούν, προκειμένου να εξασφαλίσουν οφέλη, με την προσδοκία ότι:
 - a) η φύση και το επίπεδο των κινδύνων αξιολογούνται σωστά και τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται σωστά για τον καθορισμό των μέτρων ελέγχου. Η εκτίμηση των κινδύνων πρέπει να βασίζεται στις βέλτιστες διαθέσιμες επιστημονικές αποδείξεις και, εφόσον λείπουν στοιχεία, στις καλύτερες διαθέσιμες επιστημονικές συμβουλές.
 - b) οι υπολειπόμενοι κίνδυνοι δεν είναι αδικαιολόγητα υψηλοί και διατηρούνται στο κατώτερο όσο είναι δυνατόν επίπεδο

- c) οι κίνδυνοι να επανελέγχονται περιοδικά, για να εξασφαλίζεται ότι εξακολουθούν να πληρούν τα κριτήρια ALARP. [1] [21]



Σχήμα 9. Περιοχές που καθορίζουν τα όρια της ALARP

3.3.2.3. Εφαρμογή της μεθόδου ALARP

Είδαμε από το Κεφάλαιο 3.2 ότι μια καμπύλη F-N με κλίση $b=-1$ (HSE 1991), μπορεί να δημιουργηθεί από το ήδη υπολογισμένο PLL, με βάση τη σχέση :

$$PLL = \sum_{N=1}^{N_u} N \cdot f_N = F_1 \left(1 + \sum_{N=1}^{N_u-1} \frac{1}{N+1} \right) = F_1 \cdot \sum_{N=1}^{N_u-1} \frac{1}{N}$$

Όπου:

N_u είναι το ανώτατο όριο για τον αριθμό των θανάτων που μπορεί να συμβούν σε ένα ατύχημα

f_N είναι η συχνότητα εμφάνισης ενός ατυχήματος N θανάτους, και

F_1 είναι η συχνότητα των ατυχημάτων στα οποία υπάρχουν ένας ή περισσότεροι θάνατοι.

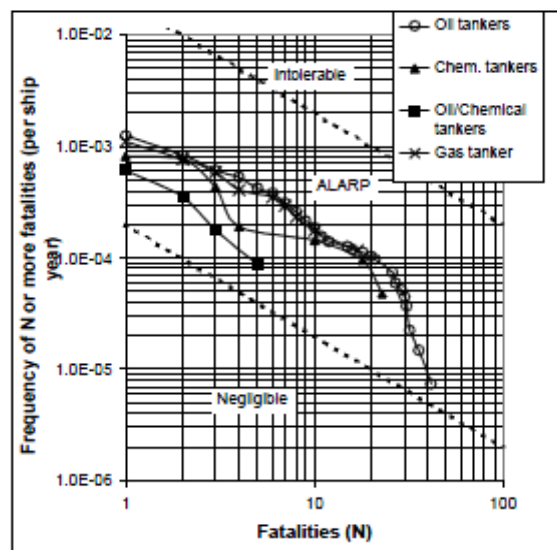
Άρα από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι:

$$F_1 = \frac{PLL}{\sum_{N=1}^{N_H} \frac{1}{N}}$$

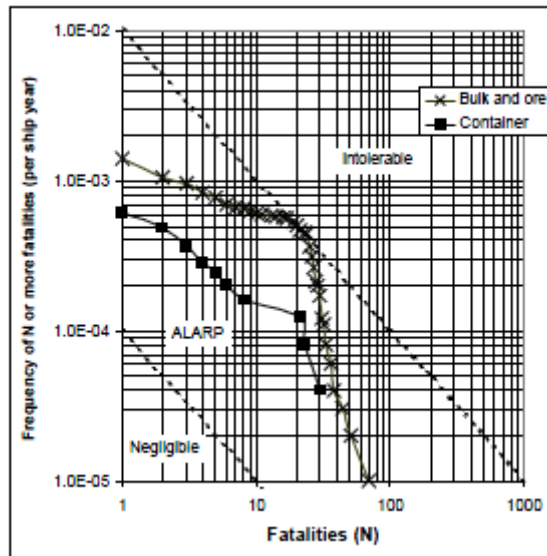
Με την κλίση της ευθείας ($b=-1$) και το F_1 που έχουμε υπολογίσει, μπορούμε να σχεδιάσουμε τη μέση γραμμή της περιοχής ALARP. Το άνω όριο της περιοχής βρίσκεται μια τάξη μεγέθους πάνω από την γραμμή που υπολογίστηκε προηγουμένως, ενώ αντίθετα το κάτω όριο βρίσκεται μια τάξη μεγέθους προς τα κάτω. Το ρίσκο θεωρείται επομένως, μη ανεκτό εφόσον υπερβαίνει για περισσότερο από μία τάξη μεγέθους το μέσο αποδεκτό ρίσκο προς τα πάνω και αντίστοιχα θεωρείται αμελητέο εφόσον υπερβαίνει για περισσότερο από μία τάξη μεγέθους το μέσο αποδεκτό ρίσκο προς τα κάτω.

Τα άνω και κάτω όρια, είναι ευθείες σε λογαριθμική κλίμακα, και αναπαριστούν την αποστροφή της κοινωνίας στο ρίσκο. Αντίθετα σε κανονική κλίμακα, δεν είναι ευθείες, αλλά καμπύλες με τα κοίλα προς τα κάτω.

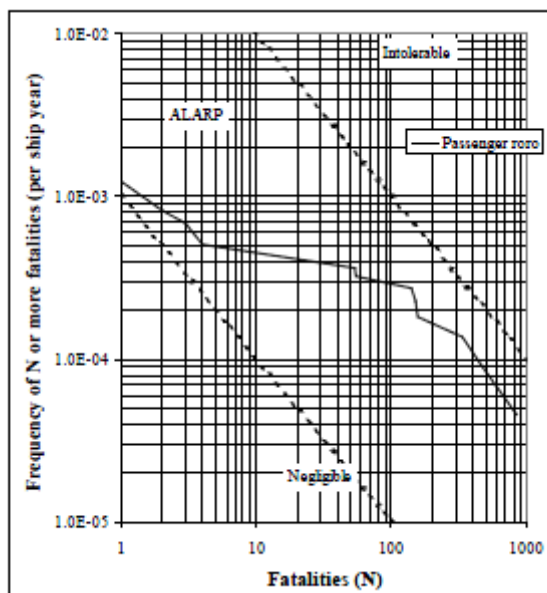
Εδώ θα μπορούσαμε να σημειώσουμε, ότι ο συντελεστής αυτός επιλέγεται μάλλον αυθαίρετα, χωρίς συγκεκριμένα στοιχεία που να πηγάζουν από την ίδια την κοινωνία. Χαρακτηριστικό είναι ότι θεωρούμε το b σαν δεδομένο νούμερο το οποίο δεν εκφράζει την δυναμική και τις μεταβολές στην ιδιοσυγκρασία της ίδιας της κοινωνίας κατά το πέρασμα του χρόνου, ενώ παράλληλα έστω και μικρή μεταβολή του είναι καθοριστικής σημασίας για την μορφή του τελικού κριτηρίου και την αποδοχή του ρίσκου στο οποίο αναφερόμαστε. Στα παρακάτω σχήματα, βλέπουμε παραδείγματα ορίων της ALARP, για διάφορες κατηγορίες πλοίων. [26]



Σχήμα 10. Καμπύλες F-N για διαφορετικές κατηγορίες tanker, και τα όρια της ALARP (1978-98)



Σχήμα 11. Καμπύλες F-N για bulk carriers και containers και τα όρια της ALARP (1978-98)



Σχήμα 12. Καμπύλες F-N για Ro/Ro ships και τα όρια της ALARP (1989-98)

Πιο αναλυτικά όμως, θα δούμε την επιλογή της κλίσης b , παρακάτω.

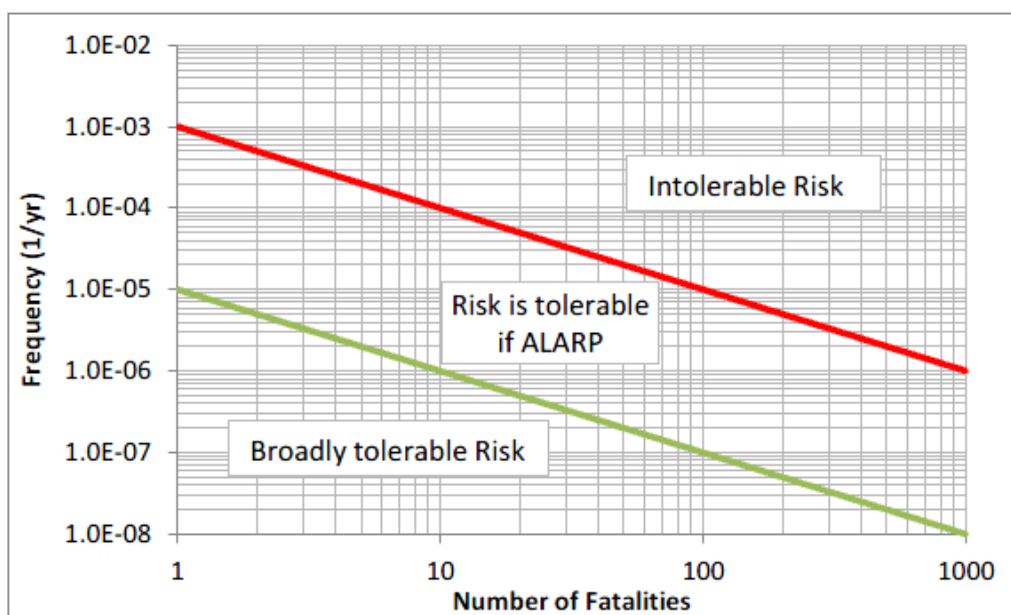
3.3.2.4 Κατασκευή των ορίων της ALARP

Η διαδικασία κατασκευής των ορίων της ALARP, πρέπει να είναι προσεκτική γιατί από τα όρια αυτά εξαρτάται η αξιοπιστία των κριτηρίων αποδοχής του ρίσκου μας.

Ειδικά στο άνω όριο θα δώσουμε μεγαλύτερη βαρύτητα, καθώς προείπαμε, η κατασκευή του κάτω ορίου είναι σε άμεση συνάρτηση με αυτήν του άνω.

- Αν τα άνω όριά μας είναι υπερβολικά ψηλά, τότε θα έχουμε μια αδικαιολόγητη ανοχή σε θανατηφόρα ατυχήματα.
- Από την άλλη μεριά, με πολύ χαμηλά άνω όρια, ελλοχεύει ο κίνδυνος τα κριτήριά μας να θεωρηθούν ανεφάρμοστα και να απαξιωθεί η εφαρμογή τους.

Μεγάλα ατυχήματα έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν μεγάλο αριθμό ανθρώπων. Το κοινωνικό ρίσκο εκφράζει το συνολικό κίνδυνο για ομάδες ανθρώπων που θα μπορούσαν να επηρεαστούν από τέτοια γεγονότα και αναπαριστάται στις καμπύλες F-N. Η κλίση της καμπύλης F-N αντιπροσωπεύει το βαθμό της αποστροφής του κινδύνου σε πολλαπλά θανατηφόρα ατυχήματα. Όσο πιο αρνητική είναι η κλίση της F-N τόσο μεγαλύτερη είναι η αποστροφή στον κίνδυνο. [40]



Σχήμα 13. Όρια ALARP σε σχέση με τις πετρελαικές δραστηριότητες στην Ιρλανδία.

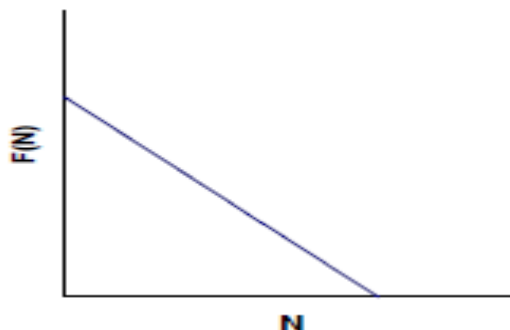
Στην Ανάλυση Ρίσκου, ορίζεται αρχικά ένα σημείο και κατασκευάζεται η ευθεία που διέρχεται από αυτό με κάποια προαποφασισμένη κλίση. Όλες σχεδόν οι προτάσεις θέλουν το όριο να είναι μια ευθεία της μορφής: [42]

$$F(N) = c \cdot N^b$$

όπου c σταθερά

και το b καθορίζει την κλίση της ευθείας (παίρνει σχεδόν πάντα αρνητικές τιμές).

Βλέπουμε ότι για $b \neq 1$, η παραπάνω σχέση δεν αναπαριστά ευθεία αλλά καμπύλη. Αυτό γίνεται, γιατί οι άξονες στα διαγράμματα F-N βρίσκονται σε λογαριθμική κλίμακα. Έτσι μπορεί το όριο να έχει τη μορφή καμπύλης σε κανονικές συντεταγμένες, αλλά σε λογαριθμημένους άξονες παίρνει τη μορφή ευθείας.



Σχήμα 14. Κατασκευή ευθείας σε λογαριθμημένους άξονες

Όσον αφορά την κλίση της ευθείας, δύο είναι οι τάσεις που έχουν επικρατήσει.

- i. Όρια με κλίση -1, οπότε το όριο είναι της μορφής:

$$F(N) = \frac{C}{N}$$

- ii. Όρια με κλίση -2 (εφαρμόζεται στην Ολλανδία και τη Τσεχία), οπότε το όριο είναι της μορφής: [41]

$$F(N) = \frac{C}{N^2}$$

Η διαφορά αυτών των δύο, έχει να κάνει με την αυστηρότητα που διατίθεται να επιδείξει η νομοθεσία απέναντι σε ατυχήματα με μεγάλους αριθμούς νεκρών. Την στάση αυτή χαρακτηρίζουμε ως αποστροφή προς το ρίσκο (risk aversion), ή ορθότερα αποστροφή προς πολύνεκρα ατυχήματα (disaster aversion).

Τα όρια με κλίση -2, θεωρείται ότι εκφράζουν αποστροφή προς ατυχήματα με μεγάλους αριθμούς νεκρών (risk averse), ενώ αυτά με κλίση -1, θεωρούνται ουδέτερα (risk neutral) απέναντι στον αριθμό των νεκρών ανά ατύχημα, λαμβάνοντας υπ' όψιν μόνο το συνολικό αριθμό των νεκρών, ανεξάρτητα από την κατανομή του, ανά ατύχημα. Συνοψίζοντας θα λέγαμε ότι αποστροφή προς πολύνεκρα ατυχήματα, σημαίνει ότι ο νομοθέτης αξιολογεί ως πιο σημαντικό το να αποτρέψει 1 ατύχημα που περιλαμβάνει 100 νεκρούς, από ότι 100 ατυχήματα κάθε ένα από τα οποία περιλαμβάνει 1 νεκρό.

Γενικότερα, όταν $b < -1$ θα λέγαμε ότι εκφράζεται η αποστροφή προς καταστάσεις με “μεγάλες” συνέπειες (εδώ πολύνεκρα ατυχήματα).

Θα έλεγε κανείς ότι όρια με κλίση -1 υπονοούν ουδέτερη στάση απέναντι στο ρίσκο καθώς αυξάνεται το μέγεθος του ατυχήματος, το οποίο εδώ ισούται με τον αριθμό των νεκρών N . Από την άλλη, όρια με κλίση -2 δηλώνουν τη διάθεση του νομοθέτη να αποδέχεται όλο και μικρότερες τιμές ρίσκου, όσο το μέγεθος των ατυχημάτων αυξάνεται. [29]

Επίσης, δε θα πρέπει να ξεχνάμε, ότι το κοινό τείνει να αντιδρά εντονότερα στην περίπτωση ενός μεγάλου ατυχήματος απ’ ότι σε μια σειρά από μικρότερα.

Το έγγραφο του Ηνωμένου Βασιλείου HSE “Reducing Risks Protecting People”, ορίζει μια καμπύλη $F-N$ με κλίση -1 να διέρχεται από το κομβικό σημείο, 50 θανάτους με συχνότητα 2×10^{-4} , ως μέγιστο ανεκτό κοινωνικό κίνδυνο. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, ο αριθμός αυτός περιλαμβάνει τους εργαζόμενους σε μια επικίνδυνη θέση, ενώ τα κριτήρια πχ στην Ιρλανδία είναι μόνο για τους πολίτες. Μια σειρά από διαφορετικά κοινωνικά όρια ανοχής κινδύνου χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο. [40] [41]

Ενδεικτικά θα αναφέρουμε κάποια κράτη.

Το Ηνωμένο Βασίλειο έθεσε όπως είπαμε, κομβικό σημείο τους 50 θανάτους με συχνότητα 2×10^{-4} , και την ευθεία που περνά από αυτό να έχει κλίση -1 . Η Ολλανδία, έθεσε ανώτατο επίπεδο ανοχής το $10^{-3} / N^2$ και σαν αμελητέο το $10^{-5} / N^2$, με κλίση του ορίου -2 . Σύμφωνα με τον Vrijling, δε συμμορφώνονται όλες οι δραστηριότητες της χώρας με τα κριτήρια αποδοχής του ρίσκου, γι’ αυτό και έχει ανοίξει η συζήτηση πάνω στο θέμα αυτό. [41] [43]

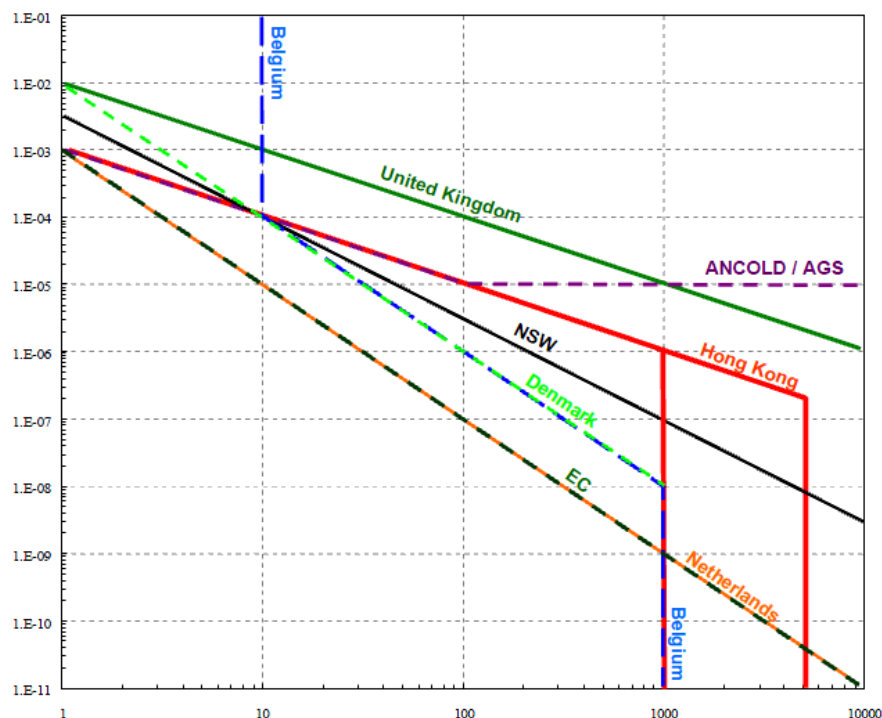
Στον πίνακα 7, φαίνεται η εξέλιξη των κομβικών σημείων και η κλίση της ευθείας με την πάροδο των χρόνων. [29]

Επίσης στο σχήμα 15, ακολουθεί η γραφική απεικόνιση των κριτηρίων κοινωνικού ρίσκου, κάποιων κρατών: [42]

Έτος	Χώρα	Κομβικό Σημείο		Κλίση Ευθείας	Σχόλια
		N	F_N		
1976	Αγγλία	10	10^{-4}	-	κριτήριο ACMH
1978	Ολλανδία	10	10^{-4}	-2	κριτήριο Groningen βασισμένο και στο ACMH
1982	Αγγλία	10	10^{-4}	-1	κριτήριο Kinchin (από την ομόνομη ευθεία)
1988	Hong Kong	10	10^{-4}	-1	από ACMH και ευθεία Kinchin
1989	Ολλανδία	10	10^{-5}	-2	κομβικό Σημείο βασισμένο στο <i>Ατομικό Ρίσκο</i> ²⁴ .
1991	Αγγλία	500	$2 \cdot 10^{-4}$	-1	βασισμένο στην ευθεία Canvey ²⁵
1993	Αγγλία			-1 και -1,3	για εξέδρες εξόρυξης πετρελαίου
1993	Hong Kong	10	10^{-4}	-1	όπως το 1988, όμως

					εισάγεται η έννοια της ALARP ²⁶
1995/6	Ολλανδία	10	10^{-5}	-2	όπως το 1989, χωρίς την περιοχή του Ευρέως Αποδεκτού Ρίσκου
1995/6	Ολλανδία			-2	για μεταφορές, όπως από πάνω αλλά σε μονάδες νεκρού/χιλιόμετρο
1997	Hong Kong			-1	όπως το 1993 λαμβάνει όμως υπ' όψιν και τον αριθμό των εγκαταστάσεων που εμπλέκονται

Πίνακας 7. Κομβικά σημεία και κλίση ευθείας



Σχήμα 15. Γραφική Απεικόνιση Κριτηρίων Κοινωνικού Ρίσκου σε διάφορα κράτη.

3.4. Μια διαφορετική προσέγγιση για τον καθορισμό ορίων ALARP στις καμπύλες F-N (Kaneko & Yamada 2010)

Η μέθοδος για τον καθορισμό ορίων της περιοχής ALARP στα F-N διαγράμματα, η οποία έχει χρησιμοποιηθεί ως ένα προεπιλεγμένο πρότυπο στις προτάσεις των FSA του IMO, αναπτύχθηκε με βάση ένα ετήσιο μέσο ποσοστό θνησιμότητας ανά μονάδα οικονομικής παραγωγής, το οποίο υπολογίστηκε από την περιφερειακή ή παγκόσμια οικονομική κλίμακα και τους θανάτους που προέκυψαν. Αρχές της μεθόδου είναι εξής. [44]

- 1) Το σύνολο των επαγγελματικών κινδύνων θα πρέπει να διανέμεται μεταξύ των διαφόρων δραστηριοτήτων, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τη συμβολή τους στο ΑΕΠ. Η αρχή αυτή σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η οικονομική σπουδαιότητα των δραστηριοτήτων, τόσο περισσότερους θανάτους από ατύχημα, είναι η κοινωνία έτοιμη να δεχθεί.
- 2) μικρές συνεισφορές στο PLL (Potential Loss of Lives), προέρχονται από τα μεγάλα N (αριθμός θανάτων). Η αρχή αυτή πρακτικά σημαίνει ότι το PLL ενός ατυχήματος με μεγάλη ζημία πρέπει να είναι μικρότερο από το PLL ενός ατυχήματος με μικρότερες ζημίες.

Από την αρχή 1, η αναλογία των ετήσιων θανάτων με το ετήσιο εισόδημα ενός πλοίου, θεωρείται ότι μπορεί να είναι ίση με την αναλογία των ετήσιων θανάτων με το ΑΕΠ μιας αντίστοιχης χώρας ή ένωση χωρών, όπως η ΕΕ, στην οποία, το εισόδημα που αποκτήθηκε από το πλοίο συμπεριλαμβάνεται. Το μεγάλο αυτό μέγεθος, του οποίου η οικονομική κλίμακα και οι θάνατοι που προκύπτουν από την επαγγελματική δραστηριότητα που χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τον κίνδυνο θνησιμότητας ενός πλοίου που ονομάζεται "Base Economic Party (BEP) Τότε από αυτήν την αρχή προκύπτει η παρακάτω εξίσωση:

$$\frac{\text{Αριθμός θανάτων BEP}}{\text{ΑΕΠ του BEP}} = \frac{PLL_A}{EV_A} \quad (1)$$

Όπου:

EV_A : υποδηλώνει το ετήσιο εισόδημα του πλοίου

PLL_A : υποδηλώνει το μέσο αποδεκτό PLL του πλοίου

Η σχέση μεταξύ του PLL και των διαγραμμάτων F-N, εξετάζεται παρακάτω. Σε αυτό το σημείο να δώσουμε κάποιους ορισμούς.

$F(N)$: Συχνότητα ατυχημάτων στα οποία σκοτώθηκαν N και παραπάνω άτομα

$f(N)$: Συχνότητα ατυχημάτων στα οποία σκοτώθηκαν N άτομα

N_{max} : Πιθανός μέγιστος αριθμός θανάτων στα ατυχήματα του εξεταζόμενου πλοίου.

N_{min} : Πιθανός ελάχιστος αριθμός θανάτων στα ατυχήματα του εξεταζόμενου πλοίου.

Συνήθως το N_{min} είναι ίσο με ένα.

Το PLL ισούται με το ολοκλήρωμα των $F-N$ διαγραμμάτων και εκφράζεται ως εξίσωση (2).

$$PLL = \sum_{n=1}^{N_{max}} F(n) \quad (2)$$

Όταν έχουμε ένα ατύχημα, στο οποίο προκαλούνται θάνατοι, η πιθανότητα αριθμού των θανάτων N , ορίζεται ως $g(N)$.

Στη συνέχεια, η συχνότητα ενός ατυχήματος, στο οποίο N πρόσωπα σκοτώνονται, εκφράζεται με την εξίσωση (3).

$$f(N) = F(N_{min}) g(N) \quad (3)$$

Ισχύει όμως ότι: [45]

$$\sum_{N=N_{min}}^{N_{max}} g(N) = 1 \quad (4)$$

Το $G(N)$ ορίζεται ως η αθροιστική κατανομή της $g(N)$ και είναι:

$$G(N) = \sum_{n=N_{min}}^N g(n) \quad (5)$$

Από τη δεύτερη αρχή η $g(N)$ μπορεί να οριστεί ως εξής:

$$F(N_{\min})g(N)N \leq F(N_{\min})g(N_{\min})N_{\min}$$

$$g(N) \cdot N \leq g(N_{\min}) \cdot N_{\min} \quad (6)$$

$$g(N) = \frac{D}{N^b} (b \geq 1) \rightarrow g(N) \cdot N = \frac{D}{N^{b-1}} \quad (D: \text{constant})$$

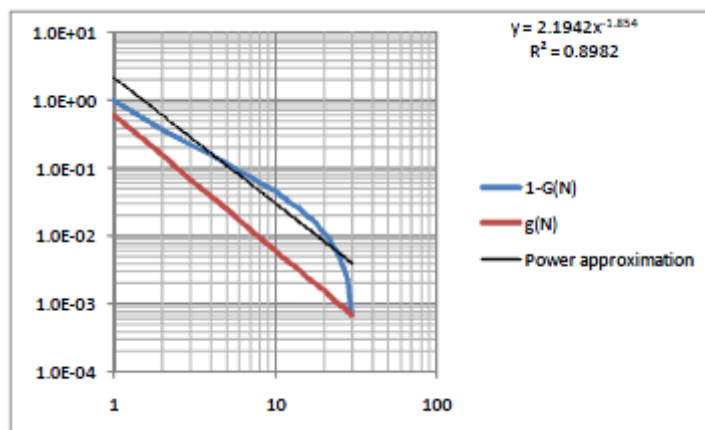
Από τις προηγούμενες σχέσεις έχουμε:

$$g(N) = D = \frac{1 - G(N_{\min})}{\sum_{n=N_{\min}}^{N_{\max}} \frac{1}{n^b} - \frac{1}{N_{\min}^b}} \cdot \frac{1}{N^b}$$

$$G(N) = G(N_{\min}) + (1 - G(N_{\min})) \frac{\sum_{n=N_{\min}}^N \frac{1}{n^b} - \frac{1}{N_{\min}^b}}{\sum_{n=N_{\min}}^{N_{\max}} \frac{1}{n^b} - \frac{1}{N_{\min}^b}} \quad (7)$$

Και η F(N) εκφράζεται ως σχέση (8):

$$F(N) = F(N_{\min})(1 - G(N_{\min})) \left(1 - \frac{\sum_{n=N_{\min}}^{N+1} \frac{1}{n^b} - \frac{1}{N_{\min}^b}}{\sum_{n=N_{\min}}^{N_{\max}} \frac{1}{n^b} - \frac{1}{N_{\min}^b}} \right) \quad (8)$$



Σχήμα 16. Γραφική απεικόνιση σε λογαριθμική κλίμακα, των 1-G(N), g(N)

Το παραπάνω σχήμα δείχνει τις 1-G(N), g(N) και τη δύναμη της 1-G(N), όταν η τιμή του b είναι 2,0. Παρατηρούμε ότι η γραφική παράσταση του 1-G(N) είναι γραμμική από 1 έως περίπου το 10, σε διπλή λογαριθμική γραφική παράσταση, ενώ του g (N) είναι γραμμική.

Ο πίνακας δείχνει ότι στο εύρος της κλίσης της g (N), η αναλογία του εκθέτη της δύναμης σε σχέση με την κλίση, κυμαίνεται γύρω στο 1,0 με περίπου 10% απόκλιση. αυτό υποδηλώνει ότι κλίση της g(N), που είναι ίση με την κλίση της f(n) σε διπλά λογαριθμική γραφική παράσταση, μπορεί να εκτιμηθεί από την κλίση της δύναμης στα F-N διάγραμμα.

Slope of g(N) (A)	Slope of power approx. (B)	B/A
1.01	1.176	1.164
1.1	1.227	1.115
1.2	1.287	1.073
1.5	1.482	0.988
2	1.854	0.927
3	2.716	0.905
4	3.656	0.914
5	4.633	0.927
10	9.660	0.966

Πίνακας 8. Κλίση της g(N) και της power approximation της 1-G(N)

Η FSA που μελετήσαμε (Νορβηγία 2000), μας δείχνει την μέθοδο για τον καθορισμό των συνόρων της περιοχής ALARP στο F-N διαγράμματα με τη διαδικασία από την αναλογία του αριθμού των θανάτων μιας χώρας ή ένωσης των χωρών, ως προς το ΑΕΠ των αντίστοιχων χωρών και ενός ετήσιου εισοδήματος ενός πλοίου. Το αποδεκτό PLL του πλοίου λαμβάνεται, μετά από αυτό χρησιμοποιούμε το PLL και τη σχέση: [26]

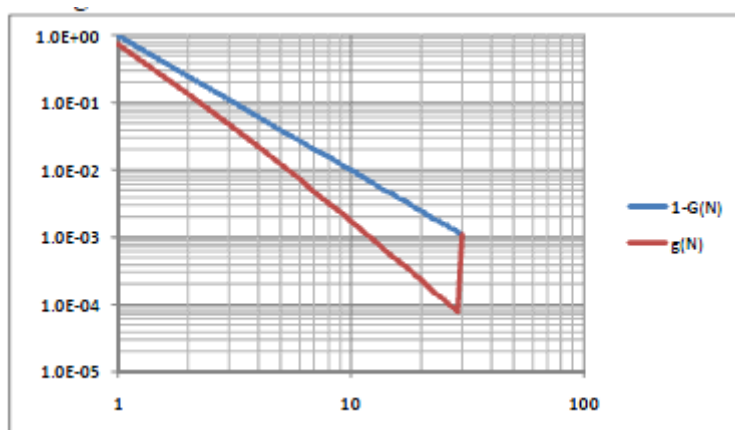
$$F(N) = \frac{F(1)}{N^b}$$

Τα F(1), F(N), μπορεί να υπολογιστούν, και τέλος το ανώτερο σύνορο ορίζεται ως μία γραμμή η οποία είναι μία τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από την F(N) και κάτω όριο, ορίζεται ως μία γραμμή η οποία είναι μία τάξη μεγέθους χαμηλότερη από την F(N).

Το παρακάτω σχήμα δείχνει τις 1-G(N) και g (N), οι οποίες λαμβάνονται με τη σχέση $F(N) = F(1)/N^b$, όπου η κλίση της $F(N) = 2$. Το σχήμα δείχνει ότι όπου $N = N_{\max}$, το $N_{\max} \cdot g(N_{\max})$ είναι μεγαλύτερο από $(N_{\max} - 1) \cdot g(N_{\max} - 1)$ και η g(n)

δείχνει αφύσικη άνοδο στη $N = N_{\max}$. Αυτά είναι τα προβλήματα της διατύπωσης $F(N) = F(1)/N^b$.

Με την εξίσωση (8) επιλύεται το πρόβλημα που προκαλείται από την διατύπωση που αναφέραμε. Με αυτήν τα διαγράμματα που προκύπτουν, προέρχονται κατευθείαν από τη δεύτερη αρχή. Η $F(N)$ που προκύπτει με την εξίσωση (7) μπορεί να ονομαστεί το ιδανικό F-N διάγραμμα. Το άνω όριο μπορεί να οριστεί ως μια γραμμή που είναι μία τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από το ιδανικό διάγραμμα F-N και το κάτω όριο μπορεί επίσης να οριστεί ως μια γραμμή η οποία είναι μία τάξη μεγέθους μικρότερη.



Σχήμα 17. $1-G(N),g(N)$, όπου η κλίση της $1-G(N)$ είναι σταθερή.

Πρόκειται λοιπόν, για μια νέα μέθοδο για τον καθορισμό των συνόρων της περιοχής ALARP στα F-N διαγράμματα. Ωστόσο, με εξαίρεση το N_{\max} , η μέθοδος που βασίζεται στη σχέση $F(N) = F(1)/N^b$, πιστεύεται ότι είναι κατάλληλη ως μέθοδος για τον καθορισμό των συνόρων της περιοχής ALARP στα F-N διαγράμματα. [44]

Η σελίδα έμεινε σκοπίμως κενή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Κατασκευή καμπύλων F-N για τα Ro-Pax και τα Cruise Ships

Στο σημείο αυτό της εργασίας, θα μελετήσουμε δύο κατηγορίες πλοίων. Τα Ro-Pax και τα Cruise. Θα σχεδιάσουμε τις καμπύλες F-N και θα εφαρμόσουμε την αρχή ALARP. Επίσης, εκτός από τη γνωστή μέθοδο (Norway 2000) θα εφαρμόσουμε και την πρόταση Kaneko και Yamada, ως προς την χάραξη των ορίων της ALARP περιοχής.

4.1. Καμπύλες F-N (Ro-Pax)

4.1.1. Εισαγωγή στα Ro-Pax

Το οχηματαγωγό (RoRo) πλοίο, ορίζεται στο δεύτερο κεφάλαιο της Διεθνούς Σύμβασης για την Ασφάλεια της Ανθρώπινης Ζωής στη Θάλασσα (SOLAS), ως "επιβατηγό πλοίο με χώρους φορτίου RoRo ή χώρους ειδικής κατηγορίας". Επίσης στη SOLAS, ένα επιβατηγό πλοίο ορίζεται ως εκείνο που παρέχει διαμονή για τουλάχιστον 12 επιβάτες. RoPax είναι ένα ακρωνύμιο που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τα πλοία που συνδυάζουν χαρακτηριστικά οχηματαγωγών, για τη μεταφορά των ιδιωτικών αυτοκινήτων και εμπορικών οχημάτων με την παροχή χώρων ενδιαιτήσεως για τη μεταφορά μεγάλου αριθμού επιβατών, συνήθως για σύντομα δρομολόγια.

Στο πλαίσιο αυτό, ο όρος "RoPax" είναι συνώνυμος με «επιβατηγό RoRo πλοίο». Λόγω του συνδυασμού αυτών των χαρακτηριστικών, θεωρείται ένας από τους πιο επιτυχημένους τύπους εμπορικών πλοίων. Η ευελιξία του, η ικανότητά του να ενσωματώνει και άλλα συστήματα μεταφοράς και η ταχύτητα στη λειτουργία του, το έχει μετατρέψει σε εξαιρετικά δημοφιλέ πλοίο σε πολλές θαλάσσιες διαδρομές σε όλο τον κόσμο. Οι βασικοί τομείς λειτουργίας των RoPax περιλαμβάνουν την Ευρώπη, την Ιαπωνία, την Περιοχή των Μεγάλων Λιμνών και της Ασίας-Ειρηνικού. [48] [49].

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO), έχει αναπτύξει και υιοθετήσει μια σειρά κανονισμών με ιδιαίτερη έμφαση στα των χαρακτηριστικά RoPax. Όπως μπορεί να φανεί από τον κατάλογο των περιοχών της ανησυχίας για τις κύριες συνέπειες σε RoPax μετά από ατύχημα, μπορεί να είναι μια "χαριτωμένη" βύθιση ή ανατροπή

ή / και τη φωτιά που μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη απώλεια της ζωής των επιβατών και του πληρώματος του πλοίου. Μερικοί από τους κανονισμούς του IMO είναι ιδιαίτερα σχετικές με τις δραστηριότητες των RoPax και αναφέρονται:

- ✓ στην ευστάθεια και την υποδιαίρεση σε περίπτωση βλάβης
- ✓ στην πυρασφάλεια
- ✓ στην εφαρμογή του Κώδικα Ασφαλούς Διαχείρισης (International Safety Management-ISM).

Αν και τα Ro-Ro έχουν αποδειχθεί πολύ επιτυχημένα εμπορικά, κάποια ανησυχία έχει εκφραστεί σχετικά με αυτά, από την άποψη της ασφάλειας σχεδόν από τότε που εισήχθησαν τα πρώτα πλοία Ro-Ro. Η όλη ιδέα του σχεδιασμού είναι διαφορετική από εκείνη των παραδοσιακών πλοίων, λόγω της εισαγωγής ορισμένων στοιχείων τα οποία τα καθιστούν μοναδικά. Ας κάνουμε μια περιγραφή σε κάποια από αυτά τα προβλήματα.

❖ Η έλλειψη εσωτερικών τοιχωμάτων

Στα συμβατικά πλοία, το κύτος υποδιαιρείται σε τμήματα, μέσω εγκάρσιων τοιχωμάτων. Στην περίπτωση που υπάρχει καταστροφή σε ένα σημείο της γάστρας, τα τοιχώματα θα περιορίσουν ή θα καθυστερήσουν την εισροή του νερού. Παρά το γεγονός ότι τα Ro-Ro είναι όλα εξοπλισμένα με στεγανό σύγκρουσης και τοιχωμάτων υποδιαίρεσης, και μηχανοστασίου, κάτω από το κατάστρωμα εξάλων τα τεράστια καταστρώματα οχημάτων μπορεί να καταστήσουν δυνατό για το νερό, να εισέλθει πολύ γρήγορα και στη φωτιά να μπορεί να εξαπλωθεί πολύ γρήγορα.

❖ Πόρτες πρόσβασης στο φορτίο

Με τα χρόνια, οι πόρτες εισόδου του φορτίου, μπορεί να έχουν καταστραφεί, ιδιαίτερα όταν η πόρτα χρησιμεύει επίσης ως ράμπα.

❖ Σταθερότητα

Η κίνηση του φορτίου στο κατάστρωμα του οχήματος μπορεί να επηρεάσει την ευστάθεια του πλοίου. Η ξαφνική εισροή νερού μετά από βλάβη στο σκάφος και η αποτυχία των στεγανών θυρών μπορεί να είναι ακόμη πιο σοβαρή (και γρήγορη). Το γεγονός ότι πλοία ro-ro έχουν γενικά μια πολύ μεγάλη υπερκατασκευή, σε σύγκριση με άλλους τύπους πλοίων, σημαίνει ότι μπορούν να επηρεάζονται περισσότερο από τον άνεμο και την κακοκαιρία.

❖ Χαμηλό ύψος εξάλων

Οι θύρες πρόσβασης στο φορτίο, είναι συχνά πολύ κοντά στην ίσαλο γραμμή, με αποτέλεσμα να είναι εύκολο να έχουμε μια ξαφνική εισροή νερού.

❖ Προβλήματα στη στοιβασία και ασφάλεια φορτίου

Το αποτέλεσμα μπορεί να είναι η έκχυση των επικίνδυνων ουσιών και σε ακραίες περιπτώσεις, ζημιά στο κύτος και τη δομή του πλοίου.

❖ Σωστικά μέσα

Οι υψηλές πλευρές πολλών σύγχρονων Ro-Ro συμπεριλαμβανομένων και των επιβατηγών πλοίων, μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα όσον αφορά π.χ τις σωσίβιες λέμβους του πλοίου.

❖ Το πλήρωμα

Οι παράγοντες που αναφέρθηκαν παραπάνω δείχνουν ότι τα πλοία αυτά, είναι ιδιαίτερα εξελιγμένα, που απαιτούν πολύ προσεκτικό χειρισμό . Αυτό τα καθιστά εξαιρετικά ευάλωτα σε ανθρώπινα λάθη. [48] [50]

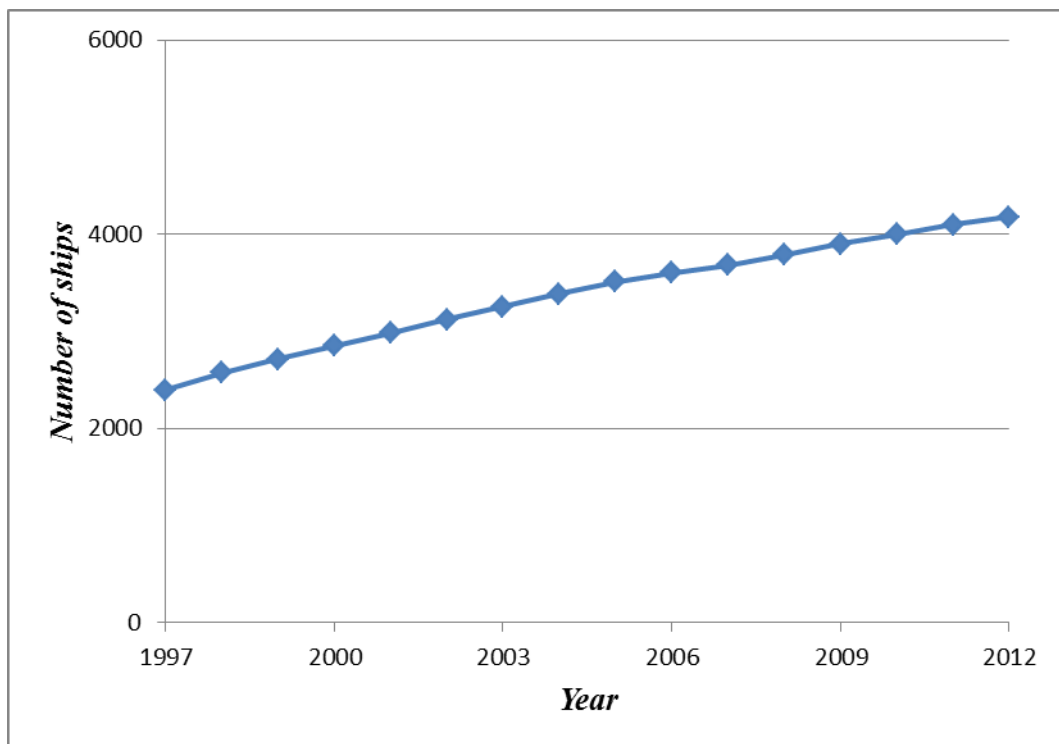
Κατά τα τελευταία χρόνια, έχει γίνει μεγάλη προσπάθεια από τον IMO για τη βελτίωση της ασφάλειας των επιβατηγών πλοίων Ro-Ro. Αλλά η εμπειρία έχει δείξει ότι η ασφάλεια δεν μπορεί να διασφαλιστεί μόνο με την έγκριση των κανονισμών . Πολλά από τα ατυχήματα που σημειώθηκαν, ήταν είτε επειδή οι κανονισμοί δεν είχαν εφαρμοστεί σωστά, είτε λόγω ανθρώπινου λάθους . Αυτό ισχύει και για άλλους τύπους πλοίων, φυσικά, αλλά η συγκεκριμένη είναι ίσως η πιο περίπλοκη κατηγορία και τυχόν λάθη που μπορεί να έχουν καταστροφικές συνέπειες, λόγω του μεγάλου αριθμού των ατόμων στο πλοίο. Πολλά από τα μέτρα που εγκρίθηκαν από τον IMO και στο παρελθόν έχουν σχεδιαστεί για την ελαχιστοποίηση των συνεπειών των ατυχημάτων. Η έμφαση τώρα έχει δοθεί, στην προσπάθεια για την πρόληψη των ατυχημάτων.

4.1.2. Παγκόσμιος στόλος Ro-Pax πλοίων

Σε αυτό το σημείο, θα δούμε την εξέλιξη της δύναμης του παγκόσμιου στόλου, των Ro-Pax πλοίων, κατά την χρονική περίοδο 1997-2012, όπου θα είναι και η περίοδος που θα εξετάσουμε σε αυτήν την εργασία. Αυτή φαίνεται στον πίνακα 9. Παρατηρούμε ότι υπάρχει σταδιακή αύξηση του παγκοσμίου στόλου, αυτής της κατηγορίας πλοίων. Στο σχήμα 21 βλέπουμε και γραφικά, την εξέλιξη αυτή.

Έτος	Δύναμη παγκόσμιου στόλου Ro-Pax
1997	2392
1998	2570
1999	2711
2000	2850
2001	2982
2002	3122
2003	3255
2004	3386
2005	3508
2006	3603
2007	3682
2008	3789
2009	3897
2010	3997
2011	4095
2012	4179
Σύνολο	
16 έτη	54018 (ship years)

Πίνακας 9. Δύναμη παγκοσμίου στόλου πλοίων Ro-Pax, την περίοδο 1997-2012



Σχήμα 18. Εξέλιξη παγκοσμίου στόλου Ro-Pax (1997-2012)

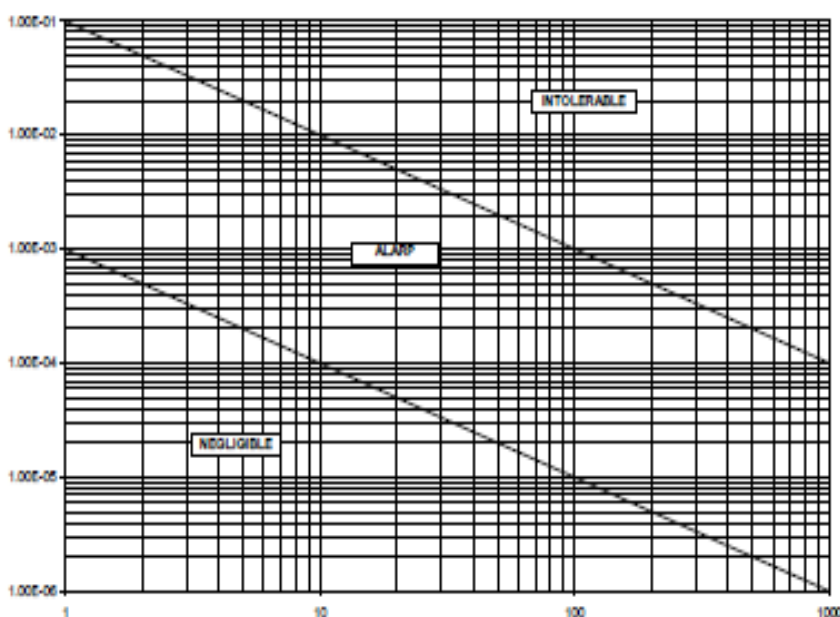
4.1.3. Κριτήρια αποδοχής ρίσκου (Ro-Pax)

Σε αυτό το κομμάτι της εργασίας μας, θα αναλύσουμε τα κριτήρια κοινωνικού ρίσκου που θα χρησιμοποιηθούν, όπως αυτά αναφέρονται στην έκθεση SAFEDOR Deliverable D4.5.2.

Τα κριτήρια αυτά, βασίζονται σε κομβικά σημεία και μια επιλεγμένη βαθμίδα (συνήθως μια κλίση -1 είναι χαρακτηριστική της αποστροφής στον κίνδυνο). Οι διάφορες δραστηριότητες και τομείς της βιομηχανίας, απαιτούν και διαφορετικά κριτήρια, που αντανακλούν το αντίστοιχο επίπεδο κινδύνου που θεωρείται ανεκτό. Ο πίνακας 10, περιέχει τα κομβικά σημεία, στα κοινωνικά κριτήρια που προτείνονται στην SAFEDOR D4.5.2 για RoPax σκάφη, χρησιμοποιώντας κομβικά σημεία στο $N=10$. Η έκθεση αναφέρει επίσης ότι τα εν λόγω κριτήρια έχουν προκύψει με βάση την οικονομική σημασία. Στο παρακάτω σχήμα, απεικονίζονται τα κριτήρια, με τα κομβικά σημεία του πίνακα και αν υποθεθεί ότι η αποστροφή στον κίνδυνο, χαρακτηρίζεται από κλίση των γραμμών ίση με -1. [50] [51]

Κομβικά σημεία για κοινωνικό ρίσκο	Τιμή
Όριο μεταξύ αμελητέου και ανεκτού ρίσκου	$(10, 10^{-4})$
Όριο μεταξύ ανεκτού και μη αποδεκτού ρίσκου	$(10, 10^{-2})$

Πίνακας 10. Κοινωνικά κριτήρια για Ro-Pax



Σχήμα 19. Κοινωνικά κριτήρια αποδοχής ρίσκου για Ro-Pax

4.1.4. Μελέτη θανατηφόρων ατυχημάτων στα Ro-Pax

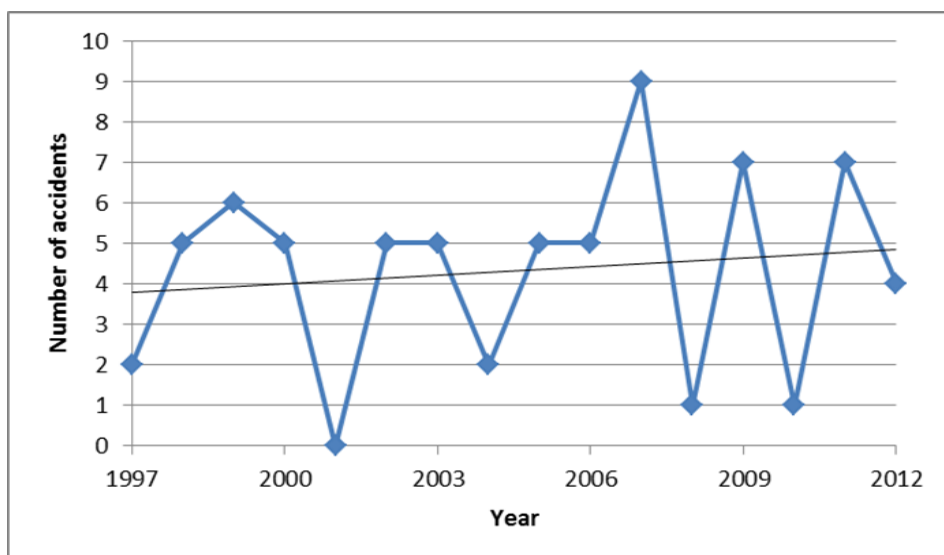
Ο παρακάτω πίνακας περιέχει τα 69 θανατηφόρα ατυχήματα που έγιναν σε αυτήν την κατηγορία πλοίων, την περίοδο 1997-2012, όπως αυτά προέκυψαν από τη βάση δεδομένων της seaweb.

Ship_Name	Casualty_Date	Casualty_Type	Date_of_Build	Killed
AL SALAM BOCCACCIO 98	2/2/2006	Fire/Explosion	1970-06	988
AL SALAM PETRARCA 90	22/6/2002	Fire/Explosion	1971-06	1
ASIA SOUTH KOREA	23/12/1999	Wrecked/Stranded	1972-02	58
BAHANA NUSANTARA	25/6/1998	Foundered	1968-04	51
BAHUGA JAYA	26/9/2012	Collision	1972-05	8
BALENO NINE	26/12/2009	Foundered	1972-07	50
BLUE WATER PRINCESS	12/7/2007	Wrecked/Stranded	1977-07	16
CHANGJUN No. 1	17/12/2002	Collision	1992-03	43
CITRA MANDALA BAKTI	1/2/2006	Foundered	1972-10	48
CIUDAD DE CEUTA	16/7/2000	Collision	1975-07	6
DA SHUN	24/11/1999	Fire/Explosion	1983-04	282
DANIELLE CASANOVA	1/7/2003	Contact	2002-06	1
DIGUL	7/7/2005	Foundered	1995-11	174
DUMAI EXPRESS 10	22/11/2009	Foundered	1999-01	48
EXPRESS SAMINA	26/9/2000	Wrecked/Stranded	1966-07	83
KALIBO STAR	15/8/1997	Foundered	1967-00	55
KIRANA IX	28/9/2011	Fire/Explosion	1983-07	9
GANG ZHOU	5/3/2009	Fire/Explosion	1993-07	1
LAMMA IV	1/10/2012	Collision	1996-00	38
LAUT TEDUH 2	28/1/2011	Fire/Explosion	1990-03	28
LCT FATIH	29/5/2009	Foundered	1965-00	6
LE JOOLA	26/9/2002	Foundered	1990-11	970
LEVINA	22/2/2007	Fire/Explosion	1981-01	50
LEVINA	25/2/2007	Foundered	1981-01	4
LIAO LU DU 7	21/2/2003	Foundered	1980-02	4
MANDIRI NUSANTARA	30/5/2009	Fire/Explosion	1976-07	5
MANDIRI NUSANTARA	26/9/2003	Collision	1976-07	3
MARIA CARMELA	11/4/2002	Fire/Explosion	1983-00	73
MARINA NUSANTARA	26/9/2011	Collision	1970-10	18
MERCURY-2	22/10/2002	Foundered	1984-09	44
NORDLYS	15/9/2011	Fire/Explosion	1994-03	2
NYAYO	14/5/2000	Collision	1990-09	1
OUR LADY OF MEDIATRIX	25/2/2000	War Loss/Hostilities	1974-06	100
PAGLIA ORBA	1/7/2003	Collision	1994-03	1
PARADISE	16/7/2005	Foundered	1938-00	7
PELLA	3/11/2011	Fire/Explosion	1983-11	1
PRIDE OF AL SALAM 95	17/10/2005	Collision	1972-06	1
PRINCESS ASHIKA	5/8/2009	Foundered	1972-07	88
PRINCESS OF THE ORIENT	18/9/1998	Foundered	1974-09	150

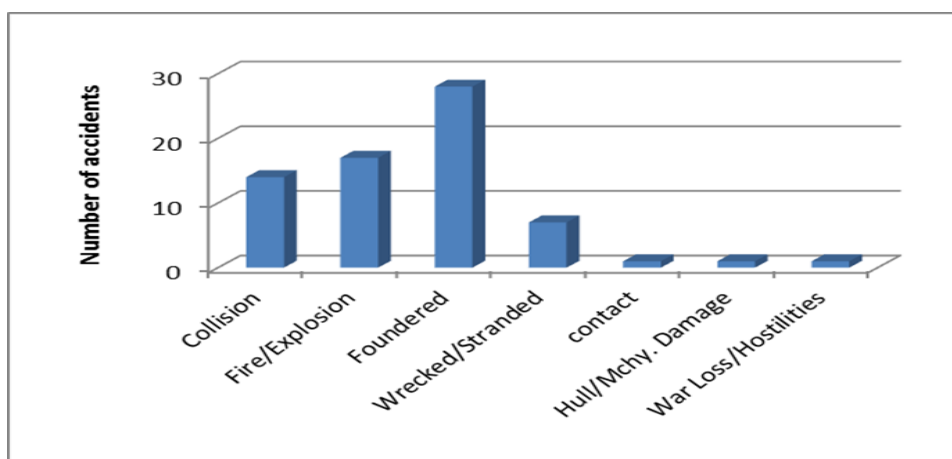
Ship_Name	Casualty_Date	Casualty_Type	Date_of_Build	Killed
PRINCESS OF THE STARS	21/6/2008	Wrecked/Stranded	1984-07	831
PRINSESSE RAGNHILD	8/7/1999	Fire/Explosion	1981-01	1
RABAUL QUEEN	2/2/2012	Foundered	1983-00	103
ROSALIA-2	31/7/1999	Fire/Explosion	1994-00	4
SAN BU	5/11/2009	Collision	1993-11	2
SCOTTISH VIKING	5/8/2010	Collision	2009-04	1
SEBA'AN	11/10/2007	Foundered	1995-06	1
SEGESTA JET	15/1/2007	Collision	1999-03	4
SENOPATI NUSANTARA	29/12/2006	Foundered	1969-12	373
SINABUNG	17/8/1998	Collision	1997-12	4
SKAGIT	18/7/2012	Foundered	1989-00	293
SLEIPNER	26/11/1999	Wrecked/Stranded	1999-02	16
SPICE ISLANDER I	10/9/2011	Foundered	1967-00	2966
SUPERFAST III	1/11/1999	Fire/Explosion	1998-02	14
SUPERFERRY 14	27/2/2004	Fire/Explosion	1981-05	194
SUPERFERRY 9	6/9/2009	Foundered	1986-07	11
TRISTAR 1	28/12/2006	Foundered	1972-01	50
URFALI CEMAL	7/4/2007	Collision	2000-06	1
WIMALA DHARMA	7/9/2003	Foundered	1979-07	5
WINDU KARSA	27/8/2011	Foundered	1980-09	12
YAMATO MARU	26/7/1997	Hull/Mchy. Damage	1997-03	3
ALEXIA A. III	8/12/2009	Wrecked/Stranded	1970-00	1
AL-KAHFAIN	1/11/2005	Fire/Explosion	1967-06	1
DOLPHIN 1	7/11/2007	Foundered	1958-04	2
GURGEN 2	17/8/2000	Fire/Explosion	1966-00	1
MAHLIA	24/2/2003	Foundered	1969-11	7
NEKRASOV	16/9/2005	Foundered	1953-00	13
QUEEN OF THE NORTH	22/3/2006	Wrecked/Stranded	1969-08	2
RAHMAT BUHARI	13/11/1998	Foundered	1974-12	40
SAM-SON	9/3/2004	Foundered	1967-00	95

Πίνακας 11. Θανατηφόρα περιστατικά σε Ro-Pax (1997-2012)

Από τον πίνακα 11, μπορούμε να δούμε τον αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων ανά έτος. Αυτά φαίνονται στο σχήμα 21. Επίσης για κάθε τύπο ατυχήματος, μπορούμε να δούμε πόσα θανατηφόρα ατυχήματα συνέβησαν. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 22, τα περισσότερα θανατηφόρα ατυχήματα οφείλονται σε ναυάγια.



Σχήμα 20. Αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων ανά έτος (Ro-Pax)

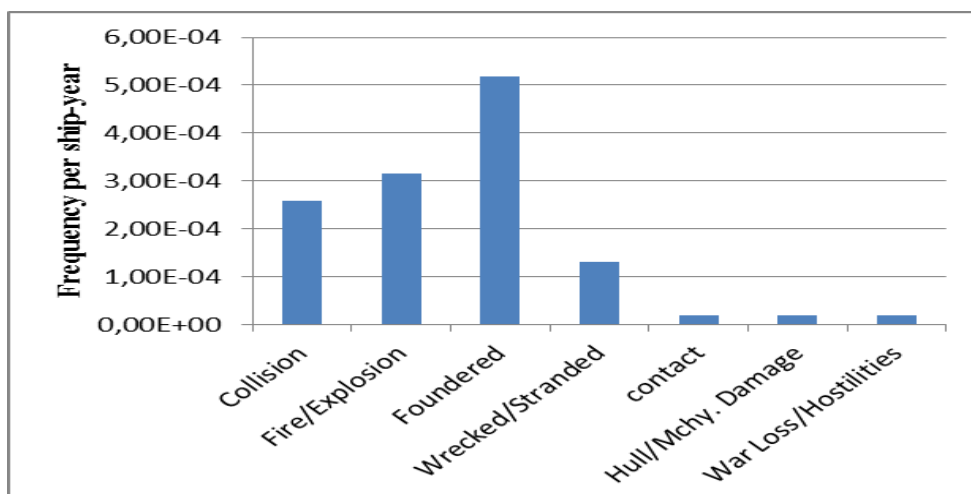


Σχήμα 21. Αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων για κάθε τύπο ατυχήματος στα Ro-Pax (1997-2012)

Από την παραπάνω λίστα ατυχημάτων, προκύπτει ο πίνακας 12, με τον οποίο υπολογίζουμε τη συχνότητα ανά κατηγορία ατυχήματος. Ομοίως στο σχήμα 24 φαίνονται γραφικά.

Τύπος ατυχήματος	Αριθμός ατυχημάτων	ships years	Συχνότητα ατυχήματος
Collision	14	54018	2,59E-04
Fire/Explosion	17	54018	3,15E-04
Foundered	28	54018	5,18E-04
Wrecked/Stranded	7	54018	1,30E-04
contact	1	54018	1,85E-05
Hull/Mchy. Damage	1	54018	1,85E-05
War Loss/Hostilities	1	54018	1,85E-05
Σύνολο	69	54018	1,28E-03

Πίνακας 12. Συχνότητα ατυχημάτων στα Ro-Pax, ανά τύπο ατυχήματος (1997-2012)



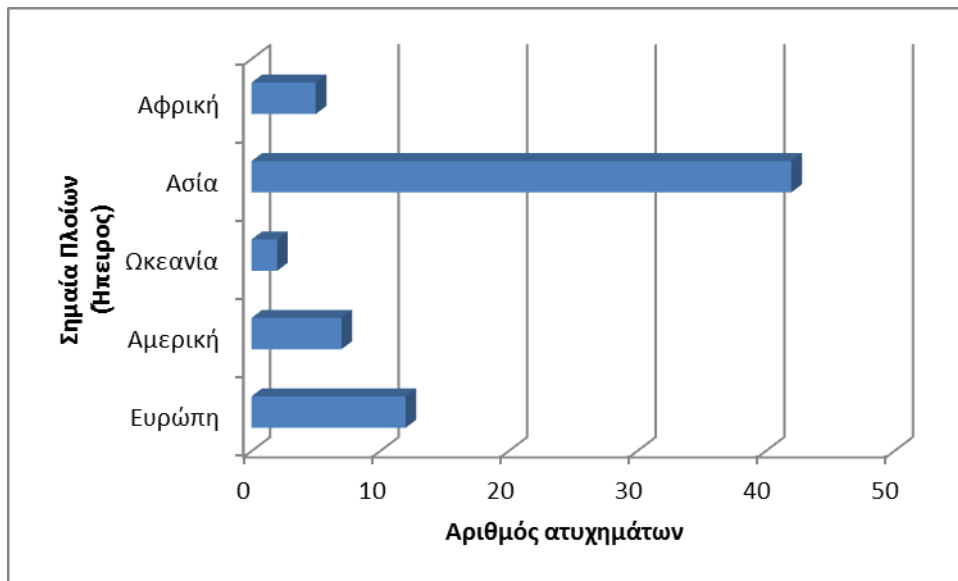
Σχήμα 22. Συχνότητα ατυχημάτων στα Ro-Pax, για κάθε τύπο ατυχήματος

Από τη μελέτη των ατυχημάτων, προκύπτουν και άλλα ενδιαφέροντα στοιχεία, όπως ο παρακάτω πίνακας, όπου μας δείχνει τον αριθμό των θανατηφόρων ατυχημάτων στα Ro-Pax, ανάλογα με την ήπειρο προέλευσης της σημαίας των πλοίων.

Σημαία Πλοίων (Ηπειρος)	Αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων
Ευρώπη	12
Αμερική	7
Ωκεανία	2
Ασία	42
Αφρική	5

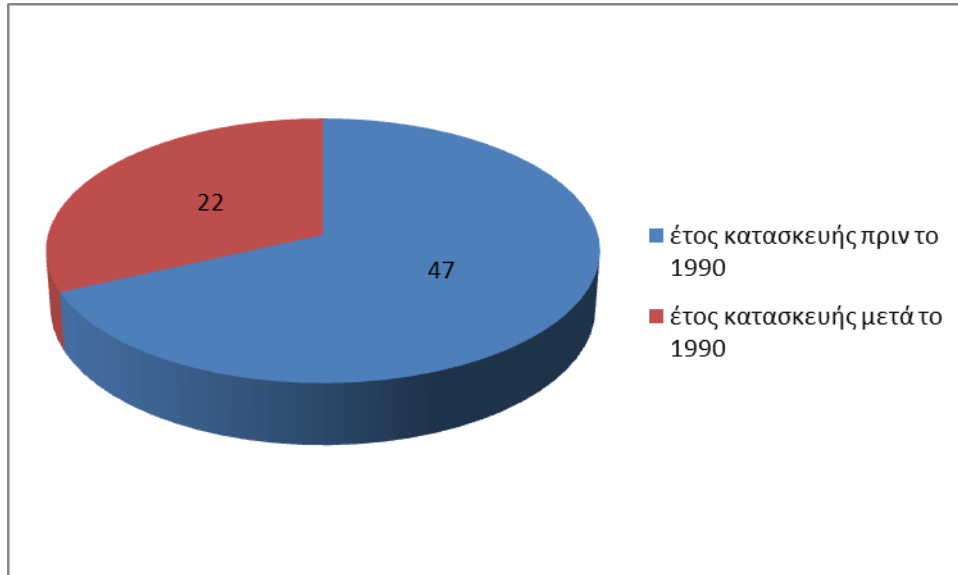
Πίνακας 13. Αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων, ανάλογα με τη σημαία των πλοίων

Παρατηρούμε ότι στα πλοία με σημαία από χώρες τις Ασίας, έχουν συμβεί τα περισσότερα θανατηφόρα ατυχήματα, την περίοδο 1997-2012. Από τα 42 ατυχήματα που συνέβησαν σε πλοία με σημαία χώρας από την ήπειρο της Ασίας, τα 18 πλοία είχαν σημαία Ινδονησίας, και τα 12 σημαία Φιλιππίνων. Από τα 7 με σημαία από χώρα Αμερικής, τα 4 είχαν σημαία Παναμά, ενώ από τα 12 με σημαία ευρωπαϊκής χώρας, τα 3 είχαν ελληνική σημαία.



Σχήμα 23. Αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων, σε σχέση με τη σημαία των πλοίων

Ένα άλλο ενδιαφέρον στοιχείο που παρατηρούμε, είναι ότι από τα 69 θανατηφόρα ατυχήματα, τα 47 συνέβησαν σε πλοία που είχαν κατασκευαστεί πριν το 1990, ενώ μόλις τα 22 σε πλοία που κατασκευάστηκαν μετά από αυτήν τη χρονολογία.



Σχήμα 24. Αριθμός ατυχημάτων σε Ro-Pax, ανάλογα με το έτος κατασκευής τους.

Από τα θανατηφόρα ατυχήματα που πραγματοποιήθηκαν σε αυτήν την κατηγορία πλοίων και την περίοδο που μελετάμε, ενδεικτικά να αναφέρουμε το ατύχημα στο πλοίο Spice Islander I, το οποίο βυθίστηκε στα ανοικτά των ακτών της Ζανζιβάρης. Παρά το γεγονός ότι αρχικές εκθέσεις ισχυρίστηκαν ότι το πλοίο μετέφερε περίπου 800 άτομα κατά τη στιγμή της βύθισης του, τελικά η κυβέρνηση της Ζανζιβάρης

παραδέχτηκε ότι ο αριθμός νεκρών ήταν κατά πολύ μεγαλύτερος, και ότι θα ξεκινούσε έρευνες να την απόδοση των ευθυνών. [52] [53]



Σχήμα 25.Spice Islander I

Ένα άλλο πολύνεκρο ατύχημα, ήταν αυτό του Al-Salam Boccaccio 98, με σημαία Παναμά, το οποίο βυθίστηκε το 1996 στη διαδρομή από τη Σαουδική Αραβία προς την Αίγυπτο. Το πλοίο μετέφερε 1.312 επιβάτες και 96 μέλη του πληρώματος. Οι πρώτες αναφορές από τους επιζώντες ανέφεραν ότι είδαν καπνό στο μηχανοστάσιο και ακολούθησε πυρκαγιά που συνεχίστηκε για κάποιο χρονικό διάστημα. Υπήρχαν επίσης αναφορές ότι το πλοίο ανατράπηκε μέσα σε 10 λεπτά, καθώς το πλήρωμα προσπαθούσε να σβήσει τη φωτιά. [54] [55]



Σχήμα 26.Al-Salam Boccaccio 98

4.1.5. Χάραξη καμπύλων F-N και περιοχής ALARP, για τα Ro-Pax (1997-2012)

4.1.5.1. Γενική χάραξη καμπύλων F-N και περιοχής ALARP, για τα Ro-Pax (1997-2012)

Σε αυτή τη παράγραφο παράγεται και παρουσιάζεται η συνολική κατάσταση ρίσκου για το σύνολο του παγκόσμιου στόλου των Ro-Pax, την περίοδο 1997-2012, μέσω των στατιστικών καμπυλών F-N. Η αναλυτική περιγραφή και η μεθοδολογία κατασκευής της καμπύλης αναφέρεται στο κεφάλαιο 3. Σύμφωνα με αυτά που αναφέραμε, αρχικά καταγράφεται ο αριθμός των ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς (πίνακας 14).

Για τον υπολογισμό της συχνότητας των ατυχημάτων με N ή περισσότερους νεκρούς απαιτείται η κατανομή του παγκόσμιου στόλου ανά έτος. Αυτή περιγράφεται στην παράγραφο 4.1.2. Ο υπολογισμός της αθροιστικής συχνότητας F_N βασίζεται στον υπολογισμό της συχνότητας f_N σύμφωνα με την σχέση :

$$F_N = \sum_N^{N_{\max}} f_N$$

Έτσι προκύπτει ο πίνακας 15:

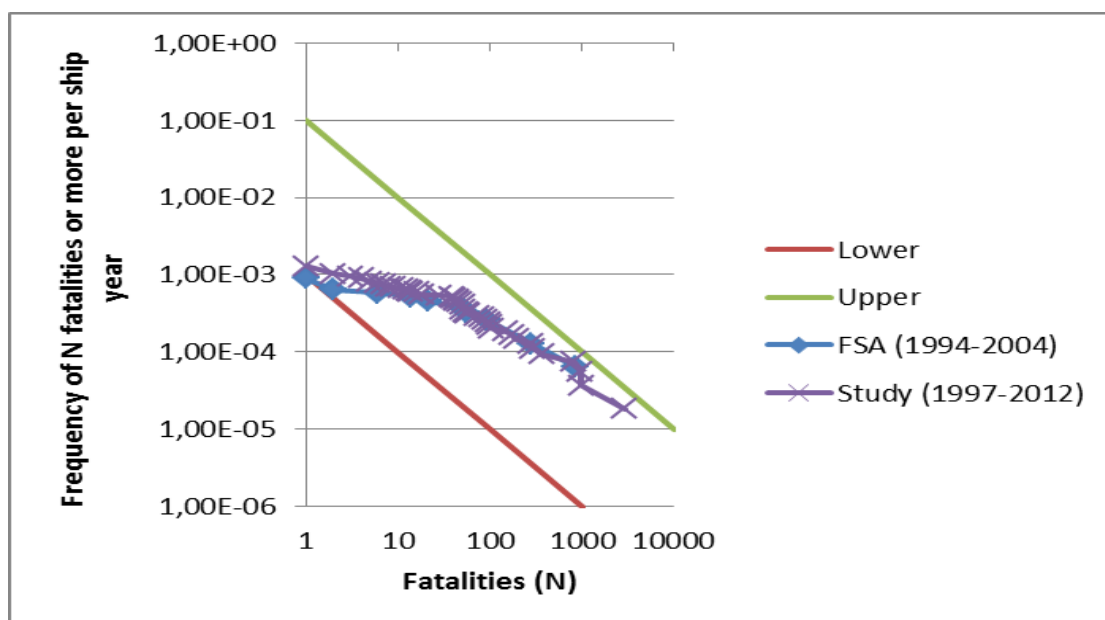
Αριθμός Νεκρών, N	Αριθμός Ατυχημάτων	Αριθμός Ατυχημάτων
	που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	14	69
2	4	55
3	2	51
4	5	49
5	2	44
6	2	42
7	2	40
8	1	38
9	1	37
11	1	36
12	1	35
13	1	34
14	1	33
16	2	32
18	1	30
28	1	29
38	1	28
40	1	27
43	1	26
44	1	25
48	2	24
50	3	22
51	1	19
55	1	18
58	1	17
73	1	16
83	1	15
88	1	14
95	1	13
100	1	12
103	1	11
150	1	10
174	1	9
194	1	8
282	1	7
293	1	6
373	1	5
831	1	4
970	1	3
988	1	2
2966	1	1
Σύνολο	69	

Πίνακας 14. Συνολικός αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς και N ή παραπάνω νεκρούς.

Αριθμός Νεκρών, N	Συχνότητα ατυχήματος που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Αθροιστική Συχνότητα Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	2,59E-04	1,28E-03
2	7,40E-05	1,02E-03
3	3,70E-05	9,44E-04
4	9,26E-05	9,07E-04
5	3,70E-05	8,15E-04
6	3,70E-05	7,78E-04
7	3,70E-05	7,40E-04
8	1,85E-05	7,03E-04
9	1,85E-05	6,85E-04
11	1,85E-05	6,66E-04
12	1,85E-05	6,48E-04
13	1,85E-05	6,29E-04
14	1,85E-05	6,11E-04
16	3,70E-05	5,92E-04
18	1,85E-05	5,55E-04
28	1,85E-05	5,37E-04
38	1,85E-05	5,18E-04
40	1,85E-05	5,00E-04
43	1,85E-05	4,81E-04
44	1,85E-05	4,63E-04
48	3,70E-05	4,44E-04
50	5,55E-05	4,07E-04
51	1,85E-05	3,52E-04
55	1,85E-05	3,33E-04
58	1,85E-05	3,15E-04
73	1,85E-05	2,96E-04
83	1,85E-05	2,78E-04
88	1,85E-05	2,59E-04
95	1,85E-05	2,41E-04
100	1,85E-05	2,22E-04
103	1,85E-05	2,04E-04
150	1,85E-05	1,85E-04
174	1,85E-05	1,67E-04
194	1,85E-05	1,48E-04
282	1,85E-05	1,30E-04
293	1,85E-05	1,11E-04
373	1,85E-05	9,26E-05
831	1,85E-05	7,40E-05
970	1,85E-05	5,55E-05
988	1,85E-05	3,70E-05
2966	1,85E-05	1,85E-05
Σύνολο	1,28E-03	

Πίνακας 15. Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax (1997-2012)

Επομένως, με τις παραπάνω συχνότητες μπορούμε να κατασκευάσουμε την καμπύλη F-N, για το σύνολο του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, για την περίοδο 1997-2012, και με βάση την παράγραφο 4.1.3. να τοποθετήσουμε και τα όρια της περιοχής ALARP. Στο σχήμα 28 φαίνεται και η καμπύλη F-N για την περίοδο 1994-2004, όπως αυτή προέκυψε από την FSA για τα Ro-Pax. Παρατηρούμε ότι οι δύο καμπύλες είναι σχεδόν ίδιες με εξαίρεση κάποια ατυχήματα με μεγάλο αριθμό νεκρών. [50]



Σχήμα 27. Καμπύλη F-N, για το σύνολο του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, για την περίοδο 1997-2012

4.1.5.2. Χάραξη καμπύλων F-N και περιοχής ALARP, για τα Ro-Pax (1997-2012), ανά κατηγορία ατυχήματος

Σε αυτήν την παράγραφο, θα μελετήσουμε τις καμπύλες F-N και τα όρια της περιοχής της ALARP, ανά κατηγορία ατυχήματος. Θα σταθούμε στις τρεις πιο σημαντικές κατηγορίες, στις οποίες οφείλονται τα περισσότερα θανατηφόρα ατυχήματα στα Ro-Pax, καθώς για αυτές έχουμε επαρκή στοιχεία για τη χάραξη των F-N.

4.1.5.2.1. Collision (Σύγκρουση)

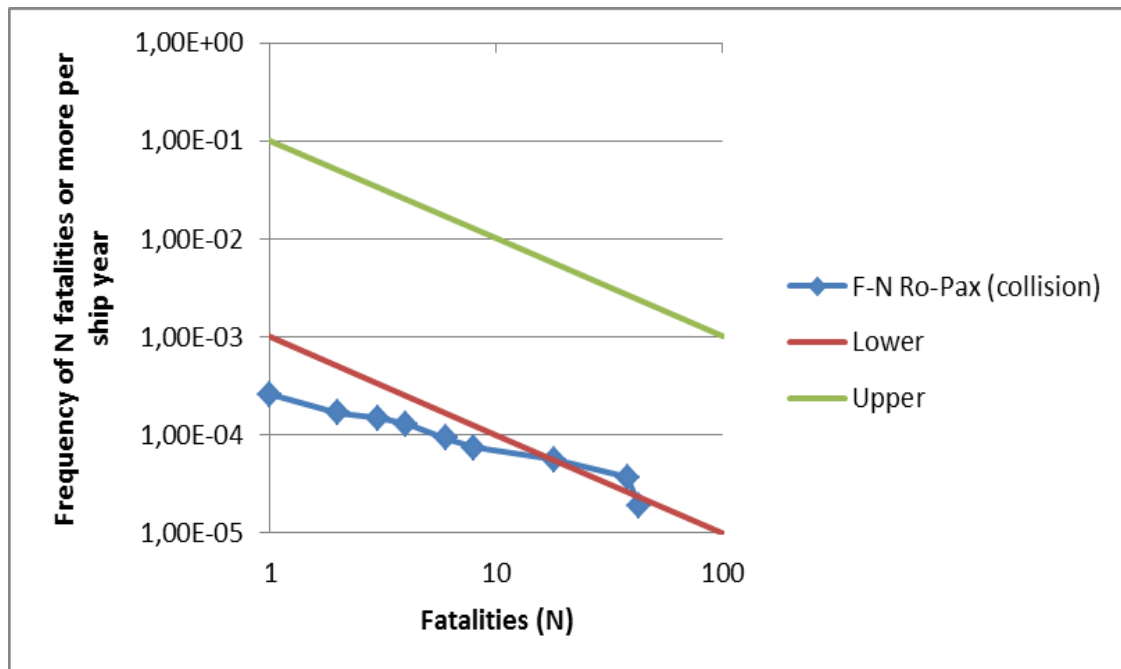
Εδώ θα παρουσιαστούν οι καμπύλες F-N για την περίπτωση της σύγκρουσης (Collision)

Από τη λίστα με τα δεδομένα για τα θανατηφόρα ατυχήματα, για τη συγκεκριμένη κατηγορία ατυχήματος, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας που μας δείχνει τις συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες.

COLLISION	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Συχνότητα ατυχήματος που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρους	Αθροιστική Συχνότητα Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	5	9,26E-05	2,59E-04
2	1	1,85E-05	1,67E-04
3	1	1,85E-05	1,48E-04
4	2	3,70E-05	1,30E-04
6	1	1,85E-05	9,26E-05
8	1	1,85E-05	7,40E-05
18	1	1,85E-05	5,55E-05
38	1	1,85E-05	3,70E-05
43	1	1,85E-05	1,85E-05
Σύνολο	14	2,59E-04	

Πίνακας 16. Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax (1997-2012), για την περίπτωση της σύγκρουσης (collision)

Από τον παραπάνω πίνακα, προκύπτει και το σχήμα με τις καμπύλες F-N στο οποίο ξέρουμε και τα όρια της ALARP.



Σχήμα 28. Καμπύλη F-N, για το σύνολο του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, για την περίοδο 1997-2012, για περίπτωση σύγκρουσης (collision)

4.1.5.2.2. Foundered (Βύθιση-Ναυάγιο)

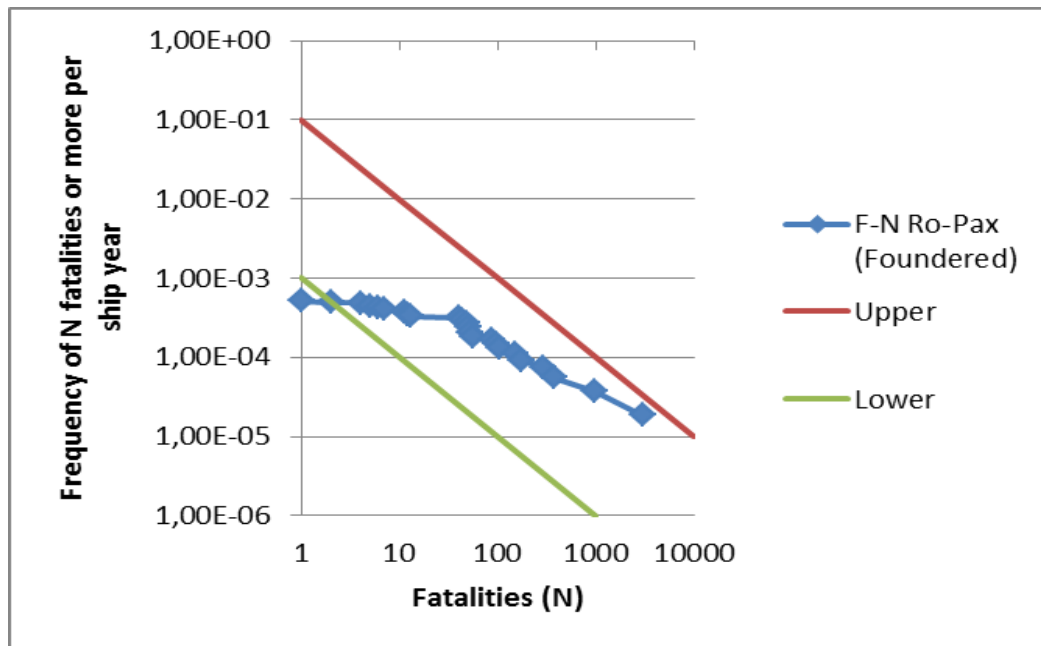
Εδώ θα παρουσιαστούν οι καμπύλες F-N για την περίπτωση βύθισης πλοίου-ναυαγίου (Foundered)

Από τη λίστα με τα δεδομένα για τα θανατηφόρα ατυχήματα, για τη συγκεκριμένη κατηγορία ατυχήματος, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας που μας δείχνει τις συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες.

FOUNDERED	Αριθμός Ατυχημάτων	Συχνότητα ατυχήματος που	Αθροιστική Συχνότητα
Αριθμός Νεκρών, N	που είχαν ως αποτέλεσμα	είχαν ως αποτέλεσμα	Ατυχημάτων που είχαν ως
	ακριβώς N νεκρούς	ακριβώς N νεκρους	αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	1	1,85E-05	5,18E-04
2	1	1,85E-05	5,00E-04
4	2	3,70E-05	4,81E-04
5	1	1,85E-05	4,44E-04
6	1	1,85E-05	4,26E-04
7	2	3,70E-05	4,07E-04
11	1	1,85E-05	3,70E-04
12	1	1,85E-05	3,52E-04
13	1	1,85E-05	3,33E-04
40	1	1,85E-05	3,15E-04
44	1	1,85E-05	2,96E-04
48	2	3,70E-05	2,78E-04
50	2	3,70E-05	2,41E-04
51	1	1,85E-05	2,04E-04
55	1	1,85E-05	1,85E-04
88	1	1,85E-05	1,67E-04
95	1	1,85E-05	1,48E-04
103	1	1,85E-05	1,30E-04
150	1	1,85E-05	1,11E-04
174	1	1,85E-05	9,26E-05
293	1	1,85E-05	7,40E-05
373	1	1,85E-05	5,55E-05
970	1	1,85E-05	3,70E-05
2966	1	1,85E-05	1,85E-05
Σύνολο	28	5,18E-04	

Πίνακας 17. Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax (1997-2012), για την περίπτωση της βύθισης πλοίου (Foundered)

Από τον πίνακα 17, προκύπτει και το σχήμα 29 με τις καμπύλες F-N



Σχήμα 29. Καμπύλη F-N, για το σύνολο του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, για την περίοδο 1997-2012, για περίπτωση βύθισης πλοίου (Foundered)

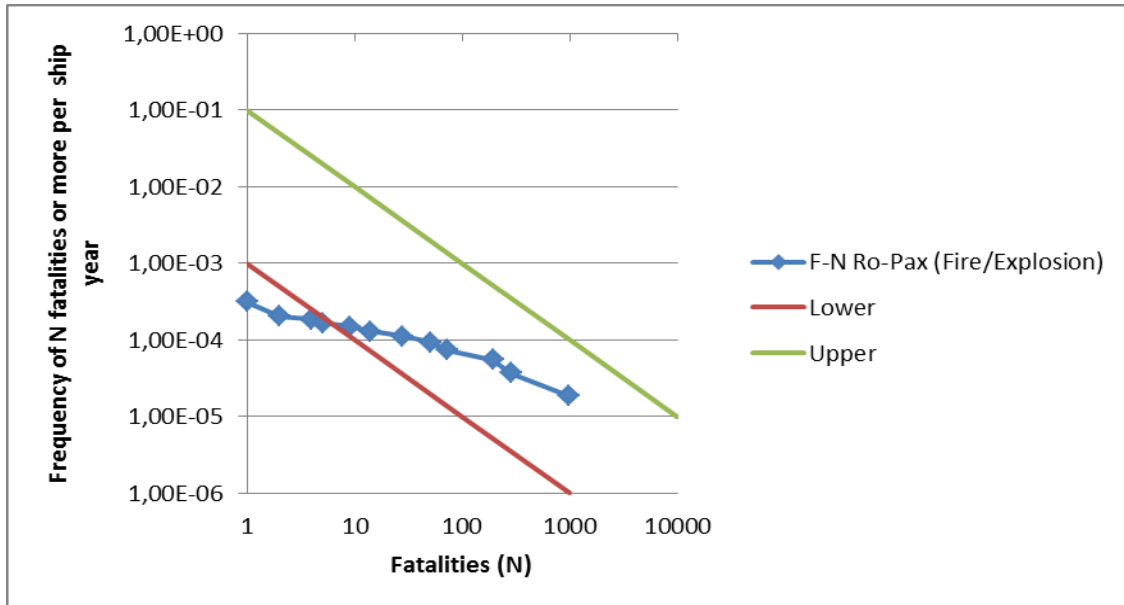
4.1.5.2.3. Fire/Explosion (Φωτιά/Έκρηξη)

Εδώ θα παρουσιαστούν οι καμπύλες F-N για την περίπτωση φωτιάς ή έκρηξης που συνέβη σε ένα πλοίο Ro-Pax (Fire/Explosion)

Από τη λίστα με τα δεδομένα για τα θανατηφόρα ατυχήματα, για τη συγκεκριμένη κατηγορία ατυχήματος, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας που μας δείχνει τις συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες.

F/E	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Συχνότητα ατυχήματος που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρους	Αθροιστική Συχνότητα Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	6	1,11E-04	3,15E-04
2	1	1,85E-05	2,04E-04
4	1	1,85E-05	1,85E-04
5	1	1,85E-05	1,67E-04
9	1	1,85E-05	1,48E-04
14	1	1,85E-05	1,30E-04
28	1	1,85E-05	1,11E-04
50	1	1,85E-05	9,26E-05
73	1	1,85E-05	7,40E-05
194	1	1,85E-05	5,55E-05
282	1	1,85E-05	3,70E-05
988	1	1,85E-05	1,85E-05
Σύνολο	17	3,15E-04	

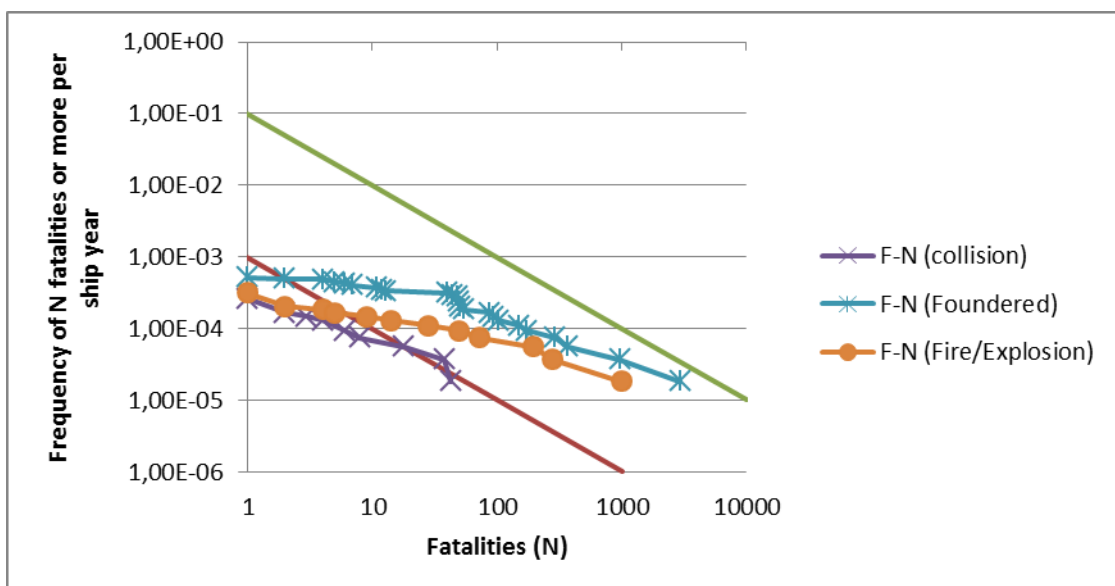
Πίνακας 18. Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax (1997-2012), για την περίπτωση φωτιάς/έκρηξης σε πλοίο (Fire/Explosion)



Σχήμα 30. Καμπύλη F-N, για το σύνολο του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, για την περίοδο 1997-2012, για περίπτωση φωτιάς/έκρηξης (Fire/Explosion)

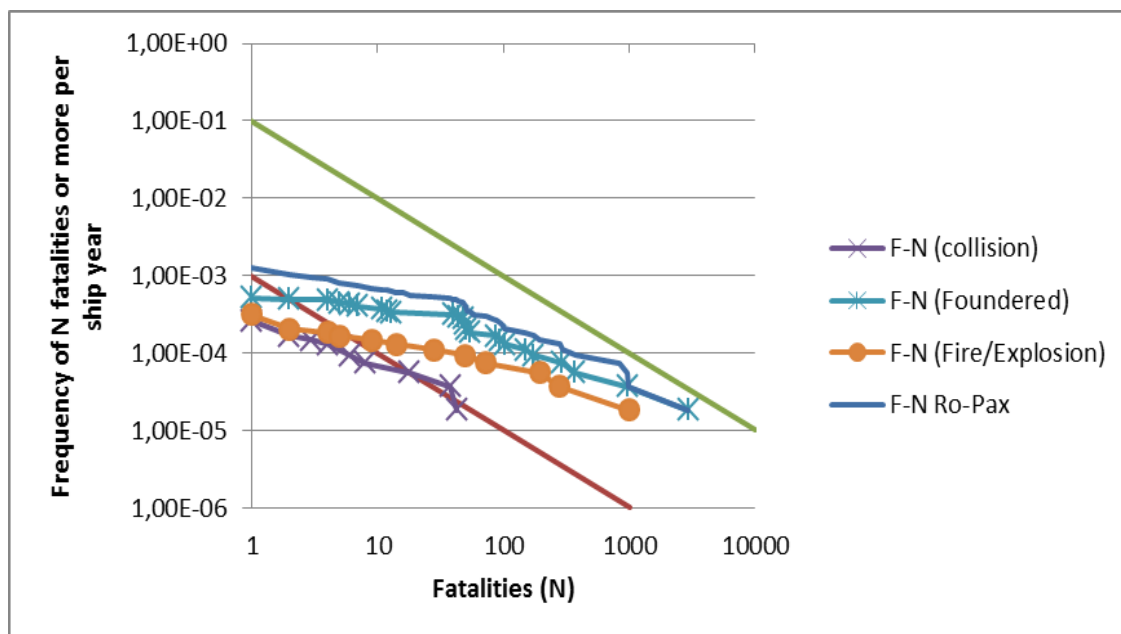
4.1.5.2.4. Συγκεντρωτικό σχήμα για τις καμπύλες F-N, ανά κατηγορία ατυχήματος.

Με βάση τα προηγούμενα, μπορούμε τώρα να δούμε ένα συγκεντρωτικό και συγκριτικό σχήμα, των καμπύλων F-N, για τους 3 τύπους ατυχημάτων που παρουσιάσαμε πριν.



Σχήμα 31. Καμπύλες F-N, για το σύνολο του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, για την περίοδο 1997-2012, ανά τύπο ατυχήματος

Στο παραπάνω σχήμα, μπορούμε να προσθέσουμε και την καμπύλη F-N για το σύνολο των Ro-Pax, όπως υπολογίστηκε στην παράγραφο 4.1.5.1.



Σχήμα 32. Καμπύλη F-N, για το σύνολο του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, και καμπύλες ανά τύπο ατυχήματος (1997-2012)

4.1.5.3. Χάραξη καμπύλων F-N και περιοχής ALARP, για τα Ro-Pax (1997-2012), ανά χρονική περίοδο τετραετίας.

Σε αυτό το κομμάτι της εργασίας, θα χωρίσουμε τη χρονική περίοδο που μελετάμε, σε τέσσερις μικρότερες, για να δούμε τις καμπύλες F-N, σε κάθε μία από αυτές. Οι χρονικές περιόδους είναι α) 1997-2000, β) 2001-2004, γ) 2005-2008, δ) 2009-2012.

4.1.5.3.1. Χρονική περίοδος 1997-2000

Αρχικά, για τον παγκόσμιο στόλο των Ro-Pax την περίοδο 1997-2000 έχουμε:

	Δύναμη παγκόσμιου στόλου Ro-Pax
Έτος	
1997	2392
1998	2570
1999	2711
2000	2850
Σύνολο	
4 έτη	10523 (ship years)

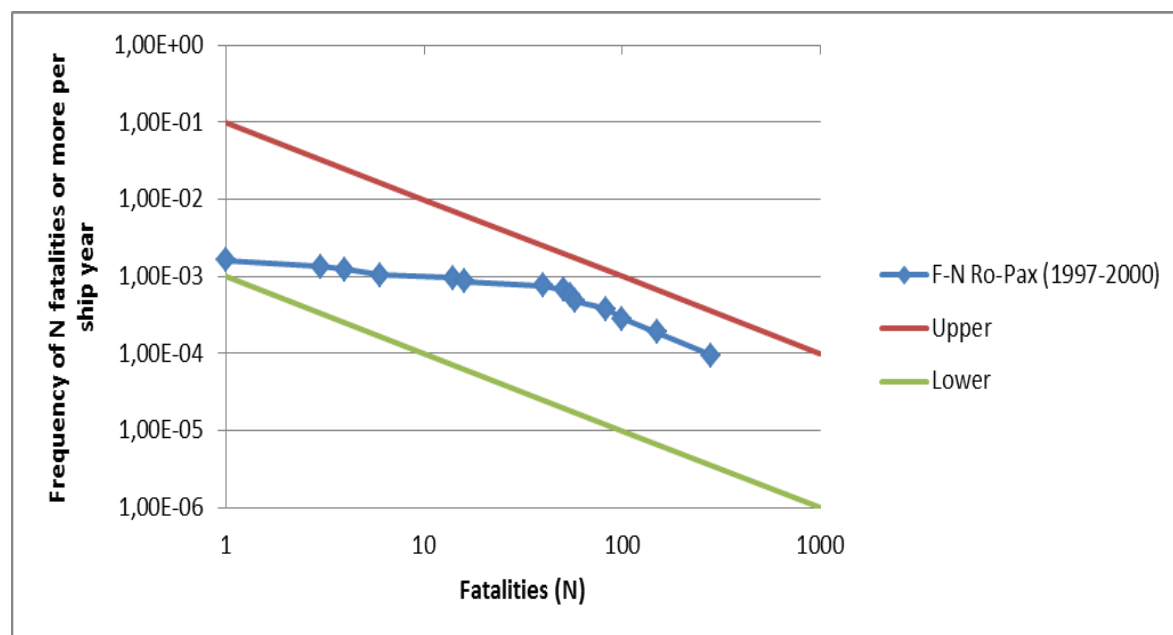
Πίνακας 19. Δύναμη παγκόσμιου στόλου πλοίων Ro-Pax, την περίοδο 1997-2000

Κατά τη μελέτη από τη βάση δεδομένων της seaweb, των θανατηφόρων ατυχημάτων, τη χρονική περίοδο 1997 ως και 2000, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας.

1997 ως και 2000	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Συχνότητα ατυχήματος που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Αθροιστική Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	3	2,85E-04	1,62E-03
3	1	9,50E-05	1,33E-03
4	2	1,90E-04	1,24E-03
6	1	9,50E-05	1,05E-03
14	1	9,50E-05	9,50E-04
16	1	9,50E-05	8,55E-04
40	1	9,50E-05	7,60E-04
51	1	9,50E-05	6,65E-04
55	1	9,50E-05	5,70E-04
58	1	9,50E-05	4,75E-04
83	1	9,50E-05	3,80E-04
100	1	9,50E-05	2,85E-04
150	1	9,50E-05	1,90E-04
282	1	9,50E-05	9,50E-05
Σύνολο	17		

Πίνακας 20. Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, κατά την περίοδο 1997-2000.

Έτσι λοιπόν προκύπτει και το σχήμα 33, με τις καμπύλες F-N, για τη χρονική περίοδο 1997-2000.



Σχήμα 33. Καμπύλη F-N, των Ro-Pax, για την περίοδο 1997-2000

4.1.5.3.2. Χρονική περίοδος 2001-2004

Για τον παγκόσμιο στόλο των Ro-Pax την περίοδο 2001-2004 έχουμε:

	Δύναμη παγκόσμιου στόλου Ro-Pax
Έτος	
2001	2982
2002	3122
2003	3255
2004	3386
Σύνολο	
4 έτη	12745 (ship years)

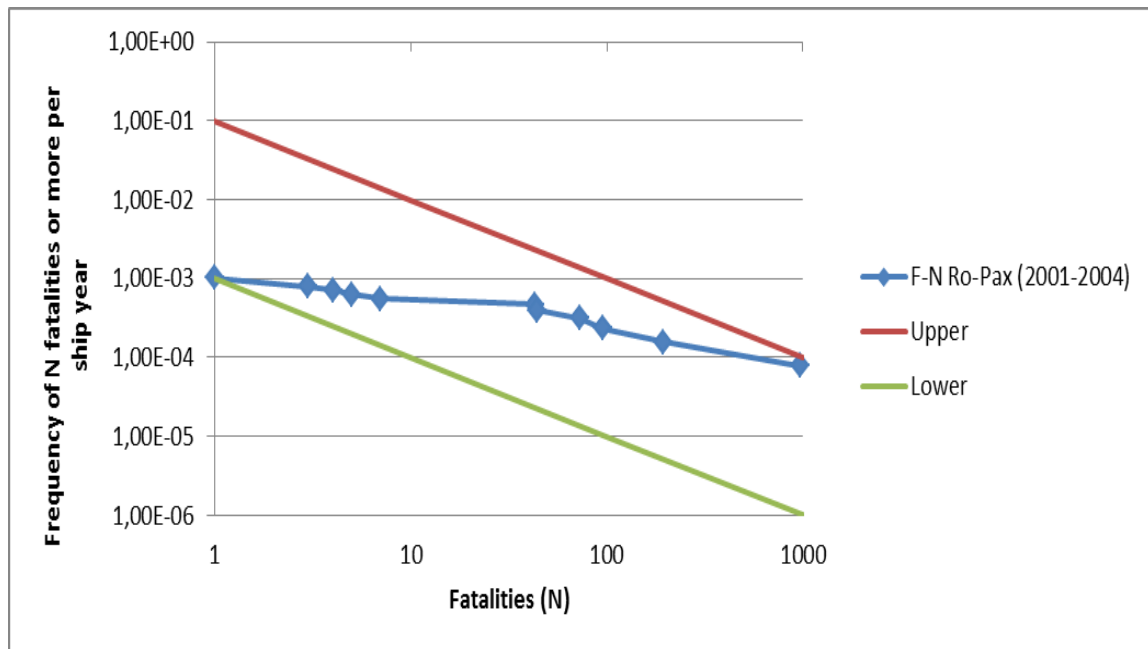
Πίνακας 21. Δύναμη παγκοσμίου στόλου πλοίων Ro-Pax, την περίοδο 2001-2004

Για τη συγκεκριμένη περίοδο λοιπόν, μπορούμε να κατασκευάσουμε τον πίνακα συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων.

2001 ως και 2004	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Συχνότητα ατυχήματος που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρους	Αθροιστική Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	3	2,35E-04	1,02E-03
3	1	7,85E-05	7,85E-04
4	1	7,85E-05	7,06E-04
5	1	7,85E-05	6,28E-04
7	1	7,85E-05	5,49E-04
43	1	7,85E-05	4,71E-04
44	1	7,85E-05	3,92E-04
73	1	7,85E-05	3,14E-04
95	1	7,85E-05	2,35E-04
194	1	7,85E-05	1,57E-04
970	1	7,85E-05	7,85E-05
Σύνολο	13		

Πίνακας 22. Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, κατά την περίοδο 2001-2004.

Επομένως, προκύπτουν οι καμπύλες F-N, ως εξής:



Σχήμα 34. Καμπύλη F-N, των Ro-Pax, για την περίοδο 2001-2004

4.1.5.3.3. Χρονική περίοδος 2005-2008

Για τον παγκόσμιο στόλο των Ro-Pax την περίοδο 2005-2008 έχουμε:

	Δύναμη παγκόσμιου στόλου Ro-Pax
Έτος	
2005	3508
2006	3603
2007	3682
2008	3789
Σύνολο	
4 έτη	14582 (ship years)

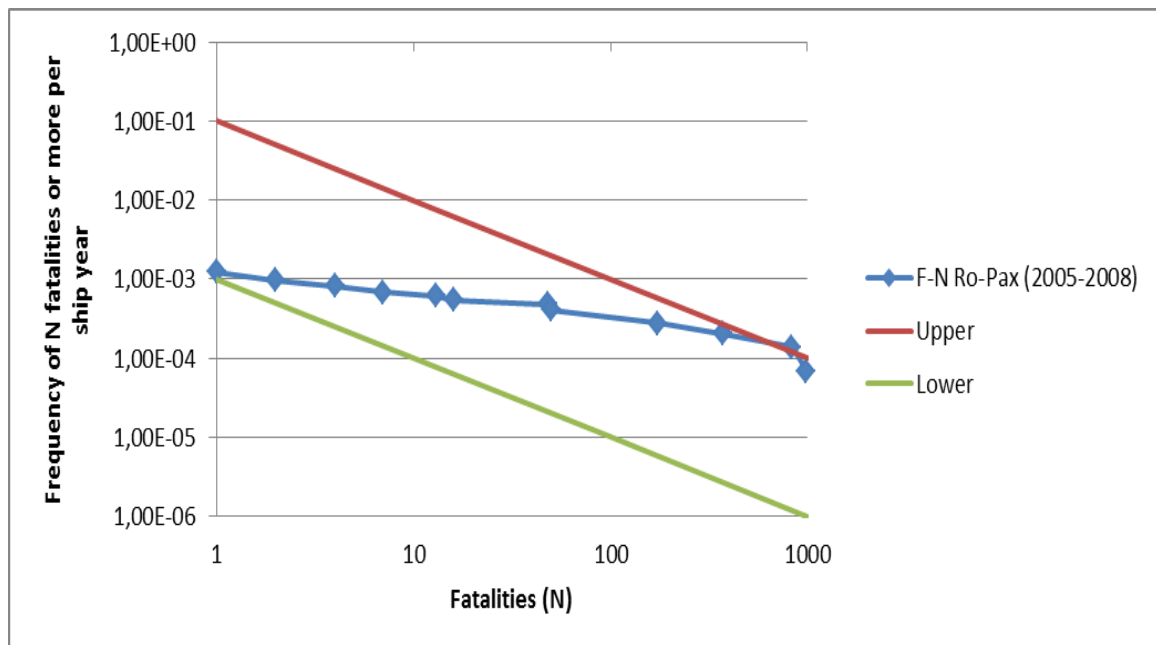
Πίνακας 23. Δύναμη παγκοσμίου στόλου πλοίων Ro-Pax, την περίοδο 2005-2008

Για τη συγκεκριμένη περίοδο λοιπόν, κατασκευάζουμε τον πίνακα συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων.

2005 ως και 2008	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Συχνότητα ατυχήματος που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρους	Αθροιστική Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	4	2,74E-04	1,23E-03
2	2	1,37E-04	9,60E-04
4	2	1,37E-04	8,23E-04
7	1	6,86E-05	6,86E-04
13	1	6,86E-05	6,17E-04
16	1	6,86E-05	5,49E-04
48	1	6,86E-05	4,80E-04
50	2	1,37E-04	4,11E-04
174	1	6,86E-05	2,74E-04
373	1	6,86E-05	2,06E-04
831	1	6,86E-05	1,37E-04
988	1	6,86E-05	6,86E-05
Σύνολο	18		

Πίνακας 24. Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, κατά την περίοδο 2005-2008.

Επομένως, προκύπτει η καμπύλη F-N, ως εξής:



Σχήμα 35. Καμπύλη F-N, των Ro-Pax, για την περίοδο 2005-2008

Παρατηρούμε ότι η καμπύλη F-N για κάποιες μεγάλες τιμές στον αριθμό των νεκρών, κινείται εκτός των αποδεκτών ορίων της περιοχής ALARP. Αυτό οφείλεται στις δύο τελευταίες τιμές που είχε το N, οι οποίες ήταν 831 και 988. Δηλαδή, η καμπύλη είναι εκτός της περιοχής της ALARP σε αυτές τις τιμές, εξαιτίας δύο πολύνεκρων ατυχημάτων. Αυτά είναι α) το ατύχημα του AL SALAM BOCCACCIO 98, με 988 νεκρούς, το οποίο το αναφέραμε και σε άλλη παράγραφο, και β) το ατύχημα του PRINCESS OF THE STARS με σημαία Παναμά, που συνέβη τον Ιούνιο του 2008 και είχε σαν αποτέλεσμα 831 νεκρούς.

4.1.5.3.4. Χρονική περίοδος 2009-2012

Για τον παγκόσμιο στόλο των Ro-Pax την περίοδο 2009-2012 έχουμε:

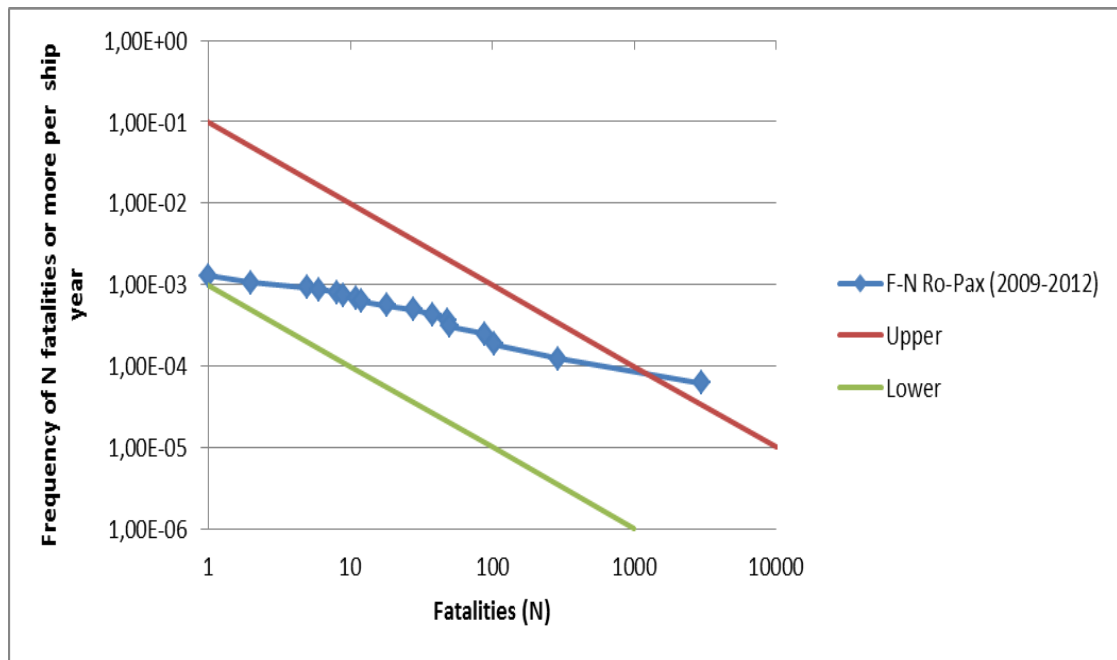
	Δύναμη παγκόσμιου στόλου Ro-Pax
Έτος	
2005	3897
2006	3997
2007	4095
2008	4179
Σύνολο	
4 έτη	16168 (ship years)

Πίνακας 25. Δύναμη παγκοσμίου στόλου πλοίων Ro-Pax, την περίοδο 2009-2012

Επομένως, κατασκευάζουμε τον πίνακα συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων.

2009 ως και 2012	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Συχνότητα ατυχήματος που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Αθροιστική Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
Αριθμός Νεκρών, N			
1	4	2,47E-04	1,30E-03
2	2	1,24E-04	1,05E-03
5	1	6,19E-05	9,28E-04
6	1	6,19E-05	8,66E-04
8	1	6,19E-05	8,04E-04
9	1	6,19E-05	7,42E-04
11	1	6,19E-05	6,80E-04
12	1	6,19E-05	6,19E-04
18	1	6,19E-05	5,57E-04
28	1	6,19E-05	4,95E-04
38	1	6,19E-05	4,33E-04
48	1	6,19E-05	3,71E-04
50	1	6,19E-05	3,09E-04
88	1	6,19E-05	2,47E-04
103	1	6,19E-05	1,86E-04
293	1	6,19E-05	1,24E-04
2966	1	6,19E-05	6,19E-05
Σύνολο	21		

Πίνακας 26. Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, κατά την περίοδο 2009-2012.



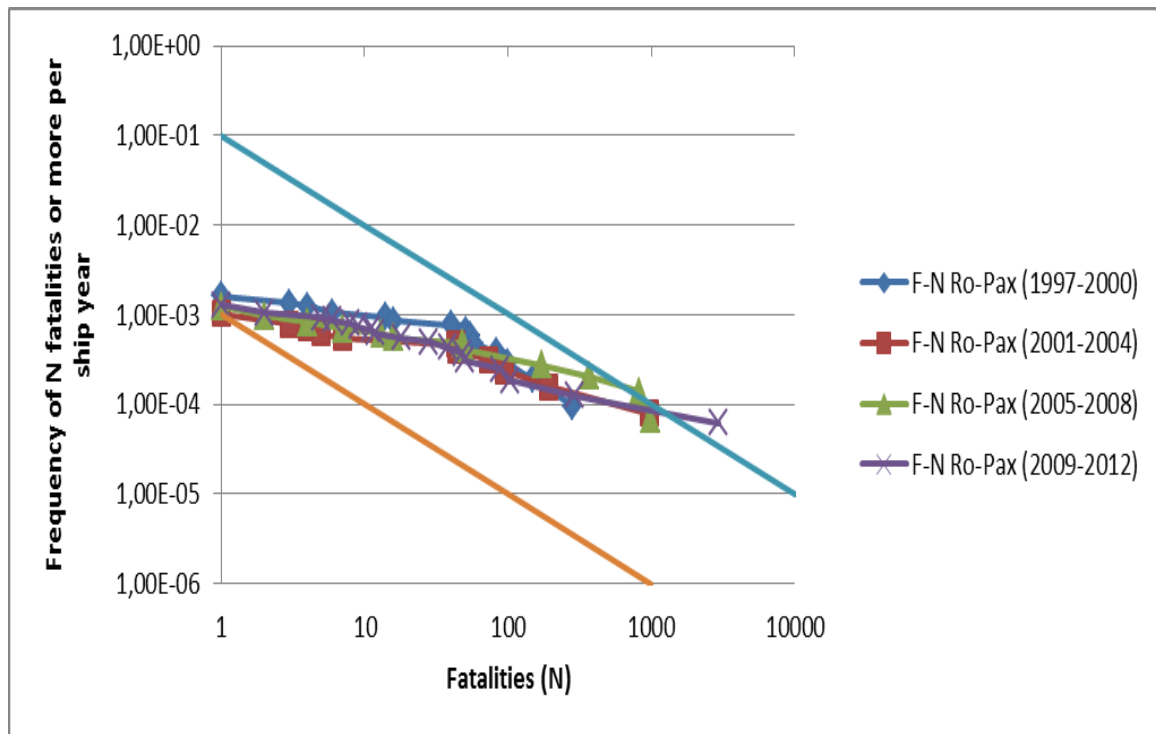
Σχήμα 36. Καμπύλη F-N, των Ro-Pax, για την περίοδο 2009-2012

Από την καμπύλη F-N για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, παρατηρούμε ότι ένα σημείο της κινείται εκτός των αποδεκτών ορίων. Αυτό οφείλεται στο πολύνεκρο ατύχημα του SPICE ISLANDER I, με σημαία Τανζανίας το οποίο περιγράψαμε στην παράγραφο 4.1.4. Είναι προφανές, ότι χωρίς αυτό το ατύχημα, η καμπύλη F-N θα ήταν ολόκληρη εντός της περιοχής ALARP του σχήματος.

4.1.5.3.5. Συγκεντρωτικό και συγκριτικό σχήμα, των τεσσάρων χρονικών περιόδων (1997-2000, 2001-2004, 2005-2008, 2009-2012)

Από τις τέσσερις προηγούμενες παραγράφους, μπορούμε να κατασκευάσουμε το συγκεντρωτικό σχήμα για τις τέσσερις περιόδους που χωρίσαμε τα 16 έτη που μελετάμε σε αυτήν την εργασία, και να συγκρίνουμε γραφικά τα αποτελέσματα.

Σε γενικές γραμμές, θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι καμπύλες F-N έχουν μικρές αποκλίσεις μεταξύ τους, στις διάφορες χρονικές υποπεριόδους που μελετάμε. Οι όποιες αποκλίσεις υπάρχουν, οφείλονται σε ατυχήματα με μεγάλο αριθμό νεκρών, των οποίων η συχνότητα δεν είναι μεγάλη.



Σχήμα 37. Καμπύλες F-N για Ro-Pax, για ορισμένες χρονικές περιόδους

4.1.5.4. Χάραξη καμπύλων F-N και περιοχής ALARP, για τα Ro-Pax (1997-2012), ανά χρονική περίοδο οκταετίας

Σε αυτό το κομμάτι της εργασίας, θα χωρίσουμε τη χρονική περίοδο που μελετάμε, σε δύο μικρότερες, για να δούμε τις καμπύλες F-N, σε κάθε μία από αυτές. Οι χρονικές περιόδους είναι α) 1997-2004, β) 2005-2012.

4.1.5.4.1. Χρονική περίοδος 1997-2004

Ο παγκόσμιος στόλος των Ro-Pax την περίοδο 1997-2004 φαίνεται στον πίνακα 27. Επίσης, κατά τη μελέτη από τη βάση δεδομένων της seaweb, των θανατηφόρων ατυχημάτων, τη χρονική περίοδο 1997 ως και 2004, προκύπτει ο πίνακας 28.

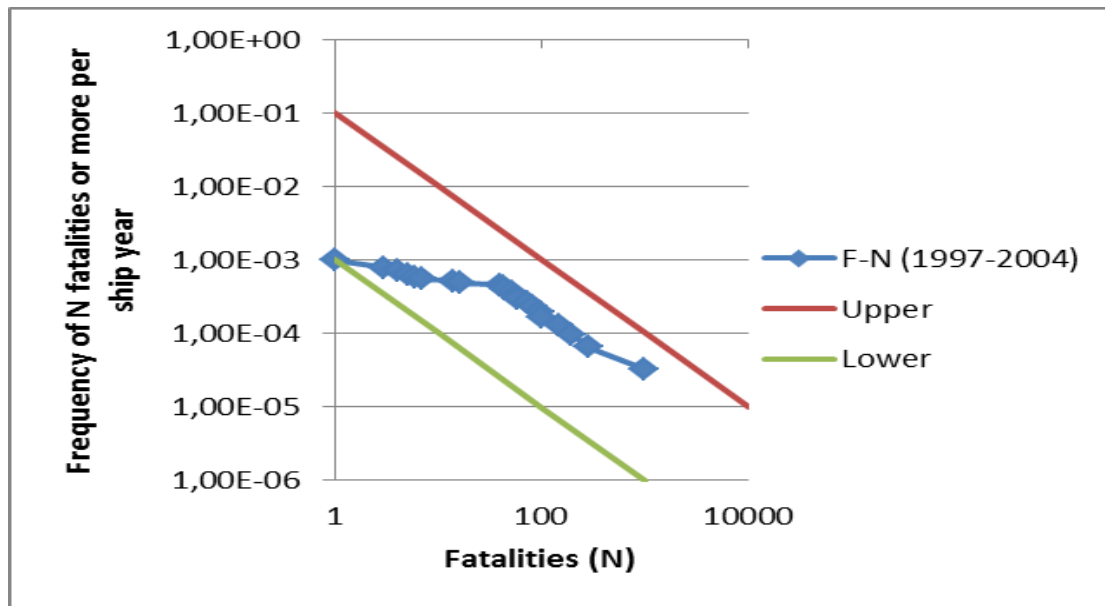
	Δύναμη παγκόσμιου στόλου Ro-Pax
Έτος	
1997	2392
1998	2570
1999	2711
2000	2850
2001	2982
2002	3122
2003	3255
2004	3386
Σύνολο	
8 έτη	23268 (ship years)

Πίνακας 27. Δύναμη παγκοσμίου στόλου πλοίων Ro-Pax, την περίοδο 1997-2004

1997 ως και 2004	Αριθμός Ατυχημάτων	Συχνότητα ατυχήματος που	Αθροιστική Συχνότητα
Αριθμός Νεκρών, N	που είχαν ως αποτέλεσμα	είχαν ως αποτέλεσμα	ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα
	ακριβώς N νεκρούς	ακριβώς N νεκρους	N ή παραπάνω νεκρούς
1	6	2,58E-04	1,29E-03
3	2	8,60E-05	1,03E-03
4	3	1,29E-04	9,46E-04
5	1	4,30E-05	8,17E-04
6	1	4,30E-05	7,74E-04
7	1	4,30E-05	7,31E-04
14	1	4,30E-05	6,88E-04
16	1	4,30E-05	6,45E-04
40	1	4,30E-05	6,02E-04
43	1	4,30E-05	5,59E-04
44	1	4,30E-05	5,16E-04
51	1	4,30E-05	4,73E-04
55	1	4,30E-05	4,30E-04
58	1	4,30E-05	3,87E-04
73	1	4,30E-05	3,44E-04
83	1	4,30E-05	3,01E-04
95	1	4,30E-05	2,58E-04
100	1	4,30E-05	2,15E-04
150	1	4,30E-05	1,72E-04
194	1	4,30E-05	1,29E-04
282	1	4,30E-05	8,60E-05
970	1	4,30E-05	4,30E-05
Σύνολο	30		

Πίνακας 28. Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, κατά την περίοδο 1997-2004.

Έτσι λοιπόν προκύπτει και το σχήμα 33, με τις καμπύλες F-N, για τη χρονική περίοδο 1997-2004.



Σχήμα 38. Καμπύλη F-N, των Ro-Pax, για την περίοδο 1997-2004

4.1.5.4.2. Χρονική περίοδος 2005-2012

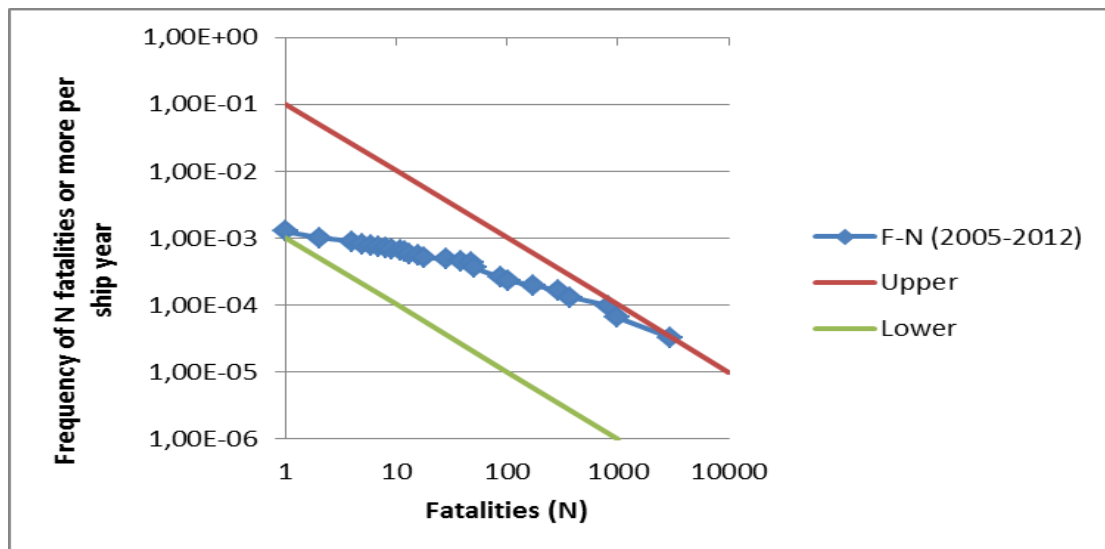
Ο παγκόσμιος στόλος των Ro-Pax την περίοδο 2005-2012 φαίνεται στον πίνακα 29. Επίσης, κατά τη μελέτη από τη βάση δεδομένων της seaweb, των θανατηφόρων ατυχημάτων, τη χρονική περίοδο 2005 ως και 2012, προκύπτει ο πίνακας 30.

	Δύναμη παγκόσμιου στόλου Ro-Pax
Έτος	
2005	3508
2006	3603
2007	3682
2008	3789
2009	3897
2010	3997
2011	4095
2012	4179
Σύνολο	
8 έτη	30750 (ship years)

Πίνακας 29. Δύναμη παγκοσμίου στόλου πλοίων Ro-Pax, την περίοδο 2005-2012

2005 ως και 2012	Αριθμός Ατυχημάτων	Συχνότητα ατυχήματος που	Αθροιστική Συχνότητα
Αριθμός Νεκρών, N	που είχαν ως αποτέλεσμα	είχαν ως αποτέλεσμα	ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα
	ακριβώς N νεκρούς	ακριβώς N νεκρούς	N ή παραπάνω νεκρούς
1	8	2,60E-04	1,27E-03
2	4	1,30E-04	1,01E-03
4	2	6,50E-05	8,78E-04
5	1	3,25E-05	8,13E-04
6	1	3,25E-05	7,80E-04
7	1	3,25E-05	7,48E-04
8	1	3,25E-05	7,15E-04
9	1	3,25E-05	6,83E-04
11	1	3,25E-05	6,50E-04
12	1	3,25E-05	6,18E-04
13	1	3,25E-05	5,85E-04
16	1	3,25E-05	5,53E-04
18	1	3,25E-05	5,20E-04
28	1	3,25E-05	4,88E-04
38	1	3,25E-05	4,55E-04
48	2	6,50E-05	4,23E-04
50	3	9,76E-05	3,58E-04
88	1	3,25E-05	2,60E-04
103	1	3,25E-05	2,28E-04
174	1	3,25E-05	1,95E-04
293	1	3,25E-05	1,63E-04
373	1	3,25E-05	1,30E-04
831	1	3,25E-05	9,76E-05
988	1	3,25E-05	6,50E-05
2966	1	3,25E-05	3,25E-05
Σύνολο	39		

Πίνακας 30. Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, κατά την περίοδο 2005-2012.

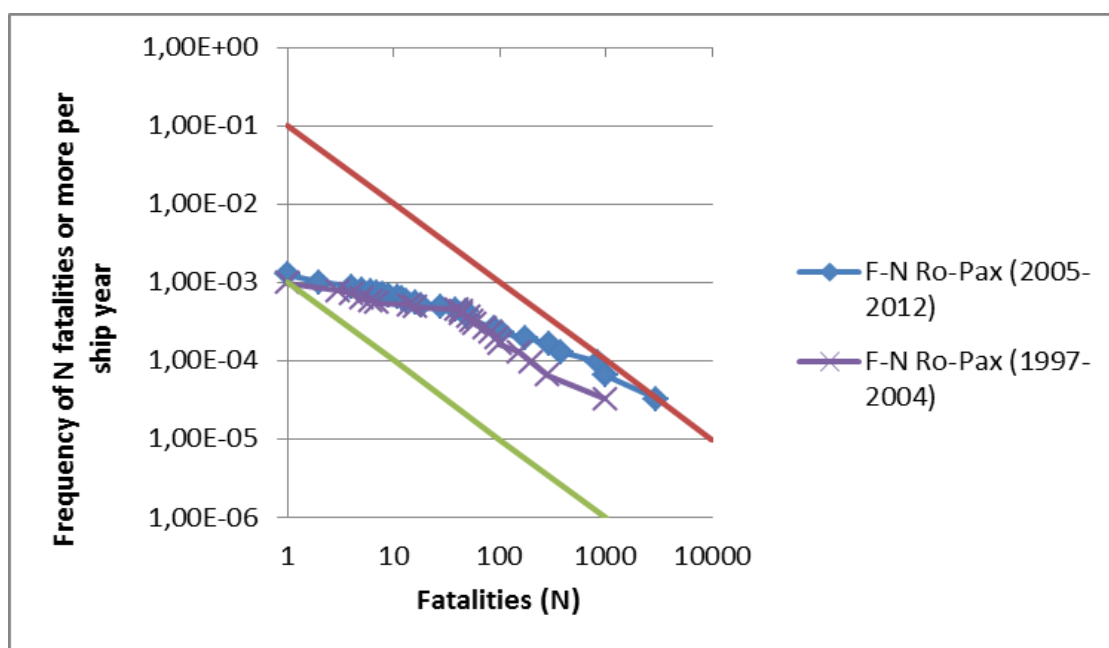


Σχήμα 39. Καμπύλη F-N, των Ro-Pax, για την περίοδο 2005-2012

4.1.5.4.3. Συγκεντρωτικό και συγκριτικό σχήμα

Από τις δύο προηγούμενες παραγράφους, μπορούμε να κατασκευάσουμε το συγκεντρωτικό σχήμα για τις δύο περιόδους που χωρίσαμε τα 16 έτη που μελετάμε σε αυτήν την εργασία, και να συγκρίνουμε γραφικά τα αποτελέσματα.

Και σε αυτήν την περίπτωση θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι καμπύλες F-N έχουν μικρές αποκλίσεις μεταξύ τους, στις διάφορες χρονικές υποπεριόδους που μελετάμε. Οι όποιες αποκλίσεις υπάρχουν, οφείλονται σε ατυχήματα με μεγάλο αριθμό νεκρών, των οποίων η συχνότητα δεν είναι μεγάλη.



Σχήμα 40. Καμπύλες F-N για Ro-Pax, για 2 χρονικές υποπεριόδους

4.1.5.5. Μια διαφορετική προσέγγιση στην κατασκευή των ορίων της περιοχής ALARP. (Kaneko & Yamada 2010)

Όπως έχουμε ήδη παρουσιάσει στην παράγραφο 3.4. σύμφωνα με την προσέγγιση των Kaneko και Yamada, η σχέση που χρησιμοποιούμε για τον καθορισμό των ορίων της ALARP, είναι η ακόλουθη:

$$F(N) = F(N_{\min})(1 - G(N_{\min})) \left(1 - \frac{\sum_{n=N_{\min}}^{N+1} \frac{1}{n^b} - \frac{1}{N_{\min}^b}}{\sum_{n=N_{\min}}^{N_{\max}} \frac{1}{n^b} - \frac{1}{N_{\min}^b}} \right)$$

Με αυτήν, το άνω όριο μπορεί να οριστεί ως μια γραμμή που είναι μία τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από το ιδανικό διάγραμμα F-N και το κάτω όριο μπορεί επίσης να οριστεί ως μια γραμμή η οποία είναι μία τάξη μεγέθους μικρότερη.

Να θυμίσουμε ότι η πιθανότητα αριθμού θανάτων N, όταν έχουμε ένα ατύχημα, στο οποίο προκαλούνται θάνατοι, ορίζεται ως g (N). Επίσης ότι ισχύει:

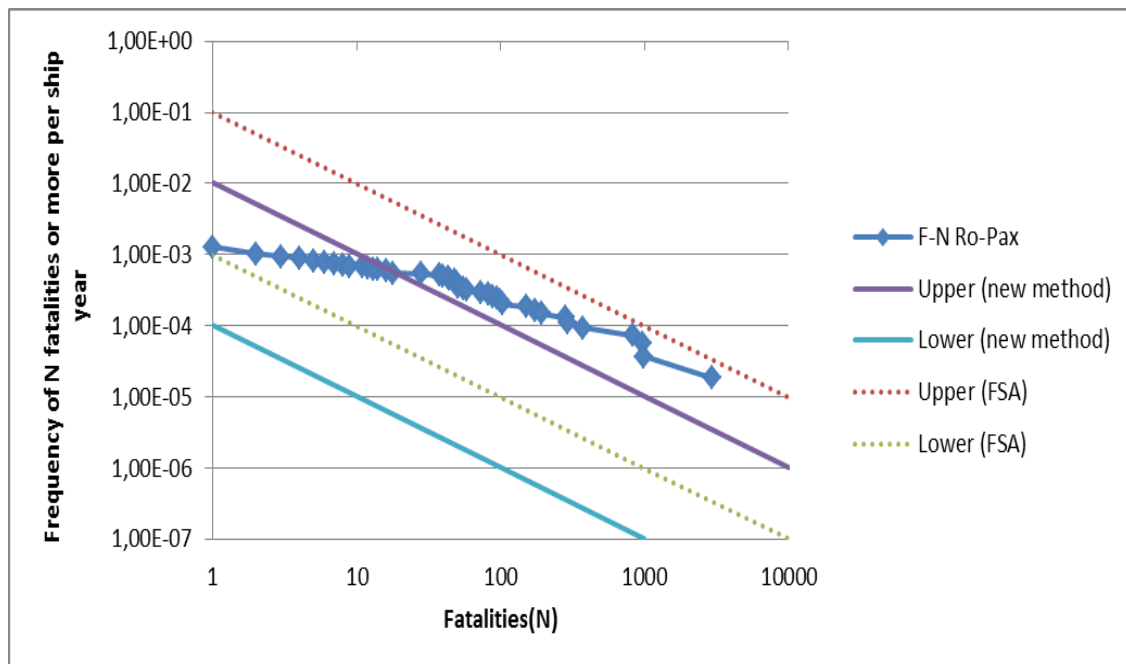
$$\sum_{N=N_{\min}}^{N_{\max}} g(N) = 1$$

Το $G(N)$ ορίζεται ως η αθροιστική κατανομή της g (N) και είναι:

$$G(N) = \sum_{n=N_{\min}}^N g(n)$$

Για την εφαρμογή της μεθόδου στα Ro-Pax, κατασκευάζουμε τον πίνακα 27. Επομένως με b=-1 προκύπτει: $F(1) = 0,00128 \cdot 0,797 \cdot 0,9998 = 0,00102$

Άρα το άνω όριο της ALARP είναι μία τάξη μεγέθους μεγαλύτερο και το κάτω όριο μία τάξη μεγέθους μικρότερο. Δηλαδή: upper limit: 0,0102, lower limit: 0,000102



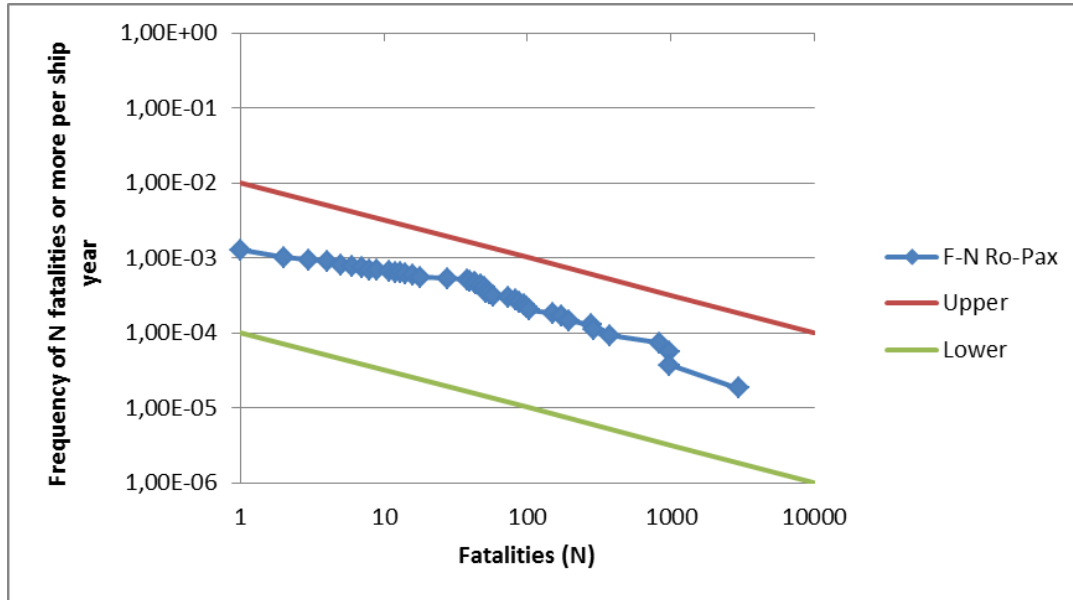
Σχήμα 41. Καμπύλη F-N, για τα Ro-Pax (1997-2012) και όρια της ALARP με τη μέθοδο Kaneko & Yamada, b=-1

	Αριθμός ατυχημάτων	Συχνότητα	Αθροιστική συχνότητα ατυχημάτων	Πιθανότητα	Αθροιστική
Αριθμός Νεκρών (N)	που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	ατυχήματος με N νεκρούς	που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς	για N θανάτους g(N)	κατανομή G(N)
1	14	0,000259173	0,001277352	0,202898551	0,202898551
2	4	7,40494E-05	0,001018179	0,057971014	0,260869565
3	2	3,70247E-05	0,00094413	0,028985507	0,289855072
4	5	9,25617E-05	0,000907105	0,072463768	0,362318841
5	2	3,70247E-05	0,000814543	0,028985507	0,391304348
6	2	3,70247E-05	0,000777519	0,028985507	0,420289855
7	2	3,70247E-05	0,000740494	0,028985507	0,449275362
8	1	1,85123E-05	0,000703469	0,014492754	0,463768116
9	1	1,85123E-05	0,000684957	0,014492754	0,47826087
11	1	1,85123E-05	0,000666445	0,014492754	0,492753623
12	1	1,85123E-05	0,000647932	0,014492754	0,507246377
13	1	1,85123E-05	0,00062942	0,014492754	0,52173913
14	1	1,85123E-05	0,000610907	0,014492754	0,536231884
16	2	3,70247E-05	0,000592395	0,028985507	0,565217391
18	1	1,85123E-05	0,00055537	0,014492754	0,579710145
28	1	1,85123E-05	0,000536858	0,014492754	0,594202899
38	1	1,85123E-05	0,000518346	0,014492754	0,608695652
40	1	1,85123E-05	0,000499833	0,014492754	0,623188406
43	1	1,85123E-05	0,000481321	0,014492754	0,637681159
44	1	1,85123E-05	0,000462809	0,014492754	0,652173913
48	2	3,70247E-05	0,000444296	0,028985507	0,68115942
50	3	5,5537E-05	0,000407272	0,043478261	0,724637681
51	1	1,85123E-05	0,000351735	0,014492754	0,739130435
55	1	1,85123E-05	0,000333222	0,014492754	0,753623188
58	1	1,85123E-05	0,00031471	0,014492754	0,768115942
73	1	1,85123E-05	0,000296198	0,014492754	0,782608696
83	1	1,85123E-05	0,000277685	0,014492754	0,797101449
88	1	1,85123E-05	0,000259173	0,014492754	0,811594203
95	1	1,85123E-05	0,000240661	0,014492754	0,826086957
100	1	1,85123E-05	0,000222148	0,014492754	0,84057971
103	1	1,85123E-05	0,000203636	0,014492754	0,855072464
150	1	1,85123E-05	0,000185123	0,014492754	0,869565217
174	1	1,85123E-05	0,000166611	0,014492754	0,884057971
194	1	1,85123E-05	0,000148099	0,014492754	0,898550725
282	1	1,85123E-05	0,000129586	0,014492754	0,913043478
293	1	1,85123E-05	0,000111074	0,014492754	0,927536232
373	1	1,85123E-05	9,25617E-05	0,014492754	0,942028986
831	1	1,85123E-05	7,40494E-05	0,014492754	0,956521739
970	1	1,85123E-05	5,5537E-05	0,014492754	0,971014493
988	1	1,85123E-05	3,70247E-05	0,014492754	0,985507246
2966	1	1,85123E-05	1,85123E-05	0,014492754	1
Σύνολο	69			1	

Πίνακας 31. Υπολογισμός συχνοτήτων, αθροιστικών συχνοτήτων, πιθανοτήτων και αθροιστικής κατανομής πιθανοτήτων, των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax (1997-2012)

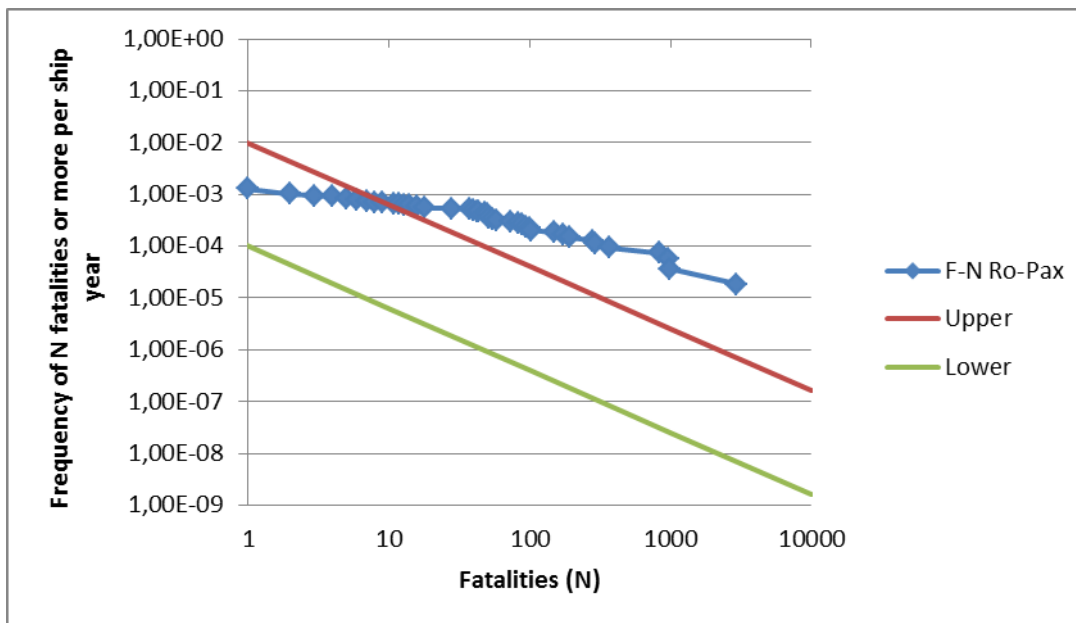
Θα εφαρμόσουμε τη μέθοδο αυτή, και για άλλα b (κλίση της ευθείας).

Με $b = -0,5$ υπολογίζουμε με βάση τα παραπάνω, το $F(1)$ και έχουμε:



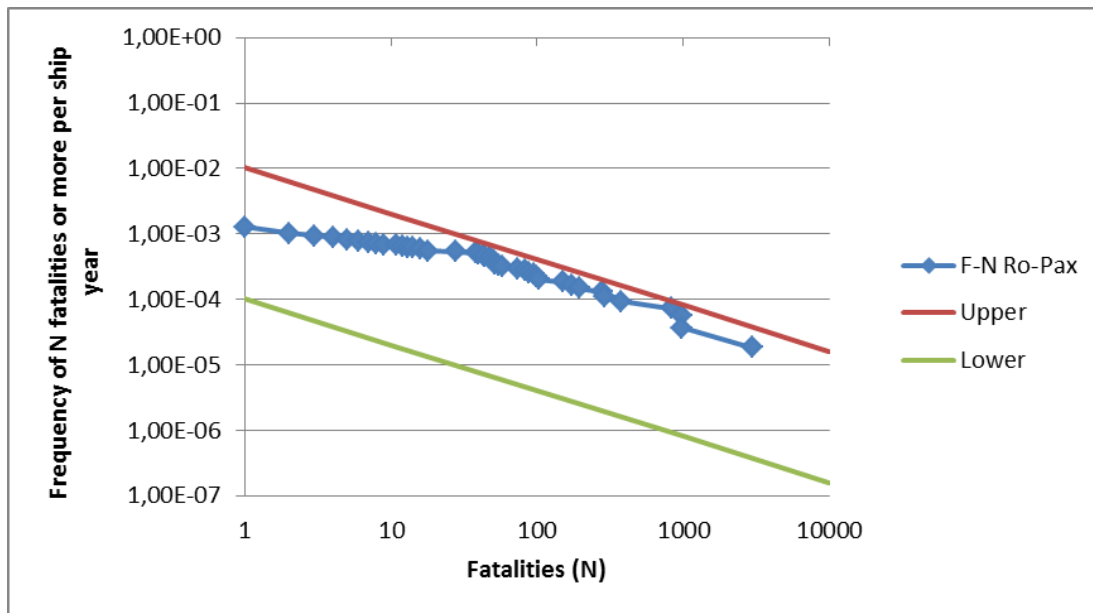
Σχήμα 42. Καμπύλη F-N, για τα Ro-Pax (1997-2012) και όρια της ALARP με τη μέθοδο Kaneko & Yamada, $b = -0,5$

Για $b = -1,2$ έχουμε:



Σχήμα 43. Καμπύλη F-N, για τα Ro-Pax (1997-2012) και όρια της ALARP με τη μέθοδο Kaneko & Yamada, $b = -1,2$

Μετά από δοκιμές, η τιμή του b για την οποία, όλη η καμπύλη μας είναι εντός των ορίων της ALARP, είναι $b = -0,7$



Σχήμα 44. Καμπύλη F-N, για τα Ro-Pax (1997-2012) και όρια της ALARP με τη μέθοδο Kaneko & Yamada, $b=-0,7$

Βλέπουμε ότι για $b=-1$, με αυτήν τη διαφορετική προσέγγιση, τα κριτήρια αποδοχής ρίσκου, είναι πιο αυστηρά από την κλασική μέθοδο κατασκευής ορίων της ALARP, καθώς μεγάλο μέρος της καμπύλης μας, είναι εκτός των ορίων της. Υπάρχει δηλαδή, μεγαλύτερη αποστροφή της κοινωνίας στο ρίσκο, σύμφωνα με τη μέθοδο Kaneko και Yamada. Παρόλα αυτά όμως, όπως εξηγήσαμε και στην παράγραφο 3.4. η μέθοδος που βασίζεται στη σχέση $F(N) = F(1)/N^b$, πιστεύεται ότι είναι κατάλληλη ως μέθοδος για τον καθορισμό των συνόρων της περιοχής ALARP στα F-N διαγράμματα.

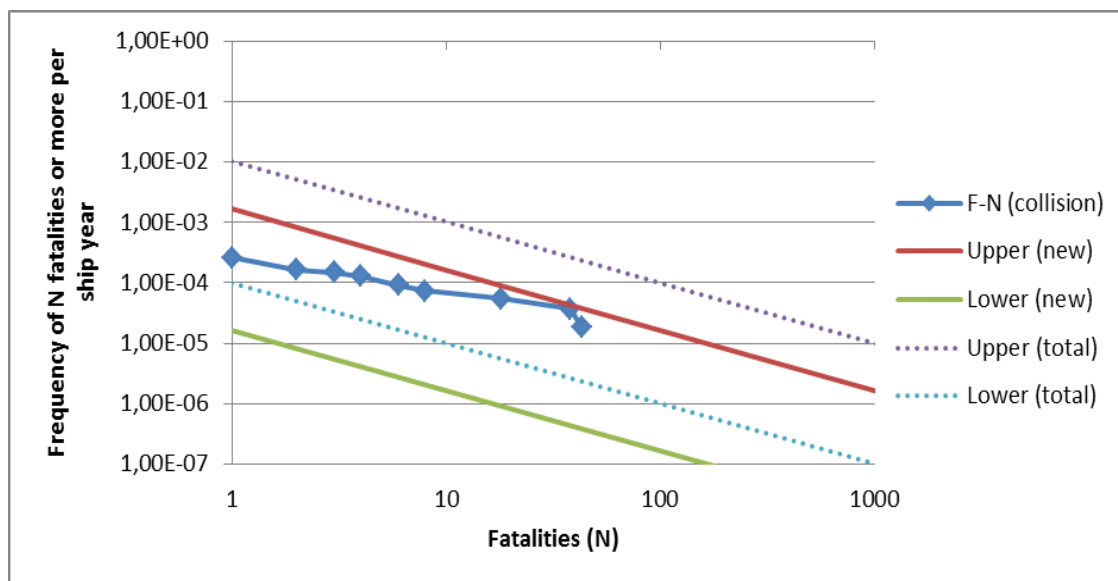
Μπορούμε τώρα να δούμε την εφαρμογή αυτής της διαφορετική προσέγγισης, στις καμπύλες F-N για κάθε τύπο ατυχήματος που εξετάσαμε.

Ακολουθούν οι πίνακες με τους οποίους υπολογίζουμε τις συχνότητες, τις αθροιστικές συχνότητες, τις πιθανότητες και τις αθροιστικές κατανομές πιθανοτήτων, των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax για την περίοδο 1997-2012. Έπειτα ακολουθούν οι καμπύλες F-N με τα όρια ALARP, όπως αυτά προκύπτουν από την μέθοδο Kaneko και Yamada. Για ακόμα μια φορά παρατηρούμε την μικρή ανοχή που δείχνει η μέθοδος αυτή, στην έκθεση στο ρίσκο. Επίσης βλέπουμε και τη σύγκριση με τα όρια που προέκυψαν με τη νέα αυτή μέθοδο, για το σύνολο των Ro-Pax.

Έτσι λοιπόν, για collision έχουμε τον πίνακα 28 και σχήμα 46:

COLLISION	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Συχνότητα ατυχήματος με N νεκρούς	Αθροιστική Συχνότητα Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς	Πιθανότητα για N θανάτους g(N)	Αθροιστική κατανομή G(N)
1	5	9,26E-05	2,59E-04	3,57E-01	3,57E-01
2	1	1,85E-05	1,67E-04	7,14E-02	4,29E-01
3	1	1,85E-05	1,48E-04	7,14E-02	5,00E-01
4	2	3,70E-05	1,30E-04	1,43E-01	5,71E-01
6	1	1,85E-05	9,26E-05	7,14E-02	7,14E-01
8	1	1,85E-05	7,40E-05	7,14E-02	7,86E-01
18	1	1,85E-05	5,55E-05	7,14E-02	8,57E-01
38	1	1,85E-05	3,70E-05	7,14E-02	9,29E-01
43	1	1,85E-05	1,85E-05	7,14E-02	1,00E+00
Σύνολο	14	0,000259173		1	

Πίνακας 32. Υπολογισμός συχνοτήτων, αθροιστικών συχνοτήτων, πιθανοτήτων και αθροιστικής κατανομής πιθανοτήτων, των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax για collision

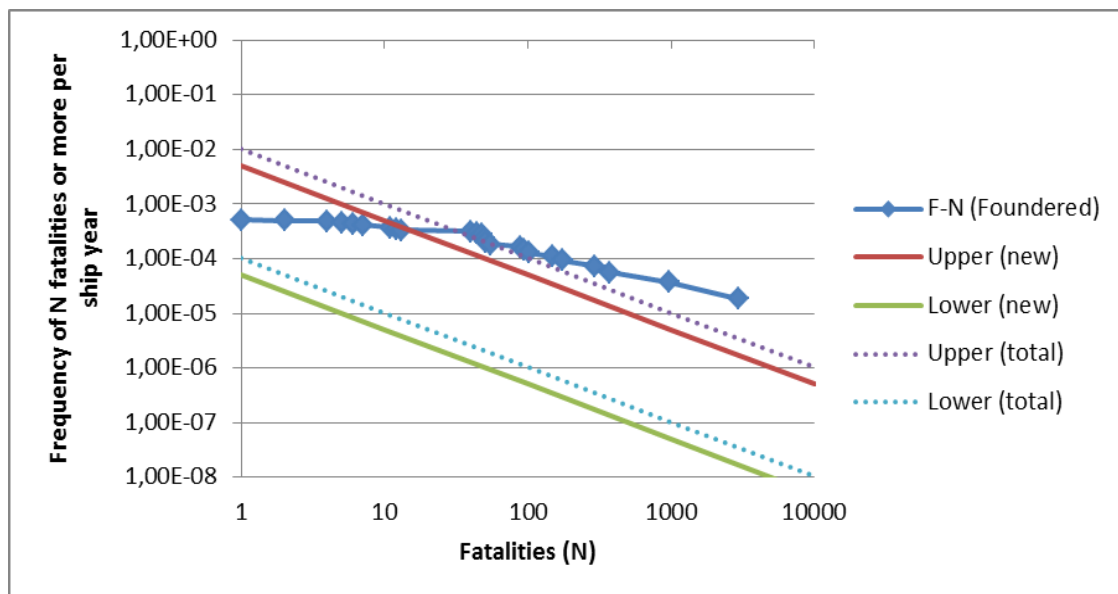


Σχήμα 45. Καμπύλη F-N, για τα Ro-Pax (1997-2012) και όρια της ALARP με τη μέθοδο Kaneko & Yamada, για collision

Αντίστοιχα, για foundered έχουμε τον πίνακα 29 και το σχήμα 47.

FOUNDERED Αριθμός Νεκρών, N	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Συχνότητα ατυχήματος με N νεκρούς	Αθροιστική Συχνότητα Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς	Πιθανότητα για N θανάτους g(N)	Αθροιστική κατανομή G(N)
1	1	1,85E-05	5,18E-04	3,57E-02	3,57E-02
2	1	1,85E-05	5,00E-04	3,57E-02	7,14E-02
4	2	3,70E-05	4,81E-04	7,14E-02	1,43E-01
5	1	1,85E-05	4,44E-04	3,57E-02	1,79E-01
6	1	1,85E-05	4,26E-04	3,57E-02	2,14E-01
7	2	3,70E-05	4,07E-04	7,14E-02	2,86E-01
11	1	1,85E-05	3,70E-04	3,57E-02	3,21E-01
12	1	1,85E-05	3,52E-04	3,57E-02	3,57E-01
13	1	1,85E-05	3,33E-04	3,57E-02	3,93E-01
40	1	1,85E-05	3,15E-04	3,57E-02	4,29E-01
44	1	1,85E-05	2,96E-04	3,57E-02	4,64E-01
48	2	3,70E-05	2,78E-04	7,14E-02	5,36E-01
50	2	3,70E-05	2,41E-04	7,14E-02	6,07E-01
51	1	1,85E-05	2,04E-04	3,57E-02	6,43E-01
55	1	1,85E-05	1,85E-04	3,57E-02	6,79E-01
88	1	1,85E-05	1,67E-04	3,57E-02	7,14E-01
95	1	1,85E-05	1,48E-04	3,57E-02	7,50E-01
103	1	1,85E-05	1,30E-04	3,57E-02	7,86E-01
150	1	1,85E-05	1,11E-04	3,57E-02	8,21E-01
174	1	1,85E-05	9,26E-05	3,57E-02	8,57E-01
293	1	1,85E-05	7,40E-05	3,57E-02	8,93E-01
373	1	1,85E-05	5,55E-05	3,57E-02	9,29E-01
970	1	1,85E-05	3,70E-05	3,57E-02	9,64E-01
2966	1	1,85E-05	1,85E-05	3,57E-02	1,00E+00
Σύνολο	28	5,18E-04		1,00E+00	

Πίνακας 33. Υπολογισμός συχνότητας, αθροιστικών συχνότητας, πιθανοτήτων και αθροιστικής κατανομής πιθανοτήτων, των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax για foundered

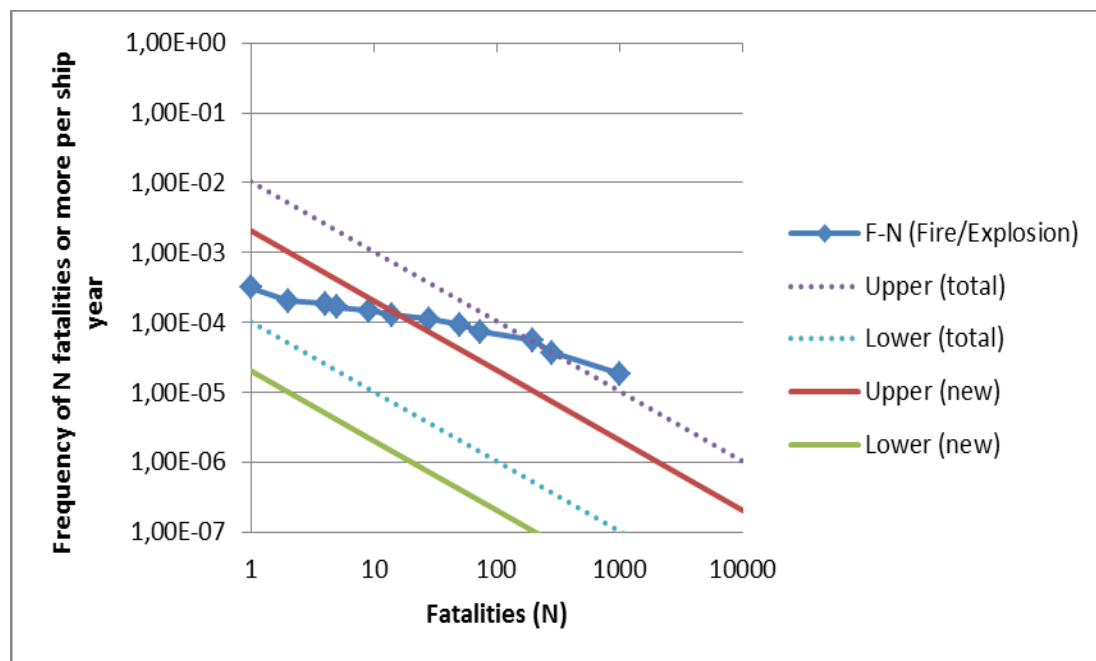


Σχήμα 46. Καμπύλη F-N, για τα Ro-Pax (1997-2012) και όρια της ALARP με τη μέθοδο Kaneko & Yamada, για foundered

Τέλος για την περίπτωση πυρκαγιάς ή έκρηξης έχουμε:

F/E	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Συχνότητα ατυχήματος με N νεκρούς	Αθροιστική Συχνότητα Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς	Πιθανότητα για N θανάτους g(N)	Αθροιστική κατανομή G(N)
1	6	1,11E-04	3,15E-04	3,53E-01	3,53E-01
2	1	1,85E-05	2,04E-04	5,88E-02	4,12E-01
4	1	1,85E-05	1,85E-04	5,88E-02	4,71E-01
5	1	1,85E-05	1,67E-04	5,88E-02	5,29E-01
9	1	1,85E-05	1,48E-04	5,88E-02	5,88E-01
14	1	1,85E-05	1,30E-04	5,88E-02	6,47E-01
28	1	1,85E-05	1,11E-04	5,88E-02	7,06E-01
50	1	1,85E-05	9,26E-05	5,88E-02	7,65E-01
73	1	1,85E-05	7,40E-05	5,88E-02	8,24E-01
194	1	1,85E-05	5,55E-05	5,88E-02	8,82E-01
282	1	1,85E-05	3,70E-05	5,88E-02	9,41E-01
988	1	1,85E-05	1,85E-05	5,88E-02	1,00E+00
Σύνολο	17	3,15E-04		1,00E+00	

Πίνακας 34. Υπολογισμός συχνοτήτων, αθροιστικών συχνοτήτων, πιθανοτήτων και αθροιστικής κατανομής πιθανοτήτων, των ατυχημάτων του παγκόσμιου στόλου Ro-Pax, για πυρκαγιά ή έκρηξη



Σχήμα 47. Καμπύλη F-N, για τα Ro-Pax (1997-2012) και όρια της ALARP με τη μέθοδο Kaneko & Yamada, για πυρκαγιά ή έκρηξη

4.2. Καμπύλες F-N (Cruise Ships)

4.2.1. Εισαγωγή στα Cruise Ships (Κρουαζιερόπλοια)

Από το τέλος του Β Παγκοσμίου Πολέμου (1945), μεγάλος αριθμός επιβατηγών πλοίων έχουν περάσει σε διαδικασία επισκευής. Τα τελευταία 30 χρόνια, η επιστημονικές και τεχνολογικές εξελίξεις, έχουν κάνει τεράστιες βελτιώσεις στο σχεδιασμό, την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, τη διαμονή και τις εγκαταστάσεις εστίασης των επιβατηγών πλοίων. Τέτοιες βελτιώσεις συμβάλλουν στην αποτελεσματικότητα του πλοίου και να κάνουν πιθανό τον ανταγωνισμό του με τις χερσαίες διακοπές, συμπεριλαμβανομένων και των ξενοδοχείων. Σύμφωνα με τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ), υπήρξε μια πτώση στα ταξίδια στη θάλασσα (1957-1970), η οποία μείωσε την ανάγκη για επιβατηγά πλοία.

Η διάρθρωση της αγοράς στις κρουαζιέρες, αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία. Αυτά είναι α) οι μεταφορές, που χαρακτηρίζουν μια κρουαζιέρα, β) ο τουρισμός και γ) η αναψυχή, η οποία ελκύει τους τουρίστες και τους επιβάτες. Επιπλέον, οι κρουαζιέρες μπορούν να χαρακτηριστούν ως ένα από τα πιο ολοκληρωμένα τουριστικά προϊόντα στον κόσμο, καθώς προσφέρουν ολοκληρωμένο πακέτο στις διακοπές (all-inclusive vacation). Κατά τη διάρκεια του 1999, με κρουαζιερόπλοια σε όλο τον κόσμο ταξίδεψαν σχεδόν 9 εκατομμύρια επιβάτες και το έτος 2006, τουλάχιστον 17 εκατομμύρια.

Στις μέρες μας, η τάση είναι να δημιουργηθούν μεγαλύτερα πλοία που μπορούν να φιλοξενήσουν περισσότερα από 1500 επιβάτες. Μεγαλύτερα πλοία μπορούν να εκμεταλλευτούν τα οικονομικά μεγέθη και τη μείωση των λειτουργικών δαπανών ενώ ταυτόχρονα να έχουν αύξηση των εσόδων του σκάφους που οφείλεται σε πρόσθετες παροχές που μπορούν να προσφέρουν. [56]

Οι κρουαζιέρες έχουν αποδειχθεί ότι είναι ένας πολύ ασφαλής τρόπος για την πραγματοποίηση διακοπών. Παρά το γεγονός ότι οι περισσότεροι ειδικοί αναγνωρίζουν ότι κρουαζιέρες έχουν ένα εξαιρετικό ρεκόρ ασφάλειας, είναι πιθανόν να συμβούν και σοβαρές απώλειες. Η πυρκαγιά, μπορεί να είναι ο μεγαλύτερος κίνδυνος σε ένα κρουαζιερόπλοιο, αλλά η σύγκρουση μπορεί επίσης να έχει σοβαρές συνέπειες. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το πλήρωμα αντιμετώπισε επαγγελματικά τις καταστάσεις και συχνά απέτρεψε την απώλεια πλοίου και ζωών. [57] [58]

Για τη διεθνή ναυτιλιακή κοινότητα, η ασφάλεια των πλοίων ήταν ανέκαθεν προτεραιότητα. Ατυχήματα όπως αυτό του Τιτανικού, που βυθίστηκε το 1912, προκάλεσε διεθνή ανησυχία. Τα τελευταία δέκα χρόνια, η προσοχή έχει επικεντρωθεί

στη θαλάσσια ασφάλεια του κρουαζιερόπλοιου. Αυτό οφειλόταν σε σοβαρά ατυχήματα που συνέβησαν σε αυτά.

Δύο μεγάλες καταστροφές που προκάλεσε αλλαγές σε υφιστάμενους κανονισμούς ασφαλείας ήταν οι πυρκαγιές στα Scandinavian Star και Moby Prince. [59]

Οι απαιτήσεις για την πυροπροστασία έχουν αναθεωρηθεί εκτενώς για τα νέα και τα υπάρχοντα επιβατηγά πλοία (πλοία που έχουν ναυπηγηθεί μετά ή πριν από την 1^η Οκτωβρίου 1994), σύμφωνα με την πίεση δύο διαφορετικών αναγκών :

α) να λαμβάνουν υπ' όψιν τις ελλείψεις που επισημαίνονται από σοβαρά ατυχήματα.

β) να αντιμετωπίζουν τις νέες λύσεις που προσφέρονται από σχεδιαστές, που δεν υπήρχαν τη στιγμή που συντάχθηκε η σύμβαση SOLAS.

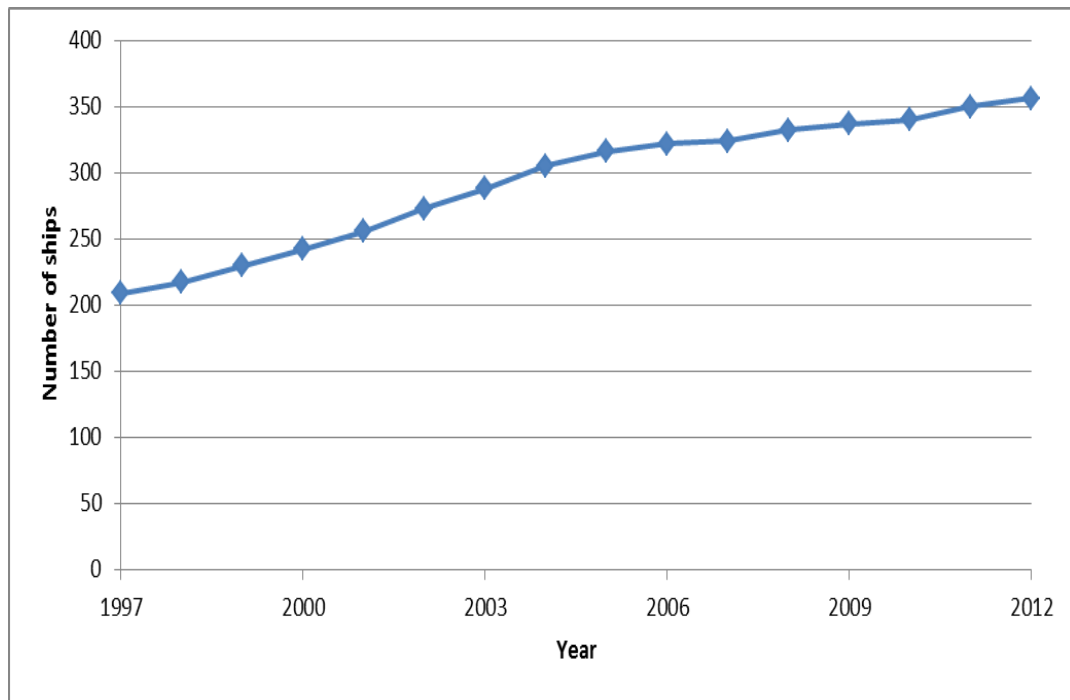
Οι αναθεωρήσεις αυτές αποσκοπούν στη βελτίωση των συνθηκών για αποφυγή πυρκαγιάς, την προστασία των οδών διαφυγής και η προσπάθεια ανίχνευσης της. [56]

4.2.2. Παγκόσμιος στόλος των Cruise Ships (Κρουαζιερόπλοια)

Στην παράγραφο αυτή της εργασίας, θα δούμε την εξέλιξη της δύναμης του παγκόσμιου στόλου, των Cruise Ships, σύμφωνα με τη Clarksons, κατά την χρονική περίοδο 1997-2012, όπου είναι και η περίοδος που εξετάζουμε σε αυτήν την εργασία.

Έτος	Δύναμη παγκόσμιου στόλου Cruise Ships
1997	209
1998	217
1999	230
2000	242
2001	256
2002	273
2003	288
2004	305
2005	316
2006	322
2007	324
2008	332
2009	337
2010	340
2011	350
2012	356
Σύνολο	4697

Πίνακας 35. Δύναμη παγκοσμίου στόλου Cruise Ships, την περίοδο 1997-2012



Σχήμα 48. Εξέλιξη παγκόσμιου στόλου Cruise Ships (1997-2012)

4.2.3. Κριτήρια αποδοχής ρίσκου (Cruise Ships)

Όπως προείπαμε, σκοπός των κριτηρίων αποδοχής κοινωνικού ρίσκου, είναι να περιοριστούν οι κίνδυνοι από τα πλοία για την κοινωνία, καθώς και στις τοπικές κοινότητες, οι οποίες μπορεί να επηρεαστούν από τις δραστηριότητες του πλοίου. Τα κοινωνικά κριτήρια αξιολόγησης των κινδύνων θα πρέπει να αντικατοπτρίζουν τη σημασία της δραστηριότητας για την κοινωνία.

Οι καμπύλες F-N μπορούν να καθιερωθούν ως ένας τρόπος για να απεικονίσουν το κοινωνικό ρίσκο. Μια καμπύλη F-N εμφανίζει το κοινωνικό ρίσκο σε ένα διάγραμμα $\log \log$, όπου ο αριθμός των θανατηφόρων ατυχημάτων (N) είναι στον x άξονα και η συχνότητα για N ή περισσότερους θανάτους δίνεται στον y άξονα.

Η μέθοδος για την εξαγωγή των κοινωνικών κριτηρίων αξιολόγησης των κινδύνων στην παρούσα έκθεση, βασίζεται στην IMO, Formal Safety Assessment, Decision parameters including risk acceptance criteria, MSC 72/16

Το επίπεδο κινδύνου ορίζεται από την ακόλουθη έκφραση που είναι κοινώς αποδεκτή από διάφορες πλευρές:

$$F_1 = \frac{r \cdot EV}{\sum_{N=1}^{N_u} \frac{1}{N}}$$

Όπου:

F_1 : είναι η συχνότητα των ατυχημάτων στα οποία υπάρχουν ένας ή περισσότεροι θάνατοι

N_u : είναι το ανώτατο όριο για τον αριθμό των θανάτων που μπορεί να συμβεί σε ένα ατύχημα

r : αριθμός θανάτων που οφείλονται σε μεταφορά δια της συνεισφοράς του ΑΕΠ στις μεταφορές. Αυτό μπορεί να υπολογιστεί ως $r = \text{θάνατοι} / \$ \text{ΑΕΠ}$.

EV: η οικονομική αξία του κλάδου. Στην περίπτωση αυτή, το EV εδώ αντιπροσωπεύεται ένα σκάφος αναφοράς και προέρχεται από τα έσοδα από τα ταξίδια κρουαζιέρας.

Ακόμα είναι όπως έχουμε δει: $PLL_A = r \cdot EV$

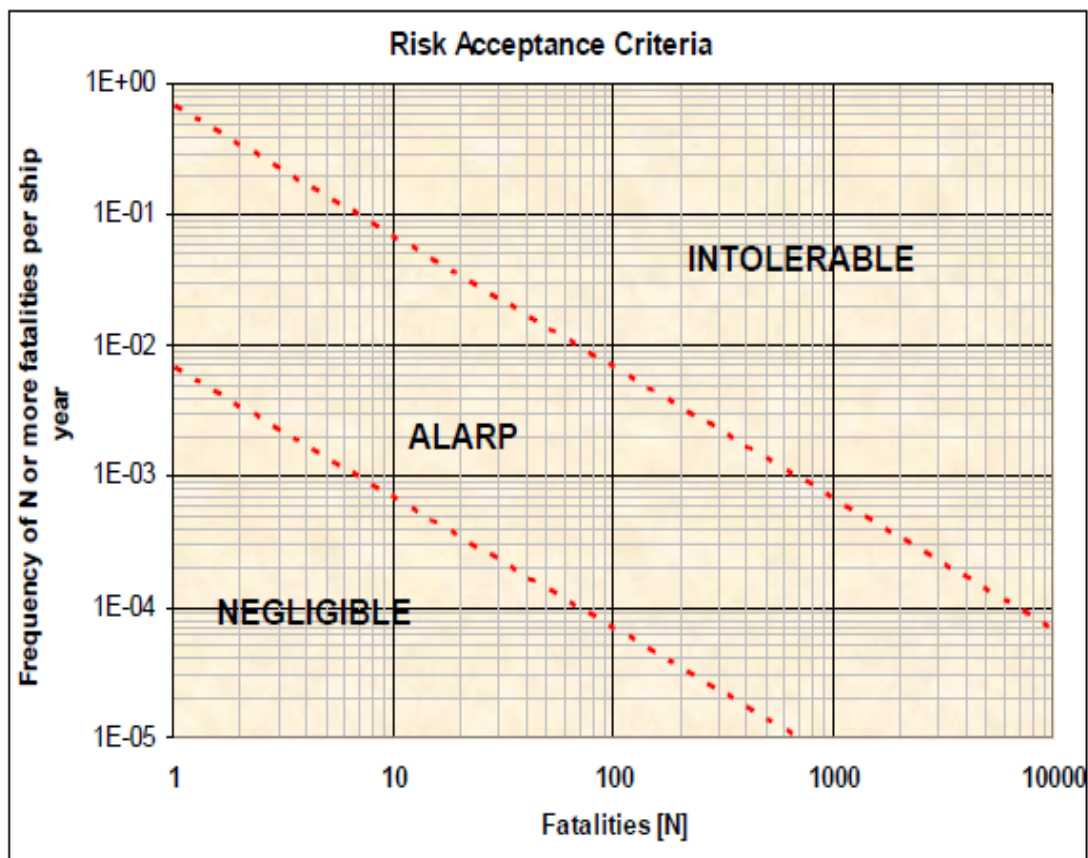
Μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε τα όρια της περιοχής ALARP.

r	Number of fatalities due to transportation divided by contribution to GNP by transportation. It can be calculated as $r = \text{fatalities} / \$ \text{GNP}$	4.8 fatalities / billion USD
EV	The economic value of the industry	128 mill.
PLL	Potential Loss of Life	0,611
1/N	Sum 1/N (4000 MAX)	8,871
F1	Tolerable one or more fat	0,068876113
F1upper		0,689
F1lower		0,00689

Πίνακας 36. Υπολογισμός άνω και κάτω όριου ALARP, για Cruise ships

Στο διάγραμμα F-N, η γραμμή των κριτηρίων αξιολόγησης του κοινωνικού ρίσκου, θα μειώνεται με κλίση -1 σε λογαριθμική κλίμακα. Μεταξύ της αμελητέας περιοχής ALARP και μη αποδεκτής περιοχής θα υπάρχει διαφορά, δύο τάξεων μεγέθους.

Το παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 50) δείχνει, ότι θα ήταν μη ανεκτό για την κοινωνία να έχει 10 και παραπάνω νεκρούς κάθε 10 χρόνια ή 100 και παραπάνω νεκρούς κάθε 100 χρόνια κ.ο.κ. Αυτό δεν σημαίνει ότι το ρίσκο κάτω από τη γραμμή των κριτηρίων είναι αποδεκτό. Το ρίσκο θα πρέπει να μειωθεί περαιτέρω όσο αυτό είναι εφικτό. Ωστόσο, το διάγραμμα αυτό, θέτει ένα ερώτημα σχετικά με τη θέση της γραμμής μεταξύ της μη αποδεκτής και ανεκτής περιοχής. [26] [60]



Σχήμα 49. Κοινωνικά κριτήρια αποδοχής ρίσκου για Cruise Ships

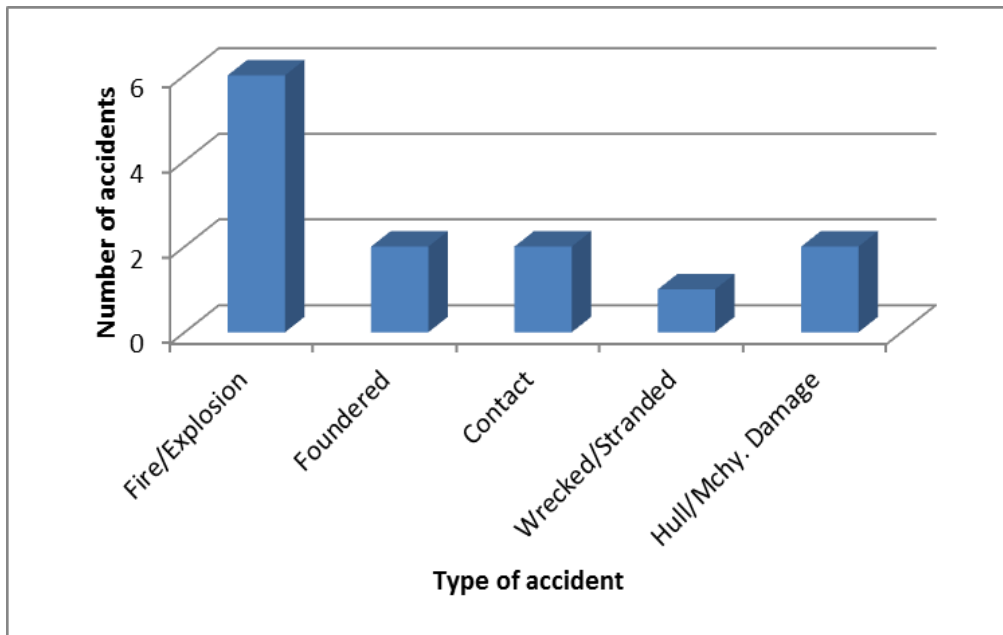
4.2.4. Μελέτη ατυχημάτων στα Cruise Ships

Ο πίνακας 37, περιέχει τα 13 θανατηφόρα ατυχήματα που έγιναν σε αυτήν την κατηγορία πλοίων, την περίοδο 1997-2012, όπως αυτά προέκυψαν από τη βάση δεδομένων της seaweb.

Από τον παραπάνω πίνακα, για κάθε τύπο ατυχήματος, μπορούμε να δούμε πόσα θανατηφόρα ατυχήματα συνέβησαν. Όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί (σχήμα 41), τα περισσότερα θανατηφόρα ατυχήματα οφείλονται σε πυρκαγιές ή έκρηξη.

Ship_Name	Casualty_Date	Casualty_Type	Date_of_Build	Killed
ASTORIA	5/4/2007	Hull/Mchy. Damage	1981-12	1
COSTA CONCORDIA	13/1/2012	Contact	2006-06	32
COSTA EUROPA	26/2/2010	Contact	1986-05	3
SEA DIAMOND	5/4/2007	Wrecked/Stranded	1986-04	2
VISTAFJORD	6/4/1997	Fire/Explosion	1973-05	1
SUPERSTAR GEMINI	28/2/1997	Fire/Explosion	1992-07	1
TERRA AUSTRALIS	28/4/2002	Fire/Explosion	1984-07	1
STAR PRINCESS	23/3/2006	Fire/Explosion	2002-01	1
PAMYAT MERKURIYA	26/1/2001	Foundered	1965-00	19
NORWAY	28/5/1999	Fire/Explosion	1961-00	8
NORWAY	25/5/2003	Fire/Explosion	1961-00	8
LOUIS MAJESTY	3/3/2010	Hull/Mchy. Damage	1992-07	2
FANTOME	30/10/1998	Foundered	1927-04	31

Πίνακας 37. Θανατηφόρα περιστατικά σε Cruise Ships (1997-2012)



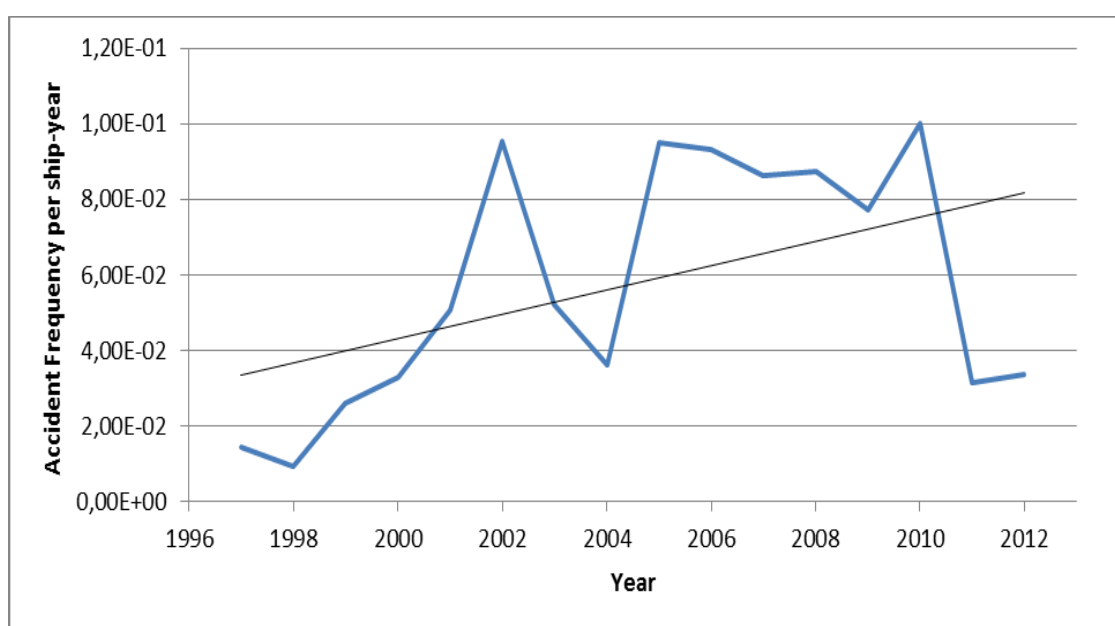
Σχήμα 50. Αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων για κάθε τύπο ατυχήματος στα Ro-Pax (1997-2012)

Προκειμένου να καθοριστούν οι συχνότητες των ατυχημάτων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν δέντρα σφαλμάτων. Ένα δέντρο σφαλμάτων, παρέχει ένα δομημένο σύστημα για να διαμορφώσει μια εικόνα ως προς τη συχνότητα των ατυχημάτων από ένα σύνολο έναρξη βλαβών. Παρόλα αυτά, οι συχνότητες των ατυχημάτων εδώ θα προσδιοριστούν με τη χρήση του ιστορικού ατυχημάτων.

Ο θεμελιώδης τρόπος για τον υπολογισμό των συχνοτήτων των ατυχημάτων είναι η κατανομή του αριθμού των καταγεγραμμένων ατυχημάτων σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα από την αντίστοιχη έκθεση, για την εν λόγω περίοδο. Τη λίστα με τα ατυχήματα στα cruise ships, την πήραμε από τη βάση δεδομένων της seaweb.

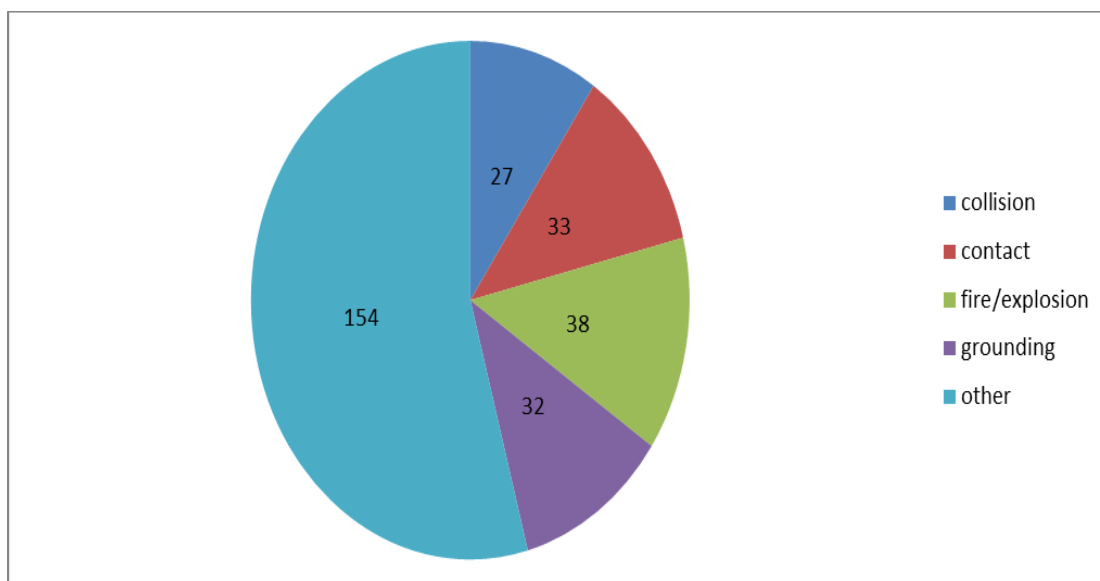
Έτος	Ατυχήματα	Ship*Years	Συχνότητα (Ατυχήματα/Ship*Years)
1997	3	209	1,44E-02
1998	2	217	9,22E-03
1999	6	230	2,61E-02
2000	8	242	3,31E-02
2001	13	256	5,08E-02
2002	26	273	9,52E-02
2003	15	288	5,21E-02
2004	11	305	3,61E-02
2005	30	316	9,49E-02
2006	30	322	9,32E-02
2007	28	324	8,64E-02
2008	29	332	8,73E-02
2009	26	337	7,72E-02
2010	34	340	1,00E-01
2011	11	350	3,14E-02
2012	12	356	3,37E-02
Σύνολο	284	4697	6,05E-02

Πίνακας 38. Συχνότητα ατυχημάτων σε cruise ships (1997-2012)



Σχήμα 51. Συχνότητα ατυχημάτων στα cruise ships και τάση (1997-2012)

Στο σχήμα που ακολουθεί, φαίνεται η κατανομή των ατυχημάτων σε κρουαζιερόπλοια, ανά τύπο ατυχήματος.



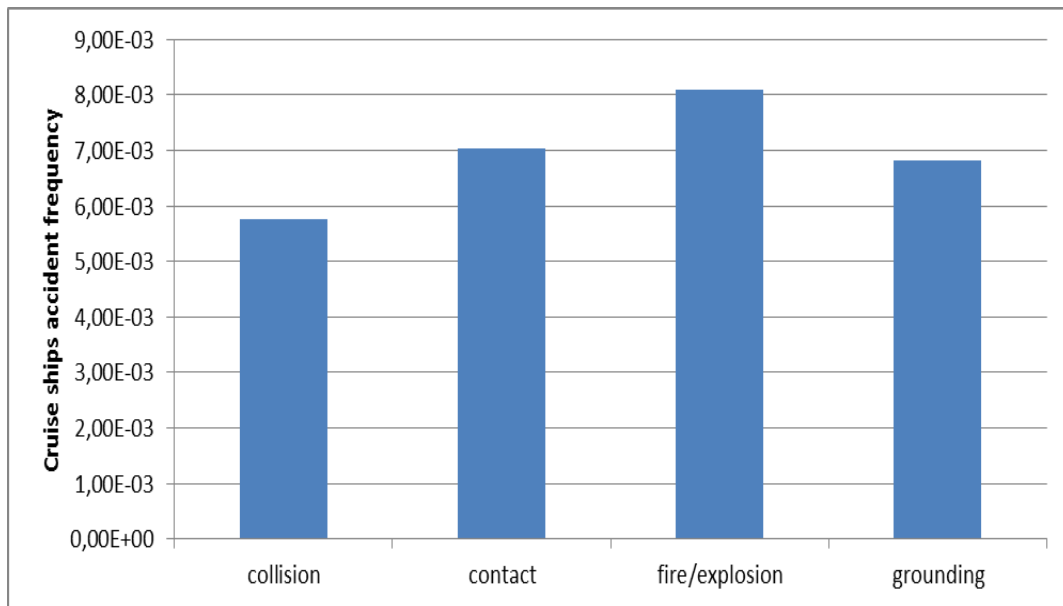
Σχήμα 52. Ατυχήματα στα cruise ships, ανά τύπο ατυχήματος (1997-2012)

Μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε τις συχνότητες ατυχημάτων ανά τύπο ατυχήματος.

	collision	contact	fire/explosion	grounding	other	Σύνολο
Ατυχήματα (1997-2012)	27	33	38	32	154	284
ship years (1997-2012)	4697	4697	4697	4697	4697	4697
Συχνότητα ατυχημάτων σε Cruise ships [per ship year]	5,75E-03	7,03E-03	8,09E-03	6,81E-03	3,28E-02	6,05E-02

Πίνακας 39. Συχνότητες ατυχημάτων σε cruise ships, ανά τύπο ατυχήματος

Και από τον πίνακα 39 και το σχήμα 54, προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα περισσότερα ατυχήματα σε κρουαζιερόπλοια, οφείλονται σε πυρκαγιά ή έκρηξη που προκαλείται. Πολλές φορές, τα περιστατικά δεν αναφέρονται καθώς αντιμετωπίζονται έγκαιρα. Σε αυτό εν μέρει οφείλονται και οι χαμηλές συχνότητες που παρατηρούμε.



Σχήμα 53. Συχνότητες ατυχημάτων σε cruise ships, ανά τύπο ατυχήματος

4.2.5. Ανάπτυξη δένδρων γεγονότων (Event Trees)

Ένα ατύχημα μπορεί να αναπτυχθεί με διαφορετικούς τρόπους και να προκύπτουν διαφορετικές συνέπειες. Τα σενάρια πιθανών εξελίξεων του ατυχήματος, μοντελοποιούνται με τη χρήση των δέντρων γεγονότων. Κάθε ‘κλαδί’ στο δένδρο αντιπροσωπεύει μια πιθανή εξέλιξη του ατυχήματος. Σε κάθε εξέλιξη, αποδίδεται αναμενόμενος αριθμός των θανάτων.

Ένα δέντρο γεγονότων, ξεκινά με ένα αρχικό συμβάν, για παράδειγμα μια σύγκρουση. Πολλοί παράγοντες θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ανάπτυξη του, σε διαφορετικά τελικά σενάρια. Η τελική έκβαση σε κάθε ‘κλαδί’ του δένδρου συμβολίζει ένα διαφορετικό σενάριο που έχει αξιολογηθεί ξεχωριστά, σε σχέση με ένα αναμενόμενο αριθμό των θανάτων για τους επιβάτες και το πλήρωμα του σκάφους. Δεδομένου ότι η μελέτη έχει στόχο να καθιερώσει το συνολικό επίπεδο κινδύνου για τα κρουαζιερόπλοια, η δομή του δένδρου γεγονότων διατηρείται σε υψηλό επίπεδο, ώστε να καταστεί η μελέτη διαχειρίσιμη.

Ο αναμενόμενος αριθμός των θανάτων που διαμορφώθηκε στα ακόλουθα δέντρα είναι αντιπροσωπευτικά για ένα κρουαζιερόπλοιο 110,000 GRT.

Για κάθε ‘κλαδί’, υπολογίζεται η πιθανότητα εμφάνισης του συγκεκριμένου αποτελέσματος. Οι πιθανότητες καθορίζονται με βάση τις συχνότητες εισόδου στο δένδρο συν τις διάφορες πιθανότητες κατά μήκος των κλάδων που οδηγούν στο αποτέλεσμα. [60]

4.2.6. Χάραξη καμπύλων F-N και περιοχής ALARP, για τα Cruise Ships (1997-2012)

Σε αυτό το σημείο είμαστε έτοιμοι με όσα προείπαμε, να κατασκευάσουμε τις καμπύλες F-N και τα όρια της ALARP για τα cruise ships την περίοδο 1997-2012. Σε αντίθεση με τα Ro-Pax, σε αυτήν την κατηγορία πλοίων, θα κατασκευάσουμε τις καμπύλες F-N πρώτα για κάθε τύπο ατυχήματος, και μετά συνολικά.

4.2.6.1. Χάραξη καμπύλων F-N και περιοχής ALARP, για τα Cruise ships (1997-2012), ανά κατηγορία ατυχήματος

Θα μελετήσουμε τις καμπύλες F-N και τα όρια της περιοχής της ALARP, ανά κατηγορία ατυχήματος. Θα σταθούμε σε τέσσερις σημαντικές κατηγορίες, στις οποίες οφείλονται τα περισσότερα θανατηφόρα ατυχήματα στα κρουαζιερόπλοια καθώς για αυτές έχουμε επαρκή στοιχεία για τη χάραξη των F-N. Οι κατηγορίες ατυχημάτων, όπως έχουμε προαναφέρει είναι α) collision β) contact γ) grounding δ) fire/explosion.

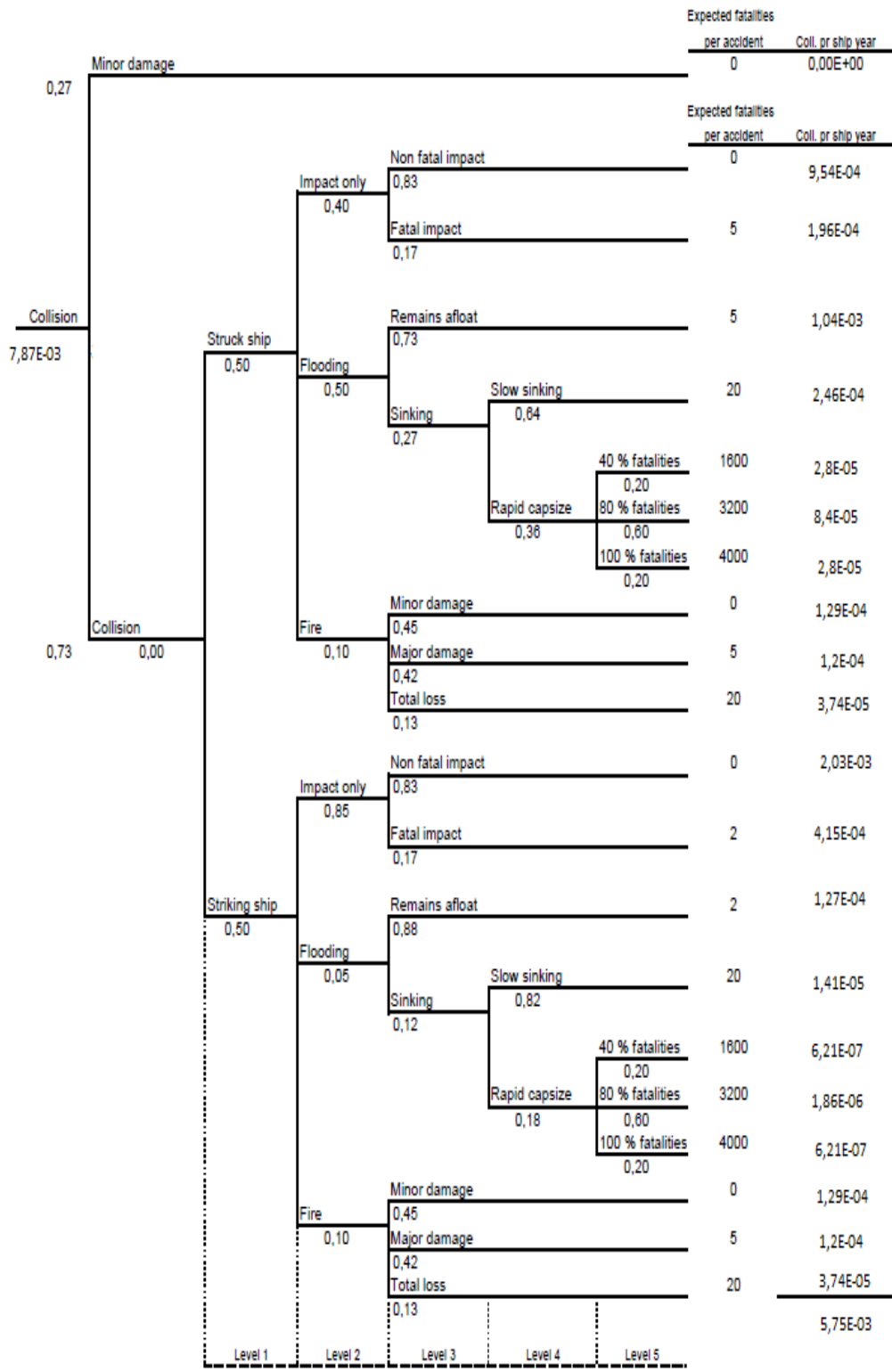
4.2.6.1.1. Collision (Σύγκρουση)

Στην παράγραφο 4.2.4. είδαμε πως η συχνότητα ατυχήματος σε περίπτωση σύγκρουσης είναι 0,00575. Με βάση αυτήν την τιμή, έχουμε το παρακάτω δένδρο γεγονότων (σχήμα 55).

Από τα αποτελέσματα που μας έδωσε το δένδρο γεγονότων για την περίπτωση της σύγκρουσης, μπορούμε να υπολογίσουμε τις συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες. Έτσι κατασκευάζεται ο παρακάτω πίνακας.

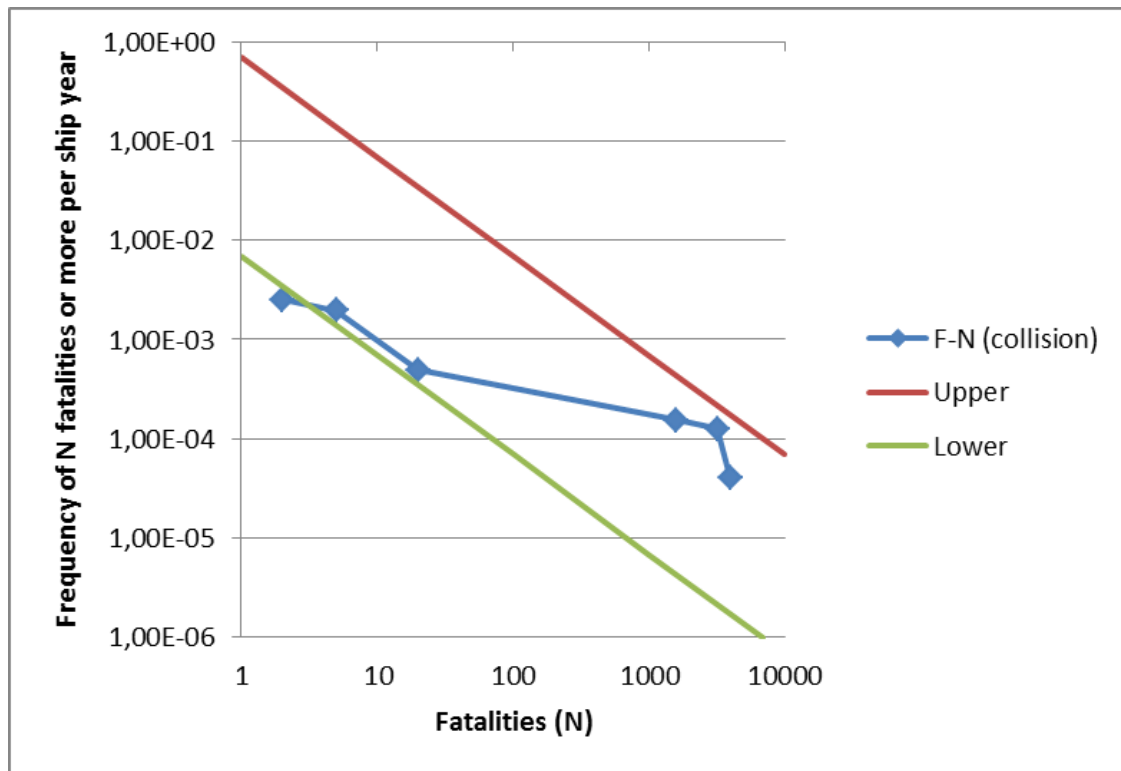
Θάνατοι ανά ατύχημα	Θάνατοι ανά ship year	Συχνότητα σύγκρουσης (collision) ανά ship year	Αθροιστική συχνότητα ανά ship year
0	0,00E+00	3,24E-03	5,74E-03
2	1,08E-03	5,42E-04	2,50E-03
5	7,38E-03	1,48E-03	1,95E-03
20	6,70E-03	3,35E-04	4,78E-04
100			
300			
1600	4,58E-02	2,86E-05	1,43E-04
3200	2,75E-01	8,59E-05	1,14E-04
4000	1,14E-01	2,86E-05	2,86E-05

Πίνακας 40. Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, για την περίπτωση σύγκρουσης (collision)



Σχήμα 54. Δένδρο γεγονότων για σύγκρουση (collision)

Από τον πίνακα αυτόν και με βάση όσα περιγράψαμε στην παράγραφο 4.2.3. για τα κριτήρια αποδοχής ρίσκου στα cruise ships, προκύπτει η καμπύλη F-N.



Σχήμα 55. Καμπύλη F-N για cruise ships (collision)

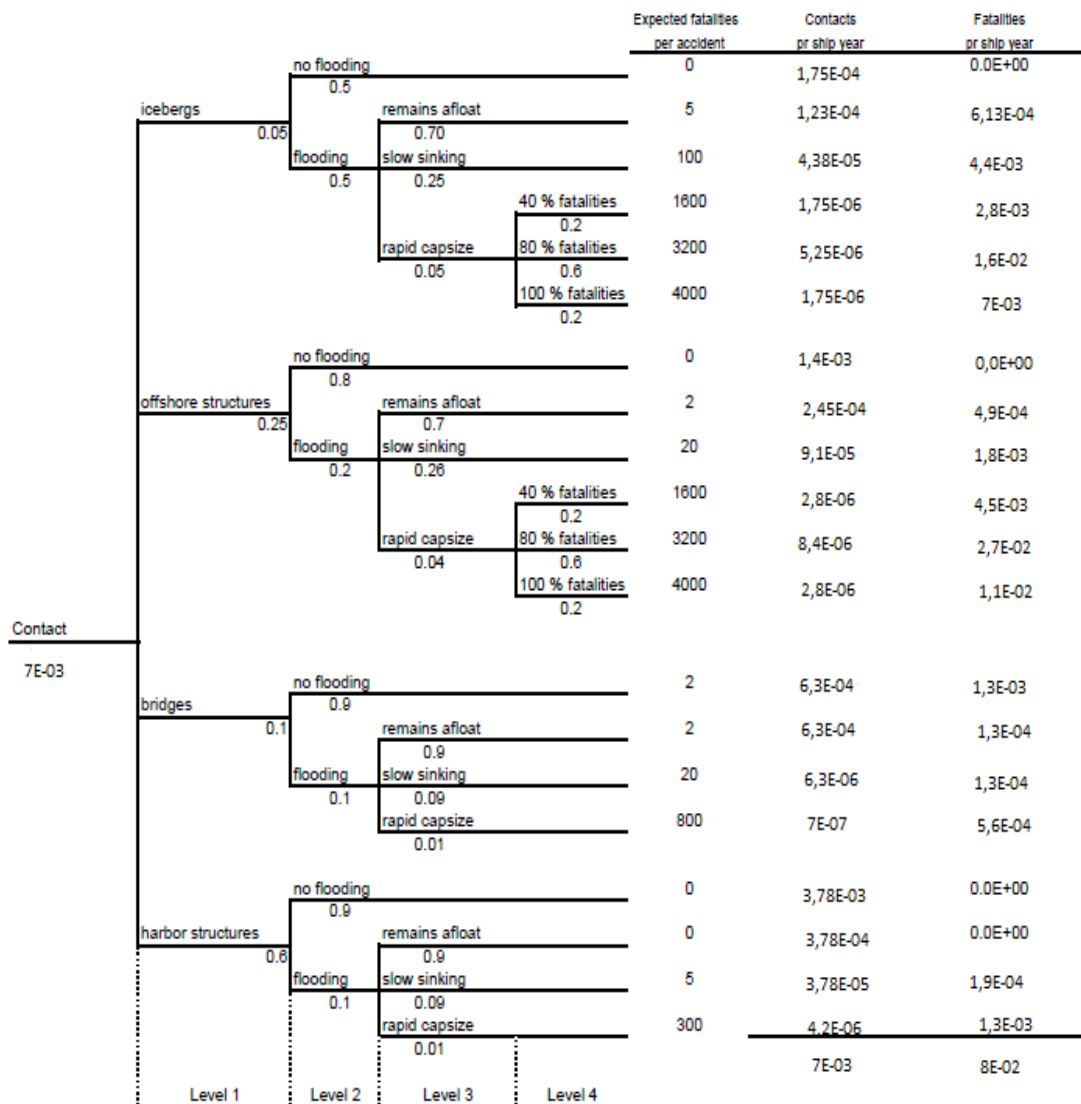
4.2.6.1.2. Contact (Επαφή)

Στην παράγραφο 4.2.4. είδαμε πως η συχνότητα ατυχήματος σε περίπτωση επαφής με εξωτερικό αντικείμενο (εκτός από άλλα πλοία ή τον πυθμένα της θάλασσας), είναι 0,007. Με βάση αυτήν την τιμή, έχουμε το παρακάτω δένδρο γεγονότων (σχήμα 57).

Από τα αποτελέσματα που μας έδωσε το δένδρο γεγονότων για την περίπτωση της επαφής, μπορούμε να υπολογίσουμε τις συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες. Έτσι κατασκευάζεται ο παρακάτω πίνακας.

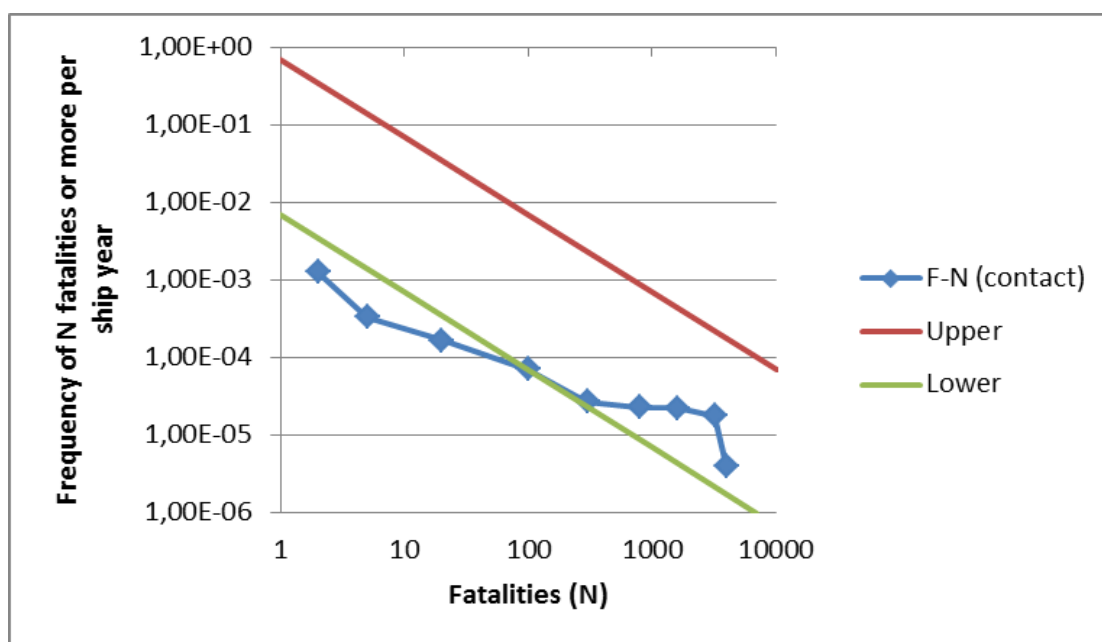
Θάνατοι ανά ατύχημα	Θάνατοι ανά ship year	Συχνότητα επαφής (contact) ανά ship year	Αθροιστική συχνότητα ανά ship year
0	0,00E+00	5,73E-03	7,00E-03
2	1,88E-03	9,38E-04	1,27E-03
5	8,04E-04	1,61E-04	3,29E-04
20	1,95E-03	9,73E-05	1,68E-04
100	4,38E-03	4,38E-05	7,09E-05
300	1,26E-03	4,20E-06	2,71E-05
800	5,60E-04	7,00E-07	2,29E-05
1600	7,28E-03	4,55E-06	2,22E-05
3200	4,37E-02	1,37E-05	1,76E-05
4000	1,82E-02	4,55E-06	4,00E-06

Πίνακας 41. Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, για την περίπτωση επαφής (contact)



Σχήμα 56. Δένδρο γεγονότων για επαφή πλοίου με αντικείμενο (contact)

Τώρα μπορούμε να κατασκευάσουμε την καμπύλη F-N:



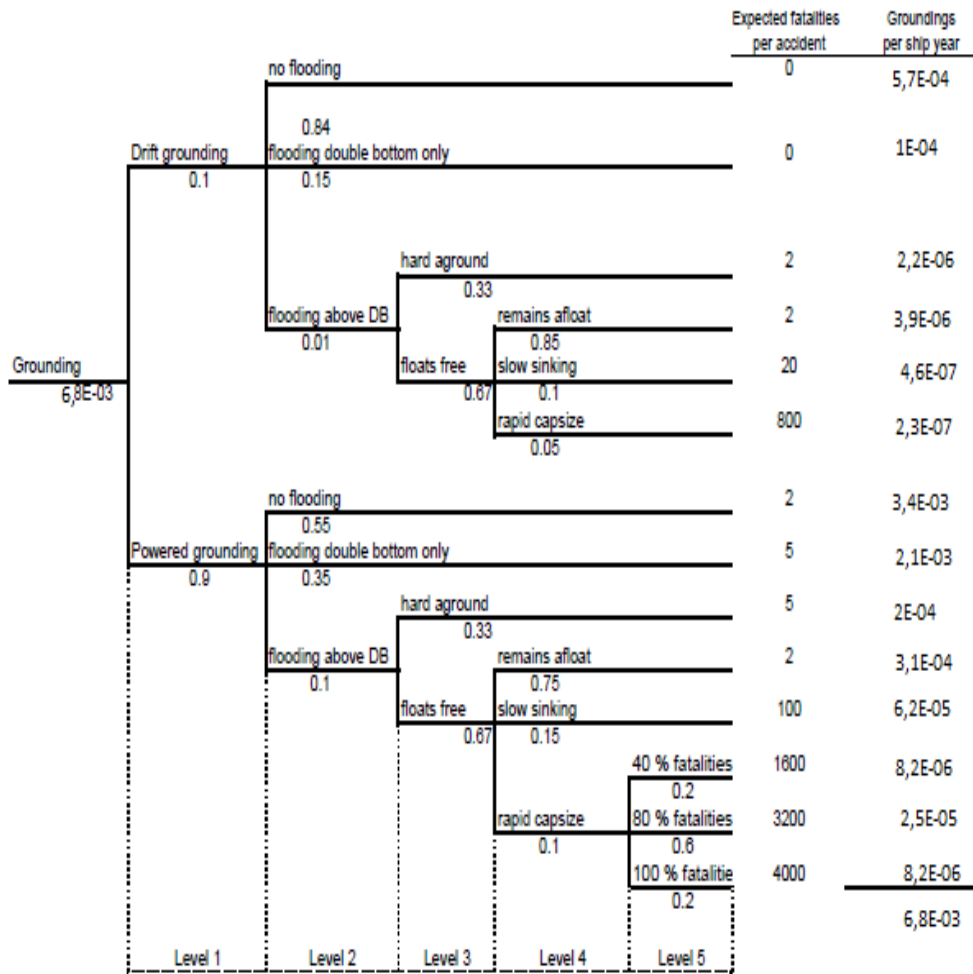
Σχήμα 57. Καμπύλη F-N για cruise ships (contact)

4.2.6.1.3. Grounding (Προσάραξη)

Ομοίως με τα προηγούμενα, έχουμε το δένδρο γεγονότων (σχήμα 59), και τον πίνακα 42, για την περίπτωση της προσάραξης:

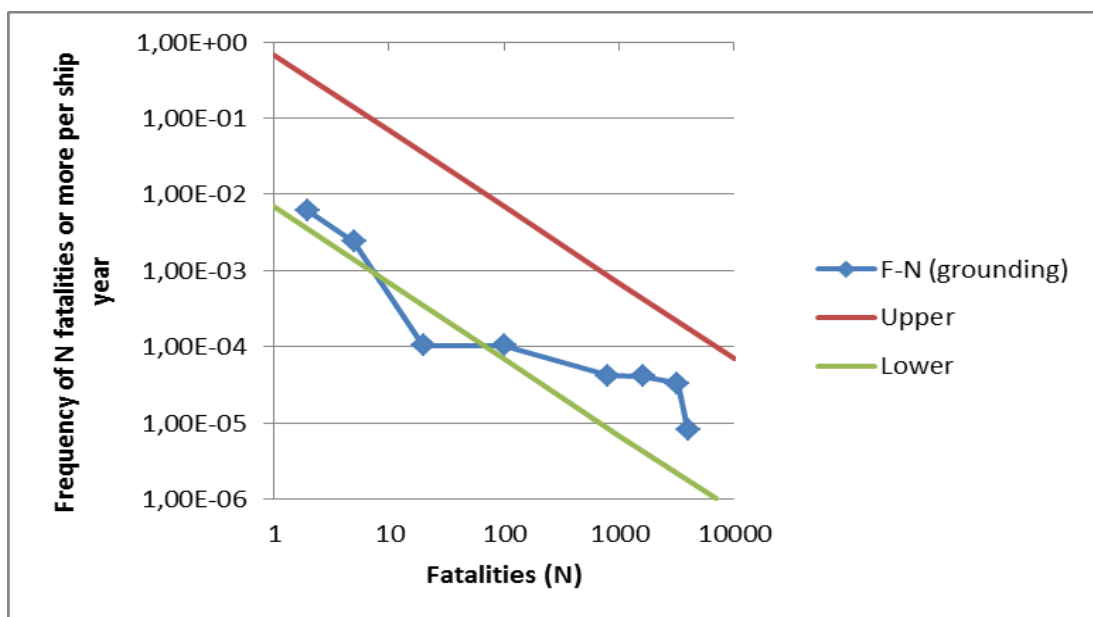
Θάνατοι ανά ατύχημα	Θάνατοι ανά ship year	Συχνότητα προσάραξης (grounding) ανά ship year	Αθροιστική συχνότητα ανά ship year
0	0,00E+00	6,70E-04	6,79E-03
2	7,43E-03	3,72E-03	6,12E-03
5	1,15E-02	2,30E-03	2,40E-03
20	9,20E-06	4,60E-07	1,04E-04
100	6,20E-03	6,20E-05	1,03E-04
800	1,84E-04	2,30E-07	4,14E-05
1600	1,31E-02	8,20E-06	4,12E-05
3200	8,00E-02	2,50E-05	3,30E-05
4000	3,28E-02	8,20E-06	8,20E-06

Πίνακας 42. Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, για την προσάραξη (grounding)



Σχήμα 58. Δένδρο γεγονότων για προσάραξη (grounding)

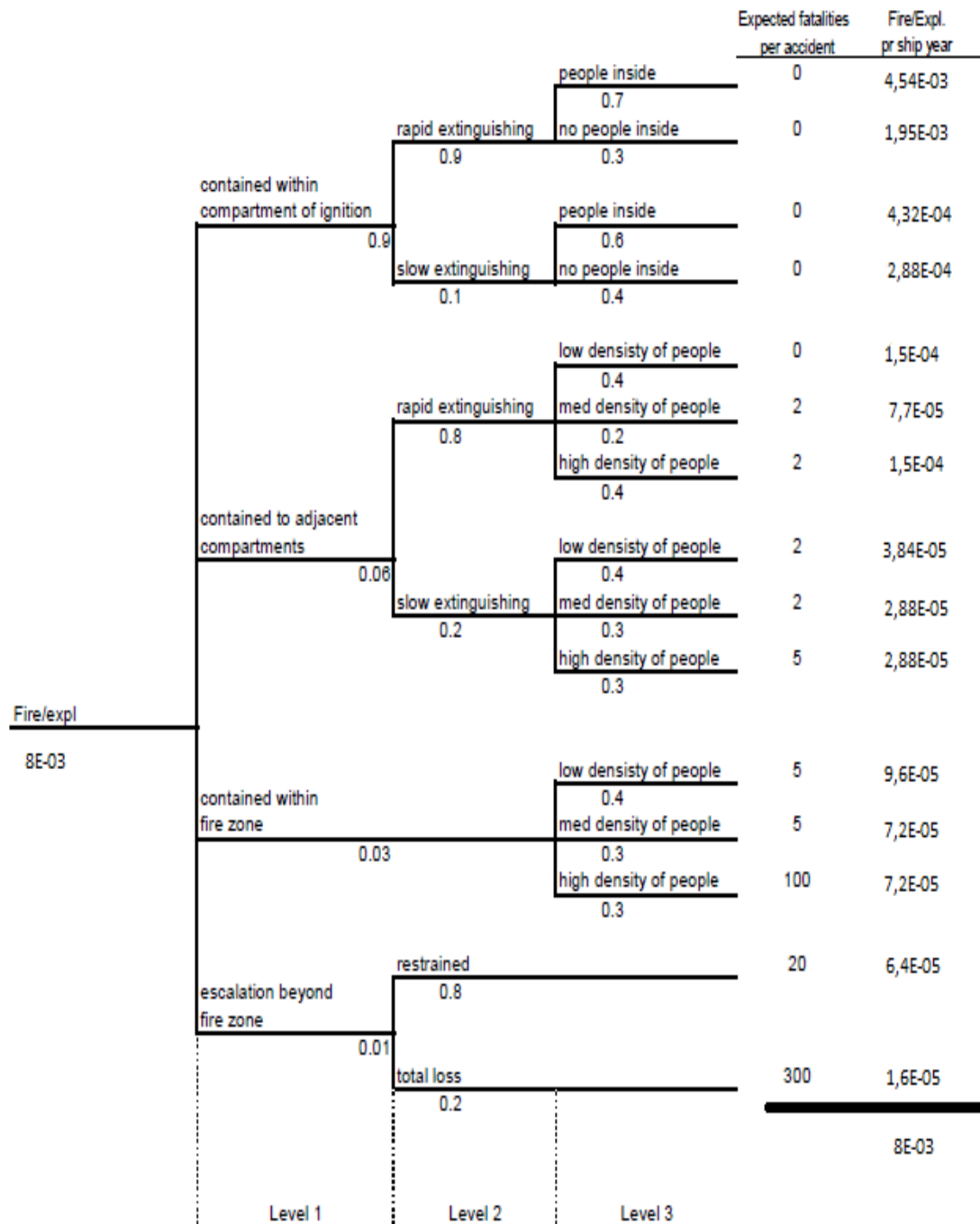
Οι καμπύλες F-N και τα όρια της ALARP, φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 59. Καμπύλη F-N για cruise ships (grounding)

4.2.6.1.4. Fire/Explosion (Πυρκαγιά/Περίπτωση έκρηξης)

Σε αυτόν τον τύπο ατυχήματος, το δένδρο γεγονότων έχει την εξής μορφή.

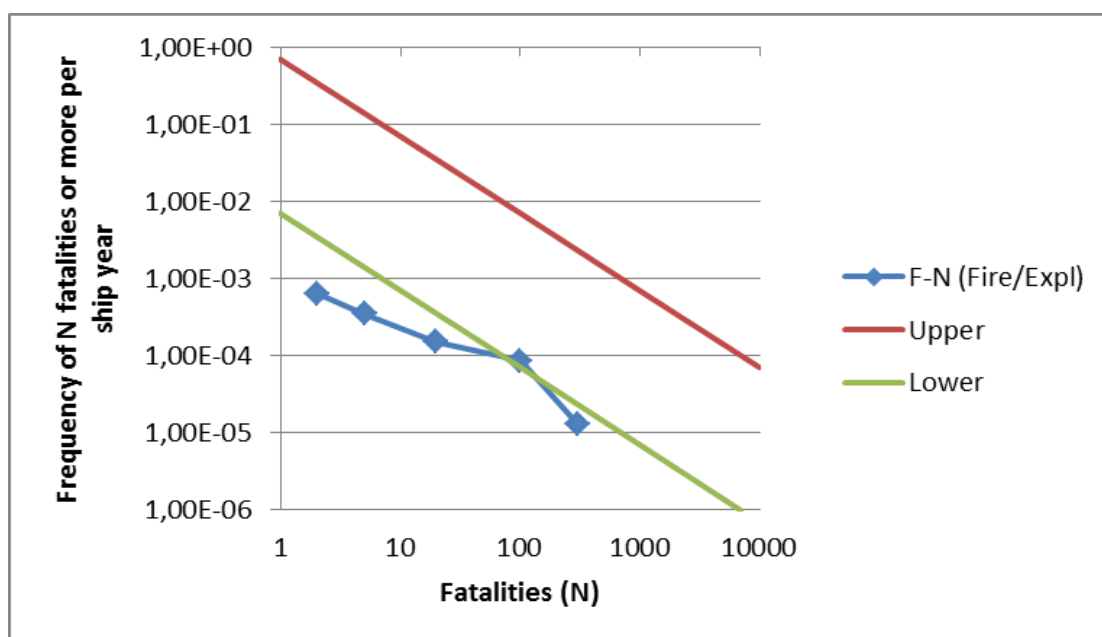


Σχήμα 60. Δένδρο γεγονότων για πυρκαγιά/έκρηξη (fire/explosion)

Και με τον ίδιο τρόπο, προκύπτει και ο πίνακας συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων.

Θάνατοι ανά ατύχημα	Θάνατοι ανά ship year	Συχνότητα φωτιάς/έκρηξης (fire/explosion) ανά ship year	Αθροιστική συχνότητα ανά ship year
0	0,00E+00	7,36E-03	8,00E-03
2	5,88E-04	2,94E-04	6,43E-04
5	9,84E-04	1,97E-04	3,49E-04
20	1,28E-03	6,40E-05	1,52E-04
100	7,20E-03	7,20E-05	8,80E-05
300	4,80E-03	1,60E-05	1,60E-05
800	-	-	-
1600	-	-	-
3200	-	-	-
4000	-	-	-

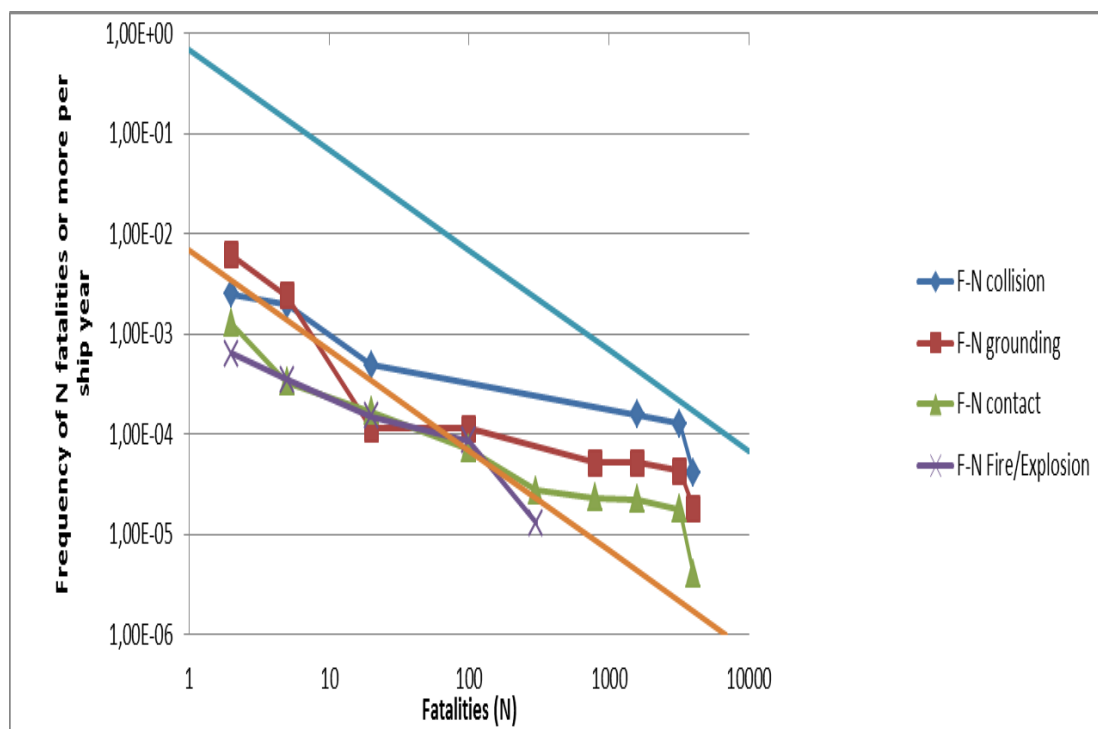
Πίνακας 43. Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, για πυρκαγιά/έκρηξη (fire/explosion)



Σχήμα 61. Καμπύλη F-N για cruise ships (fire/explosion)

4.2.6.1.5. Συγκεντρωτικό σχήμα διαγράμματος F-N, για όλους τους τύπους ατυχήματος.

Με όλα αυτά που έχουμε υπολογίσει στις προηγούμενες παραγράφους, μπορούμε να κατασκευάσουμε ένα συνολικό και συγκεντρωτικό σχήμα, με όλες τις καμπύλες F-N, για κάθε τύπο ατυχήματος.



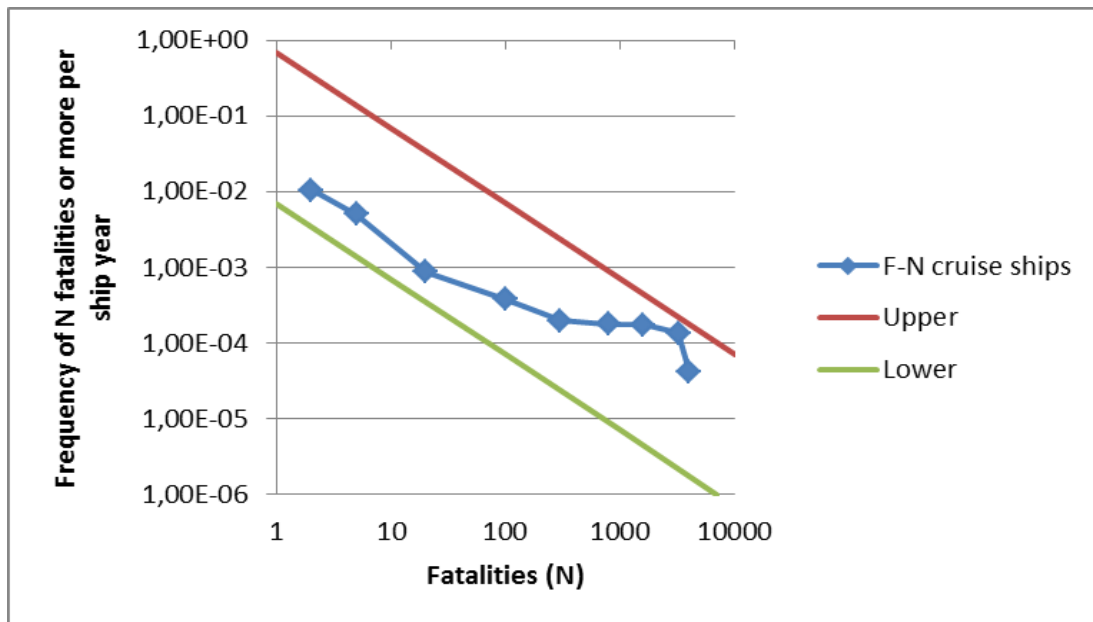
Σχήμα 62. Συγκεντρωτικό σχήμα καμπύλων F-N για κάθε τύπο ατυχήματος.

4.2.6.2. Χάραξη καμπύλης F-N και περιοχής ALARP, για τα Cruise ships (1997-2012)

Με όλα τα στοιχεία που υπολογίσαμε πριν, για κάθε τύπο ατυχήματος, μπορούμε πλέον να φτιάξουμε την καμπύλη F-N και τα όρια της ALARP συνολικά για τα Cruise ships, την περίοδο που μελετάμε (1997-2012). Τα στοιχεία που χρειάζονται προκύπτουν από το άθροισμα των δεδομένων για κάθε τύπο ατυχήματος. Έτσι προκύπτει ο συνολικός πίνακας για τα cruise ships. Η καμπύλη μας, σχεδόν συμπίπτει με την F-N της περιόδου 1990-2004, όπως υπολογίστηκε στην FSA. [60]

Θάνατοι ανά ατύχημα	Θάνατοι ανά ship year	Συνολική συχνότητα ατυχήματος ανά ship year	Αθροιστική συχνότητα ανά ship year
0	0,00E+00	1,70E-02	2,75E-02
2	1,10E-02	5,49E-03	1,05E-02
5	2,07E-02	4,13E-03	5,04E-03
20	9,93E-03	4,97E-04	9,03E-04
100	1,78E-02	1,78E-04	4,06E-04
300	6,06E-03	2,02E-05	2,28E-04
800	7,44E-04	9,30E-07	2,08E-04
1600	6,62E-02	4,14E-05	2,07E-04
3200	3,98E-01	1,25E-04	1,66E-04
4000	1,65E-01	4,14E-05	4,13E-05

Πίνακας 44. Συνολικές συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για τα cruise ships



Σχήμα 63. Καμπύλες F-N για τα cruise ships (1997-2012)

4.2.6.3. Χάραξη καμπύλης F-N και περιοχής ALARP, για τα Cruise ships (1997-2012), ανά χρονική περίοδο.

Σε αυτό το σημείο της εργασίας, θα χωρίσουμε την περίοδο που μελετάμε σε δύο χρονικά διαστήματα και θα σχεδιάσουμε τις καμπύλες F-N για κάθε ένα από αυτά. Τα δύο αυτά διαστήματα είναι η περίοδος από το 1997 ως το 2004 και αυτή από το 2005 ως το 2012.

Χωρίζοντας τα ατυχήματα σε αυτές τις δύο περιόδους, έχουμε τον πίνακα:

accident type	1997-2004	2005-2012	Sum
collision	7	20	27
contact	7	26	33
fire/explosion	19	19	38
grounding	12	20	32
other	39	115	154
sum	84	200	284

Πίνακας 45. Αριθμός ατυχημάτων ανά χρονική περίοδο και τύπο ατυχήματος.

Ακόμα, υπολογίζουμε τις συχνότητες ατυχημάτων για τις 2 αυτές περιόδους, οι οποίες φαίνονται στον πίνακα 46.

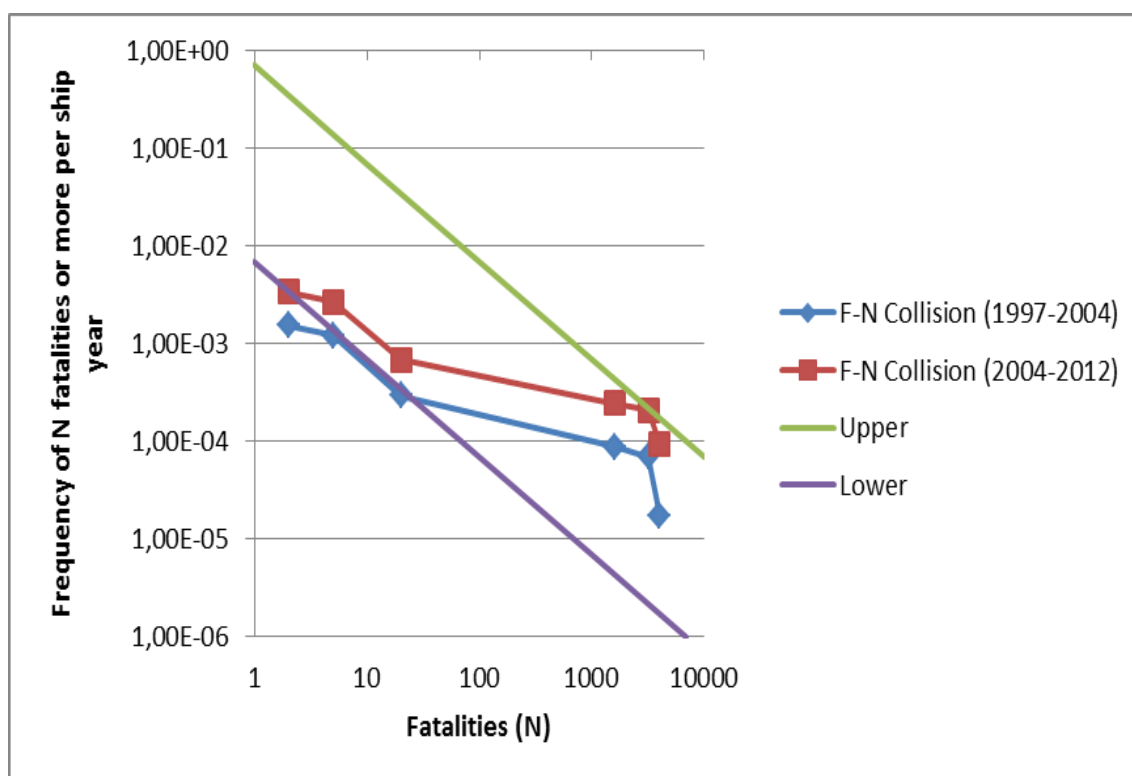
Η μέθοδος έχει παρουσιαστεί αναλυτικά σε προηγούμενα κεφάλαια, οπότε ακολουθούν τα σχήματα με τις καμπύλες F-N για κάθε τύπο ατυχήματος. Οι πίνακες υπολογισμού συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων βρίσκονται στο παράρτημα 2.

Για να κατασκευαστούν, χρησιμοποιήσαμε τα δένδρα γεγονότων που επεξηγήσαμε πριν, ανάλογα με τον τύπο ατυχήματος.

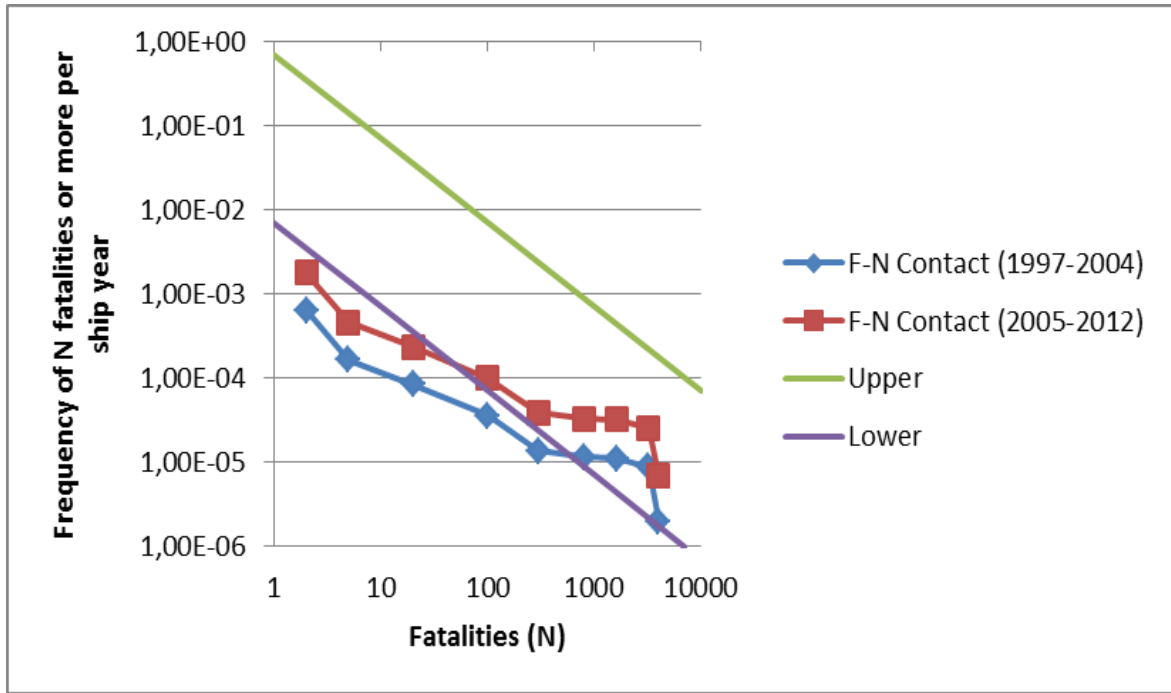
	collision	contact	fire/explosion	grounding	other	sum
Ατυχήματα (1997-2004)	7	7	19	12	39	84
ship years (1997-2004)	2020	2020	2020	2020	2020	2020
Συχνότητα ατυχημάτων σε Cruise ship [per ship year]	0,003465	0,003465	0,009405941	0,005941	0,019307	0,041584

	collision	contact	fire/explosion	grounding	other	sum
Ατυχήματα (2005-2012)	20	26	19	20	115	200
ship years (2005-2012)	2677	2677	2677	2677	2677	2677
Συχνότητα ατυχημάτων σε Cruise ship [per ship year]	0,007471	0,009712	0,007097497	0,007471	0,042959	0,07471

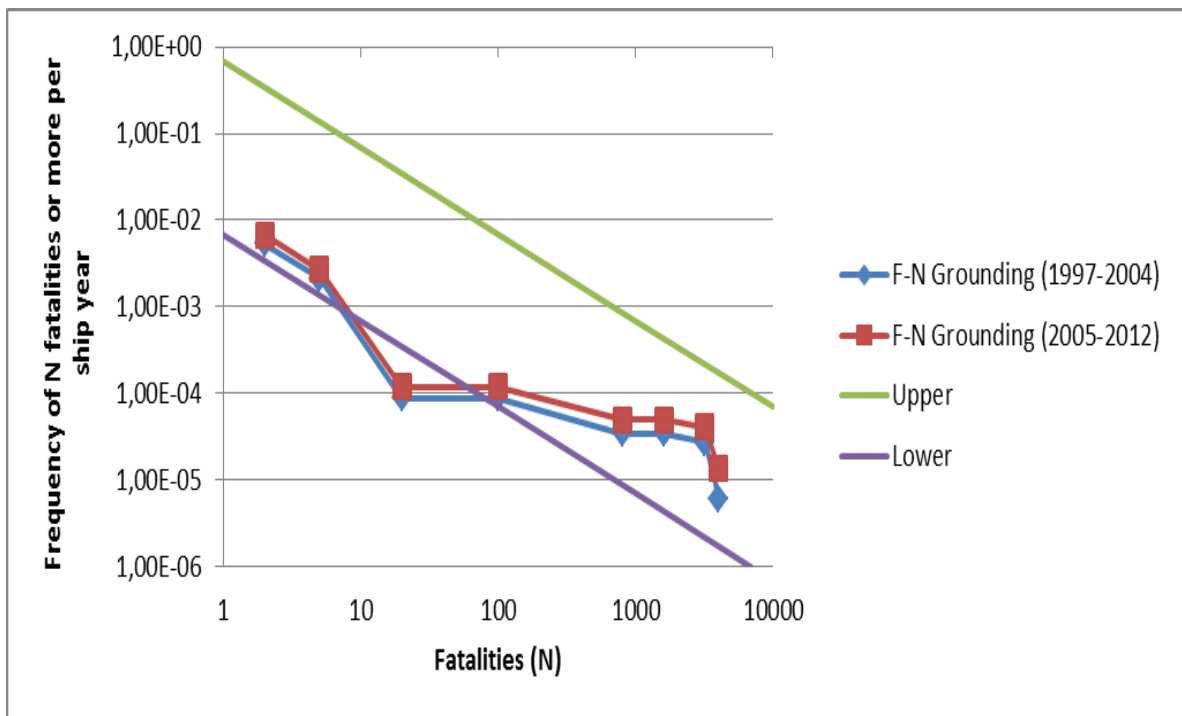
Πίνακας 46. Συχνότητα ατυχημάτων σε cruise ships, ανά χρονική περίοδο



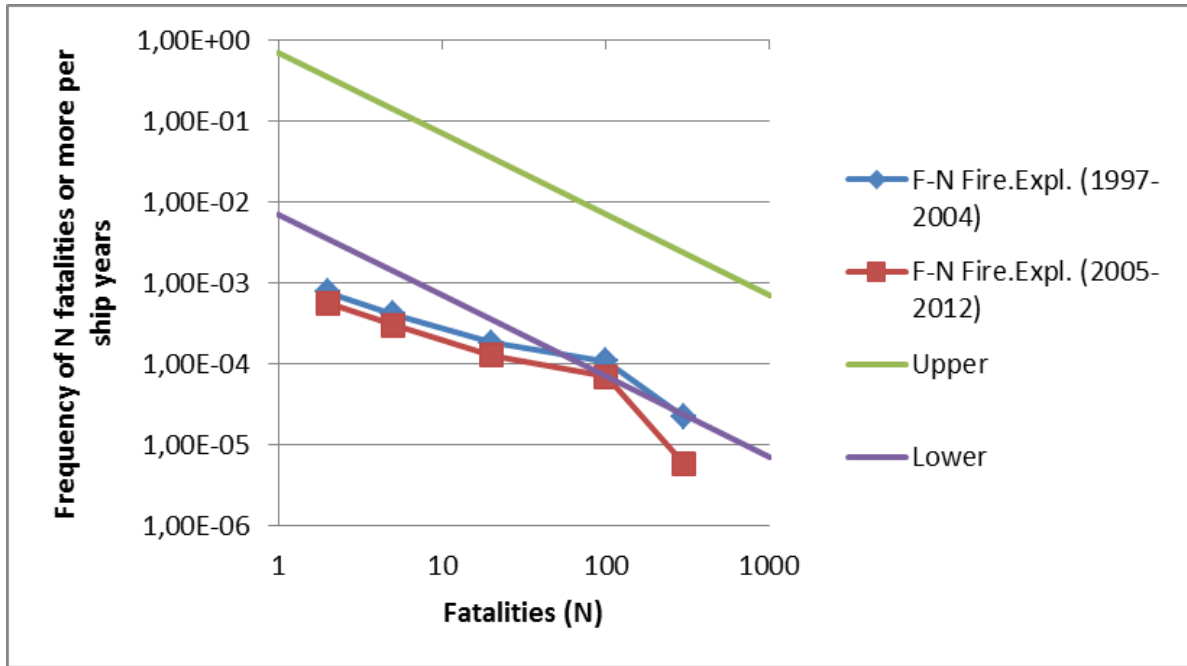
Σχήμα 64. Καμπύλες F-N για cruise ships, ανά χρονική περίοδο (collision)



Σχήμα 65. Καμπύλες F-N για cruise ships, ανά χρονική περίοδο (contact)



Σχήμα 66. Καμπύλες F-N για cruise ships, ανά χρονική περίοδο (grounding)



Σχήμα 67. Καμπύλες F-N για cruise ships, ανά χρονική περίοδο (fire/explosion)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή, κάναμε μια εισαγωγή στην εφαρμογή του ρίσκου στη ναυτιλία. Αναλύσαμε τα βήματα της διαδικασίας της FSA, που αποτελεί πολύτιμο εργαλείο στην αποτίμηση του ρίσκου, σε δραστηριότητες της ναυτιλίας. Το ρίσκο είδαμε πως μπορεί να εκτιμηθεί με δύο διαφορετικούς τρόπους, που αποτελούν στην ουσία «τις δύο διαφορετικές όψεις του ίδιου νομίσματος», κι έτσι, το χωρίζουμε σε ατομικό ρίσκο (Individual risk) & κοινωνικό ρίσκο (Societal risk). Το κοινωνικό ρίσκο, το οποίο προσπαθήσαμε εδώ να αποτιμήσουμε, αποτελεί μία μέση τιμή του ρίσκου στο οποίο εκτίθεται για μία ορισμένη χρονική περίοδο μία ομάδα ανθρώπων.

Αναφέραμε διάφορους τρόπους εκτίμησης του κοινωνικού ρίσκου, αλλά η παρούσα εργασία είχε ως στόχο τη μελέτη των καμπύλων F-N, οι οποίες εκφράζουν τη σχέση μεταξύ της αθροιστικής συχνότητας F των θανατηφόρων ατυχημάτων και του αριθμού N των θανάτων εργαζομένων ή επιβατών. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν κριτήρια/όρια για το κατά πόσο είναι αποδεκτό αυτό το ρίσκο (βάσει της λογικής «As Low As Reasonably Practicable» - ALARP). Στο χώρο της ναυτιλίας, δεν υπάρχουν γενικά αποδεκτά όρια αποδοχής του ρίσκου. Η πλέον αποδεκτή μέθοδος απ' τον IMO για τον καθορισμό κριτηρίων για το κοινωνικό ρίσκο είναι η αρχή του ALARP.

Έγινε εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου, σε δύο κατηγορίες πλοίων, κατηγορίες με μεγάλο ενδιαφέρον καθώς απασχολούν μεγάλους αριθμούς ανθρώπων είτε για μεταφορά, είτε για ταξίδια αναψυχής, τουρισμό κλπ. Μάλιστα εφαρμόσαμε διαφορετικές τακτικές κατασκευής των καμπύλων F-N στις κατηγορίες πλοίων που μελετήσαμε, καθώς ήταν διαφορετικά τα στοιχεία που είχαμε σε κάθε μία από αυτές.

Έτσι στα Ro-Pax χρησιμοποιήσαμε το ιστορικό των θανατηφόρων ατυχημάτων, ενώ στα κρουαζιερόπλοια σταθήκαμε σε διάφορα σενάρια που είχαμε, μέσω των δένδρων γεγονότων (event trees). Επίσης, η μελέτη των καμπύλων έγινε όχι μόνο συνολικά, αλλά και σε επί μέρους κατηγορίες, για να έχουμε μια πλήρη εικόνα. Η περίοδος που μελετήσαμε ήταν το χρονικό διάστημα από το 1997 ως και το 2012, ενώ πέρα από τις συνολικές καμπύλες F-N, χαράξαμε τις καμπύλες και ανά τύπο ατυχήματος, αλλά και σε χρονικές υποπεριόδους τους διαστήματος που αναφέραμε.

Παράλληλα, μελετήσαμε και διαφορετικές προσεγγίσεις στα μέτρα αποστροφής της κοινωνίας στον εκτειθέμενο κίνδυνο. Είδαμε στις καμπύλες F-N το ρόλο που «παίζει» η κλίση b των ορίων, και δοκιμάσαμε διάφορες κλίσεις (χαρακτηριστικές

της αποστροφής της κοινωνίας) για τις συγκεκριμένες κατηγορίες πλοίων. Η διαφοροποίηση μεταξύ αυτών των προσεγγίσεων έχει να κάνει κυρίως με την στάση του νομοθέτη απέναντι στην ποιότητα των ατυχημάτων και αντανακλά την αυστηρότητα που διατίθεται να επιδείξει απέναντι σε ατυχήματα με μεγάλους αριθμούς νεκρών. Την στάση αυτή χαρακτηρίζουμε ως αποστροφή προς το ρίσκο (risk aversion), ή ορθότερα αποστροφή προς πολύνεκρα ατυχήματα (disaster aversion).

Όρια με μεγάλες κλίσεις θεωρείται ότι εκφράζουν αποστροφή προς ατυχήματα με μεγάλους αριθμούς νεκρών (risk averse), ενώ όρια με κλίση -1 θεωρούνται ουδέτερα (risk neutral) απέναντι στον αριθμό των νεκρών ανά ατύχημα λαμβάνοντας υπ' όψιν μόνο το συνολικό αριθμό των νεκρών, ανεξάρτητα από την κατανομή του ανά ατύχημα.

Στην κατηγορία των Ro-Pax, η καμπύλη F-N που υπολογίσαμε για την περίοδο 1997-2012, είναι σχεδόν ίδια με αυτήν της FSA (2008), με εξαίρεση τις τιμές για μεγάλα N (αριθμός νεκρών). Αυτό οφείλεται σε ατυχήματα με πάρα πολύ μεγάλο αριθμό νεκρών, που έγιναν την περίοδο που μελετήσαμε. (Spice Islander I, Al-Salam Boccaccio 98) επίσης είδαμε και μια διαφορετική προσέγγιση στην κατασκευή των ορίων της ALARP, που πρότειναν οι Kaneko και Yamada. Τα κριτήρια αποδοχής ρίσκου με αυτήν, είναι πιο αυστηρά από την κλασική μέθοδο κατασκευής ορίων της ALARP, καθώς μεγάλο μέρος της καμπύλης μας, είναι εκτός των ορίων της. Είναι λοιπόν, μια νέα μέθοδος για τον καθορισμό των συνόρων της περιοχής ALARP στα F-N διαγράμματα. Ωστόσο, η μέθοδος που βασίζεται στη σχέση $F(N) = F(1)/N^b$, πιστεύεται ότι είναι κατάλληλη ως μέθοδος για τον καθορισμό των συνόρων της περιοχής ALARP στα F-N διαγράμματα. Επίσης, στα cruise ships, η καμπύλη F-N που υπολογίσαμε για την περίοδο 1997-2012, σχεδόν συμπίπτει με την αντίστοιχη της FSA (2008).

Τελειώνοντας, μπορούμε να πούμε ότι καμπύλες F-N αποτελούν σίγουρα το κύριο εργαλείο στην αποτίμηση του Κοινωνικού Ρίσκου, ειδικά στη ναυτιλία, καθώς έχουν δύο πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλα μεγέθη εκτίμησης του κοινωνικού ρίσκου.

- Μια οπτική απεικόνιση της κατάστασης της δραστηριότητας από την άποψη της ασφάλειας.
- Άμεση εποπτεία των στατιστικών στοιχείων ή των επιμέρους πιθανοτήτων που χαρακτηρίζουν την ατυχηματική συμπεριφορά της δραστηριότητας.

Υπάρχουν ωστόσο και μέτρα εκτίμησης του ρίσκου, που φιλοδοξούν να συμπυκνώσουν την κατάσταση σε έναν και μόνο αριθμό. Αυτά όμως δεν είναι τόσο άμεσα για το κοινό, ενώ είναι εξαιρετικά χρήσιμο στην περίπτωση που θέλουμε να

κάνουμε συγκρίσεις μεταξύ των επιπέδων ασφαλείας διαφορετικών δραστηριοτήτων ή και τις ίδιας δραστηριότητας σε διαφορετικές στιγμές. Παρόλα αυτά η συνολική κατάσταση κοινωνικού ρίσκου δεν μπορεί να αποτυπωθεί απλά με έναν αριθμό. Βάση αυτής της λογικής τα διαγράμματα F-N αποτελούν το κύριο εργαλείο αποτίμησης του κοινωνικού ρίσκου με την έννοια ότι μια καμπύλη παρέχει περισσότερες πληροφορίες από ένα σημείο.

Βιβλιογραφία

- 1) Formal Safety Assessment , Critical Review and Future Role, Christos Kontovas, 2005
- 2) IMO, Guidelines for Formal Safety Assessment for use in the IMO rule making process, April 2002
- 3) Μελέτη και διαχείριση ρίσκου στις θαλάσσιες μεταφορές, Νικόλαος Π. Βεντίκος, 2012
- 4) Εκτίμηση και αποδοχή ρίσκου, διπλωματική εργασία Βούρου Δημήτριου, Αθήνα Ιούλιος 2007
- 5) <http://www.imo.org/OurWork/Safety/SafetyTopics/Pages/FormalSafetyAssessment.aspx>
- 6) Οικονομική Θαλασσιών Μεταφορών III, Περιβαλλοντική Ανάλυση & Ασφάλεια Θαλασσιών Μεταφορών, Νικόλαος Π. Βεντίκος, 2005
- 7) American Bureau of Shipping, Guidance notes on Risk Assessment Applications for the Marine and Offshore Oil and Gas Industries
- 8) ABS Consulting, Marine Safety: Tools for Risk-Based Decision Making
- 9) Harms-Ringdahl Safety Analysis: Principles and Practice in Occupational Safety 2001
- 10) Rolf Skjong, Erik Vanem, Oyvind Endresen, SAFEDOOR, Risk Evaluation Criteria, DNV 2005
- 11) Εκτίμηση και Αξιολόγηση κοινωνικού ρίσκου στη Ναυτιλία, Διπλωματική εργασία Γιαννόπουλου Ιωάννη, 2010
- 12) Harms-Ringdahl, Relationships between accident investigations, risk analysis, and safety management, 2004
- 13) Vlek, C.J.H. and Stallen, P.J.M., Judging risks and benefits in the small and in the large, Organizational Behaviour and Human Performance, 1981
- 14) Erkut, E. and V. Verter, Modeling of Transport Risk for Hazardous Materials, Operations Research, 1998
- 15) Dennis C. Hendershot, A Simple Problem to Explain and Clarify the Principles of Risk Calculation
- 16) www.aiiche.org/ccps/about

- 17) Center for Chemical Process Safety (CCPS) (1989), Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, New York: American Institute of Chemical Engineers.
- 18) David J Ball, Peter J Floyd, Societal Risks, Final Report, HSE
- 19) HSE (Health and Safety Executive), Generic terms and concepts in the assessment and regulation of industrial risks 1995
- 20) HSE (Health and Safety Executive), Risk criteria for land use planning in the vicinity of major industrial hazards, 1989
- 21) HSE (Health and Safety Executive), Reducing risks, protecting people, 2001
- 22) 16th International Ship And Offshore Structures Congress, 2006
- 23) S.Kristiansen, ‘Maritime Transportation – Safety Management and Risk Analysis’, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005
- 24) B. Jonkman, P. Van Gelder, H. Vrijling, An overview of quantitative risk measures and their application for calculation of flood risk, ESREL 2002 European Conference
- 25) HSE (Health and Safety Executive), ‘Transport fatal accidents and F-N curves 1967-2001
- 26) IMO, Formal Safety Assessment, Decision parameters including risk acceptance criteria, MSC 72/16, February 2000
- 27) HSE (Health and Safety Executive), Societal Risk: Initial briefing to Societal Risk Technical Advisory Group, 2009
- 28) J.K.Vrijling, Societal risk and the concept of risk aversion
- 29) Κριτήρια αποδοχής ρίσκου στον τομέα της ασφάλειας, Διπλωματική εργασία Γιαννακόπουλου Ιωάννη, 2007
- 30) Steve Lewis, Risk Criteria – When is low enough good enough? , Risktec
- 31) Rolf Skjong and Monika Eknes, Economic Activity and Societal Risk Acceptance
- 32) HSE (Health and Safety Executive), Marine risk assessment, OFFSHORE TECHNOLOGY REPORT, 2001/063
- 33) HSE (Health and Safety Executive), Workplace health, safety and welfare, A short guide for managers
- 34) NOPSEMA, Guidance Note, ALARP, December 2012

- 35) HSE (Health and Safety Executive), Principles and guidelines to assist HSE in its judgements that duty-holders have reduced risk as low as reasonably practicable
- 36) HSE (Health and Safety Executive) information sheet, Offshore Information Sheet No. 2/2006
- 37) HSE (Health and Safety Executive), The tolerability of risk from nuclear power, 1992
- 38) HSE (Health and Safety Executive), ALARP Suite of Guidance. December 2008
- 39) David Ball, Environmental Health Policy, 2006
- 40) Commission for Energy Regulation, ALARP Guidance Part of the Petroleum Safety Framework , 2013
- 41) V.M. Trbojevic, Risk Support Limited, London, U.K., Risk criteria in EU
- 42) Farrokh Nadim, Acceptable Risk Criteria, NVE conference, Larvik 2010
- 43) J.K.Vrijling, Criteria for acceptable risk in the Netherlands
- 44) Fujio Kaneko and Yasuhira Yamada, On the Method for Setting borders of ALARP region on FT Diagrams, 2010
- 45) Γ.Κοκολάκης-Ι.Σπηλιώτης, Εισαγωγή στη θεωρία πιθανοτήτων και στατιστική
- 46) Center for Chemical Process Safety (CCPS) (1996), Guidelines for Evaluating Process Plant Buildings for External Explosions and Fires, New York: American Institute of Chemical Engineers
- 47) Fred Henselwood and K. Gerry Phillips, The Development of Risk Criteria for High Severity-Low Frequency Events
- 48) IMO (1997), “IMO and RoRO Safety”, Focus on IMO, January 1997
- 49) IMO (2004), “Draft Revised SOLAS Chapter II-1 Parts A, B and B-1”. SLF 47/17 – Annex.
- 50) IMO, Formal Safety Assessment–RoPax ships, Details of the Formal Safety Assessment, 2008
- 51) SAFEDOR-D-04.05.02-2005-10-21-DNV-RiskEvaluationCriteria-Rev-2.doc
- 52) http://en.wikipedia.org/wiki/MV_Spice_Islander_I
- 53) Saumava Mitra, the guardian, Zanzibar's ferry disaster could have been prevented
- 54) http://en.wikipedia.org/wiki/MS_al-Salam_Boccaccio_98
- 55) IMO, Information resources on the Al Salam Boccaccio 98

- 56) P.Loïs, J.Wang, A.Wall, T.Ruxton, Formal safety assessment of cruise ships
- 57) Cartwright & Baird. The development and growth of the cruise industry (1999)
- 58) Gossard, H.W. Marine safety on board cruise ships. World Cruise Industry Review (1995)
- 59) Boisson, Fire protection, fires on the Scandinavian star and Moby Prince, safety of passengers ships, safety at sea, policies, regulations and international law (1999)
- 60) IMO, Formal Safety Assessment-Cruise ships Details of the Formal Safety Assessment, 2008

Παράρτημα 1.

Ανάπτυξη κριτηρίων αποτίμησης του ρίσκου, για περιστατικά μεγάλης σοβαρότητας-μικρής συχνότητας.

Με βάση την εργασία για την αποδοχή του κινδύνου, που παρουσιάζουν οι Fred Henselwood and K. Gerry Phillips τα αναμενόμενα γεγονότα αντιμετωπίζονται καλύτερα με τη χρήση της ακόλουθης σχέσης:

$$Risk = \mu X$$

Όπου το X είναι ένα μέτρο της τιμής που συνδέεται με τη σοβαρότητα της έκβασης που εξετάζεται και το μ αντιπροσωπεύει τον αναμενόμενο αριθμό των περιστατικών για το χρονικό διάστημα που μελετάμε.

Τα απροσδόκητα γεγονότα αντίστοιχα αντιμετωπίζονται καλύτερα με τη χρήση της:

$$Risk = \mu^{1/2} X$$

Αναγνωρίζοντας ότι ο όρος κίνδυνος αντιπροσωπεύει μια αυθαίρετη αξία, ανάλογα με την κατάσταση, η σχέση κινδύνου για απροσδόκητα γεγονότα μπορούν να τετραγωνιστεί και να δώσει την ακόλουθη σχέση:

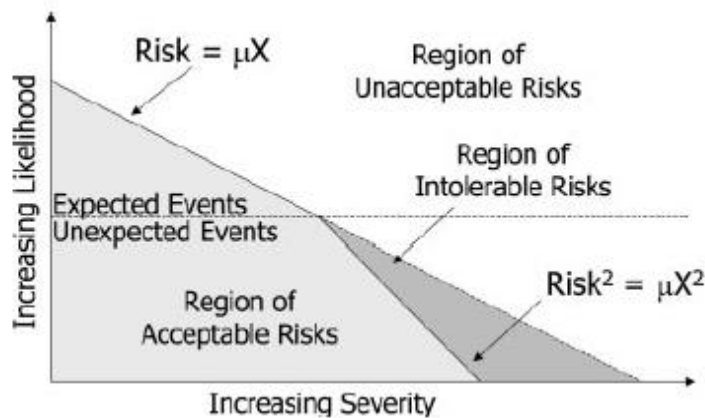
$$Risk^2 = \mu X^2$$

Αυτές οι εξισώσεις δείχνουν ότι για συχνά περιστατικά κινδύνου, η αποδοχή είναι γραμμική τόσο με τη σοβαρότητα όσο και τη συχνότητα, αλλά για τα μη συχνά περιστατικά υπάρχει μια τετραγωνική συνάρτηση εάν η αποδοχή του κινδύνου είναι έτσι, ώστε να είναι γραμμική με τη συχνότητα.

Δουλεύοντας με την παραδοχή ότι τα δύο κριτήρια θα πρέπει να ανταποκρίνονται στο σημείο διακοπής μεταξύ των αναμενόμενων και των απρόβλεπτων γεγονότων, τα κριτήρια κινδύνου απεικονίζονται στο σχήμα.

Το σχήμα δείχνει τις τρεις περιοχές της αποδοχής κινδύνου (απαράδεκτο κίνδυνο, μη ανεκτό κίνδυνο, και αποδεκτό κίνδυνο) όπως ορίζεται από τα δύο κριτήρια κινδύνου για αναμενόμενα και απροσδόκητα γεγονότα.

Ο προσδιορισμός του σημείου διακοπής μεταξύ των αναμενόμενων και των απροσδόκητων γεγονότων, μπορεί να καθορίζεται με βάση την αναστρεψιμότητα του συμβάντος. Κατά την εκτίμηση των κινδύνων που αντιμετωπίζουμε, μπορούν να προσδιοριστούν δύο κατηγορίες απειλών. Η πρώτη κατηγορία αντιπροσωπεύει αυτές που οι επιπτώσεις τους μπορούν να διαχειριστούν εύκολα και η δεύτερη κατηγορία αντιπροσωπεύει αυτές που δε διαχειρίζονται εύκολα.

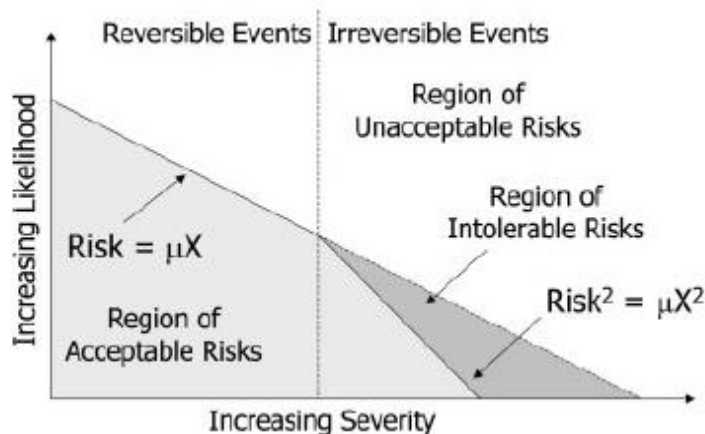


Σχήμα 68. Περιοχές απαράδεκτων, αποδεκτών και μη ανεκτών κινδύνων.

Αυτές οι πιθανές συνέπειες μπορεί να είναι είτε αναστρέψιμες, είτε μη αναστρέψιμες ως προς τη σοβαρότητα. Για αναστρέψιμες συνέπειες, ο χρόνος θα επιτρέψει η κατάσταση να διορθωθεί και να επιστρέψουμε στην αρχική κατάσταση, ενώ για μη αναστρέψιμες συνέπειες, ο χρόνος δεν θα επιτρέψει στην κατάσταση που δημιουργήθηκε να διορθωθεί. Παραδείγματα αναστρέψιμων εκδηλώσεων μπορεί να περιλαμβάνουν τα ακόλουθα: τραυματισμοί, βλάβες στο περιβάλλον, οικονομικές απώλειες, και τη ρυθμιστική παρέμβαση.

Παραδείγματα μη αναστρέψιμων γεγονότων μπορεί να περιλαμβάνουν τα εξής: θανάτους, περιβαλλοντικές αλλαγές, υλικό-οικονομικές απώλειες, και ρυθμιστικές αλλαγές. Αναγνωρίζοντας ότι η μη αναστρέψιμες εκδηλώσεις θα απειλήσουν τη βιωσιμότητα του οργανισμού, αυτά τα γεγονότα θα πρέπει να θεωρηθούν ως απροσδόκητα, γιατί το αποτέλεσμα της εμφάνισης αυτών, μπορεί να είναι μη αναστρέψιμα.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει τις τρεις περιοχές της αποδοχής κινδύνου (απαράδεκτο κίνδυνο, τον μη ανεκτό κίνδυνο, και τον αποδεκτό κίνδυνο), όπως ορίζονται από τα δύο κριτήρια που προαναφέραμε στο προηγούμενο σχήμα, με το σημείο διακοπής μεταξύ των δύο λειτουργιών που ορίζονται από το όριο, να είναι μεταξύ αναστρέψιμων και μη γεγονότων.



Σχήμα 69. Ρίσκο και σημείο διακοπής, μεταξύ αναστρέψιμων και μη γεγονότων.

Η καθιέρωση του σημείου διακοπής μεταξύ αναστρέψιμων και μη γεγονότων, έχει καλή πρακτική εφαρμογή καθώς η προσέγγιση αυτή, επιτρέπει πιο εύκολα να εκτιμηθούν επιμέρους σενάρια. Επιπλέον, η παρούσα προσέγγιση επιτρέπει να λαμβάνονται υπόψη και αξιολογούνται άμεσα κίνδυνοι πέρα από τις οικονομικές ανησυχίες. Για παράδειγμα, εάν ληφθούν υπόψη συμβάντα που οδήγησαν σε πολλά θύματα και θεωρηθούν μη αναστρέψιμη κατάσταση, η ανωτέρω προσέγγιση εξηγεί εύκολα τη χρήση μη γραμμικών κριτηρίων αποδοχής των κινδύνων.

Στην πράξη, αυτή η μέθοδος έχει τη δυνατότητα για της εκτίμησης των διαφόρων κινδύνων που σχετίζονται με την ασφάλεια της διαδικασίας και έχει δώσει μεγαλύτερη σαφήνεια ως προς την κατάλληλη πορεία της δράσης, σε σχέση με το να αντιμετωπίζει τις απειλές. Επιπλέον, ο προσδιορισμός του σημείου διακοπής μεταξύ των δύο κριτηρίων κινδύνου με βάση την αναστρεψιμότητα της λειτουργίας, επιτρέπει εύκολα για την προτεινόμενη προσέγγιση να επεκταθεί σε μη οικονομικές επιπτώσεις, διευκολύνοντας την ευρύτερη εφαρμογή αυτής της προσέγγισης. [17] [47]

Παράρτημα 2.

Fatalities per accident	Fatalities pr ship year	Collision Frequency pr ship year	Cumulative frequency pr ship year (1997-2004)
0	0,00E+00	1,94E-03	3,46E-03
2	6,54E-04	3,27E-04	1,53E-03
5	4,54E-03	9,08E-04	1,20E-03
20	4,09E-03	2,05E-04	2,91E-04
100			
300			
1600	2,78E-02	1,74E-05	8,64E-05
3200	1,67E-01	5,21E-05	6,90E-05
4000	6,95E-02	1,74E-05	1,74E-05

Πίνακας 47. Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, την περίοδο 1997-2004, για collision

Fatalities per accident	Fatalities pr ship year	Collision Frequency pr ship year	Cumulative frequency pr ship year (2005-2012)
0	0,00E+00	4,14E-03	7,50E-03
2	1,41E-03	7,05E-04	3,36E-03
5	9,89E-03	1,98E-03	2,66E-03
20	8,73E-03	4,37E-04	6,78E-04
100			
300			
1600	5,89E-02	3,68E-05	2,42E-04
3200	3,60E-01	1,12E-04	2,05E-04
4000	1,47E-01	3,68E-05	3,68E-05

Πίνακας 48. Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, την περίοδο 2005-2012, για collision

Fatalities per accident	Fatalities pr ship year	Contact Frequency pr ship year	Cumulative frequency pr ship year (1997-2004)
0	0,00E+00	2,87E-03	3,50E-03
2	9,39E-04	4,70E-04	6,34E-04
5	4,00E-04	7,99E-05	1,64E-04
20	9,73E-04	4,87E-05	8,41E-05
100	2,19E-03	2,19E-05	3,54E-05
300	6,30E-04	2,10E-06	1,35E-05
800	2,80E-04	3,50E-07	1,14E-05
1600	3,64E-03	2,28E-06	1,11E-05
3200	2,19E-02	6,83E-06	8,82E-06
4000	9,10E-03	2,28E-06	2,28E-06

Πίνακας 49. Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, την περίοδο 1997-2004, για contact

Fatalities per accident	Fatalities pr ship year	Contact Frequency pr ship year	Cumulative frequency pr ship year (2005-2012)
0	0,00E+00	7,94E-03	9,70E-03
2	2,60E-03	1,30E-03	1,76E-03
5	1,11E-03	2,22E-04	4,56E-04
20	2,69E-03	1,35E-04	2,33E-04
100	6,00E-03	6,00E-05	9,86E-05
300	1,75E-03	5,82E-06	3,86E-05
800	6,98E-04	8,73E-07	3,28E-05
1600	1,00E-02	6,28E-06	3,19E-05
3200	6,02E-02	1,88E-05	2,56E-05
4000	2,51E-02	6,28E-06	6,28E-06

Πίνακας 50. Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, την περίοδο 2005-2012, για contact

Fatalities per accident	Fatalities pr ship year	Grounding Frequency pr ship year	Cumulative frequency pr ship year (1997-2004)
0	0,00E+00	5,85E-04	5,90E-03
2	6,38E-03	3,19E-03	5,32E-03
5	1,02E-02	2,04E-03	2,12E-03
20	7,90E-06	3,95E-07	8,82E-05
100	5,34E-03	5,34E-05	8,78E-05
800	1,58E-04	1,98E-07	3,44E-05
1600	1,14E-02	7,10E-06	3,42E-05
3200	6,72E-02	2,10E-05	2,71E-05
4000	2,84E-02	7,10E-06	7,10E-06

Πίνακας 51. Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, την περίοδο 1997-2004, για grounding

Fatalities per accident	Fatalities pr ship year	Grounding Frequency pr ship year	Cumulative frequency pr ship year (2005-2012)
0	0,00E+00	7,43E-04	7,50E-03
2	8,11E-03	4,06E-03	6,76E-03
5	1,29E-02	2,58E-03	2,70E-03
20	1,01E-05	5,03E-07	1,18E-04
100	6,78E-03	6,78E-05	1,18E-04
800	2,01E-04	2,51E-07	4,99E-05
1600	1,45E-02	9,05E-06	4,97E-05
3200	8,67E-02	2,71E-05	4,06E-05
4000	3,62E-02	9,05E-06	9,05E-06

Πίνακας 52. Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, την περίοδο 2005-2012, για grounding

Fatalities per accident	Fatalities pr ship year	Fire/Expl. Frequency pr ship year	Cumulative frequency pr ship year (1997-2004)
0	0,00E+00	8,64E-03	9,40E-03
2	6,98E-04	3,49E-04	7,62E-04
5	1,16E-03	2,31E-04	4,13E-04
20	1,50E-03	7,52E-05	1,82E-04
100	8,46E-03	8,46E-05	1,07E-04
300	5,64E-03	1,88E-05	1,88E-05
800			
1600			
3200			
4000			

Πίνακας 53. Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, την περίοδο 1997-2004, για Fire/Explosion

Fatalities per accident	Fatalities pr ship year	Fire/Expl. Frequency pr ship year	Cumulative frequency pr ship year (2005-2012)
0	0,00E+00	6,54E-03	7,10E-03
2	5,28E-04	2,64E-04	5,65E-04
5	8,74E-04	1,75E-04	3,01E-04
20	1,14E-03	5,68E-05	1,26E-04
100	6,39E-03	6,39E-05	6,96E-05
300	4,26E-03	1,42E-05	1,42E-05
800			
1600			
3200			
4000			

Πίνακας 54. Συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες για cruise ships, την περίοδο 2005-2012, για Fire/Explosion

Με βάση τους παραπάνω πίνακες, υπολογίστηκαν οι συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες, ώστε να σχηματιστούν οι καμπύλες F-N των κρουαζιερόπλοιων, για κάθε τύπο ατυχήματος, για τις δύο υποπεριόδους που θέσαμε.